

## **Análise dos padrões de ocupação urbana em São Sebastião (SP), a partir de imagens CBERS 2B e LANDSAT 7**

Tathiane Mayumi Anazawa  
Ana Elisa Pereira da Silva  
Leila Maria Garcia Fonseca  
Antônio Miguel Vieira Monteiro  
Flávia da Fonseca Feitosa

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
anaelisa@dsr.inpe.br; {tathiane; leila; miguel; flavia}@dpi.inpe.br

**Abstract.** The population issue and the pattern of physical expansion of urban occupations are important factors that shape the urban growth. This paper aims to separate the population of São Sebastião (Northern Coast, SP) in settlement patterns defined by the urbanized area, obtained from satellite images. A LANDSAT 7 multispectral image (ETM+ - 30 m) and a CBERS 2B panchromatic image (HRC - 2.5 m) were fused using the IHS technique for integrating a high spatial resolution panchromatic band with the spectral resolution of other bands with low spatial resolution. After the merger, the image was classified by the Bhattacharya classifier and then corrected by manual edition in software Spring 5.1, in order to delineate the urban areas. The variable population density was quantified, emphasizing its importance to determine a trend in the occupation pattern of occupation of the cities. However, the calculated density is estimated for the area of census tract, in other words, non-urbanized and urbanized areas, which may lead to a distortion of the phenomenon. To minimize this distortion, we chose to work with the boundaries of the urbanized areas of São Sebastião, seeking to observe the population density that best portrays the city. Remote sensing data translated in urbanized areas describe the spatial heterogeneity and enable the most appropriate redistribution of population density. It was observed that area 1 was considered more compact, while the second area show evidences of urban sprawling.

**Palavras-chave:** population density, urban sprawl, urbanized area, image fusion, densidade populacional, expansão urbana, fusão de imagens, área urbanizada.

### **1. Introdução**

No processo de crescimento urbano, dois fatores devem ser enfatizados: o populacional e o padrão de expansão física das ocupações urbanas. O fator populacional influencia diretamente na expansão da infraestrutura urbana. Já o padrão de ocupação pode influenciar no maior ou menor custo social, refletindo assim sobre as formas de reprodução social e a sustentabilidade ambiental (OJIMA, 2007). O crescimento urbano e as mudanças no uso e cobertura do solo têm efeitos significantes no sistema ecológico, onde o processo de urbanização modifica e frequentemente substitui os processos naturais dos ecossistemas com a infraestrutura construída (HEPINSTALL-CYMERMAN et al., 2009).

A urbanização acelerada é usualmente associada à concentração da população em determinadas áreas, onde a sua expansão e crescimento não se dão de forma regular e concêntrica. Um dos fatores que provoca mudanças no padrão de ocupação urbana é o descompasso entre o crescimento da população e a expansão das áreas urbanas (OJIMA, 2007). Uma das formas de mensurar este descompasso é por meio da análise das densidades populacionais, que consiste em um indicador muito utilizado na análise de dispersão urbana (OJIMA, 2007). Para a análise da densidade populacional, deve-se levar em conta a delimitação da área considerada urbana, descrevendo a heterogeneidade espacial e a redistribuição mais apropriada da densidade de população.

Vários trabalhos, como de Buckwalter e Rugg (1986), Sutton et al. (1997), Kampel (2003), Liu et al. (2006), Lo (2008) e Yang et al. (2009), têm utilizado imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto para avaliar a densidade populacional em diversas partes do

mundo. Imagens orbitais de sensoriamento remoto podem ser usadas para a estimativa de população em áreas urbanas, e também para a espacialização das áreas de expansão urbana e demográfica. Normalmente, imagens de média resolução (20-30 metros) são usadas nos estudos populacionais, pois a relação custo/benefício é satisfatória na obtenção de informações atualizadas, em curtos intervalos de tempo para um grande número de aglomerações urbanas (DURAND et al., 2007). Por outro lado, as imagens orbitais de alta e altíssima resolução espacial permitem observar os objetos na cena com mais detalhes.

O Litoral Norte vivencia um processo recente de ocupação e crescimento urbano (concentrado nos últimos 30 anos) que trouxe consigo problemas típicos da zona costeira: conflitos de uso do solo, turismo de segunda residência, criação de unidades de conservação, além do *boom* da construção civil e uma série de novos empreendimentos previstos para um futuro próximo. Visando a análise exploratória deste processo, o presente trabalho tem como objetivo usar imagens fusionadas dos satélites CBERS 2B e LANDSAT 7 para calcular a área urbanizada e com isso analisar a densidade populacional e domiciliar urbana na região de São Sebastião, Litoral Norte.

## 2. Metodologia

### 2.1. Área de estudo e dados

Este trabalho foi desenvolvido no município de São Sebastião (Figura 1), localizado no Litoral Norte do Estado de São Paulo. Sua área territorial é de 403,34 km<sup>2</sup> e sua população estimada em 67.348 para o ano de 2007, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Possui algumas características peculiares como a predominância do bioma Mata Atlântica, composto pela floresta ombrófila densa, restingas, manguezais, floresta de planície e ilhas oceânicas (SÃO PAULO, 1996). Sua economia é influenciada tanto pela instalação do terminal da Petrobrás no canal de São Sebastião, que desencadeou um movimento relevante no processo de ocupação, como também pela atividade turística, que acarreta em uma variação populacional diferenciada ao longo do ano em todo o município.



Figura 1. Localização da área de estudo: São Sebastião (SP)

Para a realização do experimento foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 7 ETM+ (30 m), cena 218/76 de 14/08/2006 (bandas 2, 3 e 4), ortorretificadas, e a banda pancromática HRC (2,5 m) do satélite CBERS 2B, cena 153/127-D de 03/09/2008. As imagens foram adquiridas no acervo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Deve-se observar que, as datas de aquisição dos dois conjuntos de dados são distintos devido a inexistência da imagem HRC com data próxima a 2006.

Para caracterizar a população residente na área de estudo, foram utilizados os dados agregados dos setores censitários obtidos na contagem de população realizada pelo IBGE em 2007 (IBGE, 2007), data próxima à da aquisição das imagens.

## 2.2. Processamento

A metodologia usada neste trabalho é muito simples e foi realizada basicamente em três etapas: (i) registro, (ii) fusão e (iii) classificação. Antes da fase de processamento propriamente dita, a banda pancromática HRC foi registrada com as bandas multiespectrais ETM+, que já estavam ortorretificadas.

A caracterização dos padrões de ocupação em áreas urbanas demanda o uso de imagens com boa qualidade espacial e espectral. Mas, muitas vezes são disponibilizadas imagens com boa resolução espacial em detrimento da resolução espectral ou vice-versa e assim não se tem o produto desejado para uma dada aplicação. Neste caso, o processo de fusão de imagens é usado para combinar as resoluções espacial e espectral das imagens e assim gerar um novo produto fusionado com melhor qualidade espacial e espectral (RICHARDS, 2008). Neste trabalho foi utilizado o método de fusão IHS, conforme descrito por Schetselaar (1998) e Gonzalez e Woods (2000), para integrar as informações das imagens multiespectrais do sensor ETM+ (LANDSAT 7), composição colorida R3G4B2, e a banda pancromática do sensor HRC (CBERS 2B).

Após a fusão, dois recortes na imagem fusionada foram feitos para selecionar duas regiões em diferentes setores censitários compostos por populações com diferentes características socioeconômicas (recorte 1: setores com área menor e compacta e recorte II: setores com área maior e dispersa). Os diferentes cenários dos respectivos recortes poderiam influenciar na análise das densidades populacional e domiciliar.

Posteriormente, estas imagens foram classificadas pelo método de Bhattacharya. Uma fase de pós-processamento para edição matricial do mapa temático foi também realizada. Todas as operações de processamento foram realizadas no sistema Spring 5.1 (CAMARA et al., 1996).

Os recortes foram delimitados por setores censitários, conforme divisão do arquivo vetorial do IBGE, para calcular a área urbanizada de cada setor e sua respectiva população e densidade populacional e domiciliar. Um dos problemas em se trabalhar com dados agregados em setores censitários é que, para uma mesma população estudada, a definição espacial e homogênea das áreas afeta o resultado obtido. Este problema é conhecido como “problema de unidade de área modificável” – MAUP (OPENSHAW, 1984). Visando a minimização desse problema, optou-se por trabalhar também com os limites das áreas urbanizadas de São Sebastião, procurando observar a densidade populacional que melhor retrata o município.

A densidade da população local foi calculada a partir do número de habitantes do setor censitário por unidade de superfície:

$$\text{Densidade Populacional} = \text{Habitantes/Km}^2 \quad (1)$$

A densidade de domicílios foi calculada a partir do número total de domicílios do setor censitário por unidade de superfície:

$$\text{Densidade Domiciliar} = \text{Domicílios}/\text{Km}^2 \quad (2)$$

### 3. Resultados e Discussões

As Figuras 2 e 3 mostram uma porção, do recorte 1 e do recorte 2, das imagens multiespectral e pancromática originais, respectivamente, e o resultado da fusão destas imagens. Pode-se observar uma melhora significativa no detalhamento das feições como ruas e lotes. Isto agrega à imagem maior possibilidade de interpretação visual, principalmente na identificação de padrões regulares e irregulares em áreas urbanas.

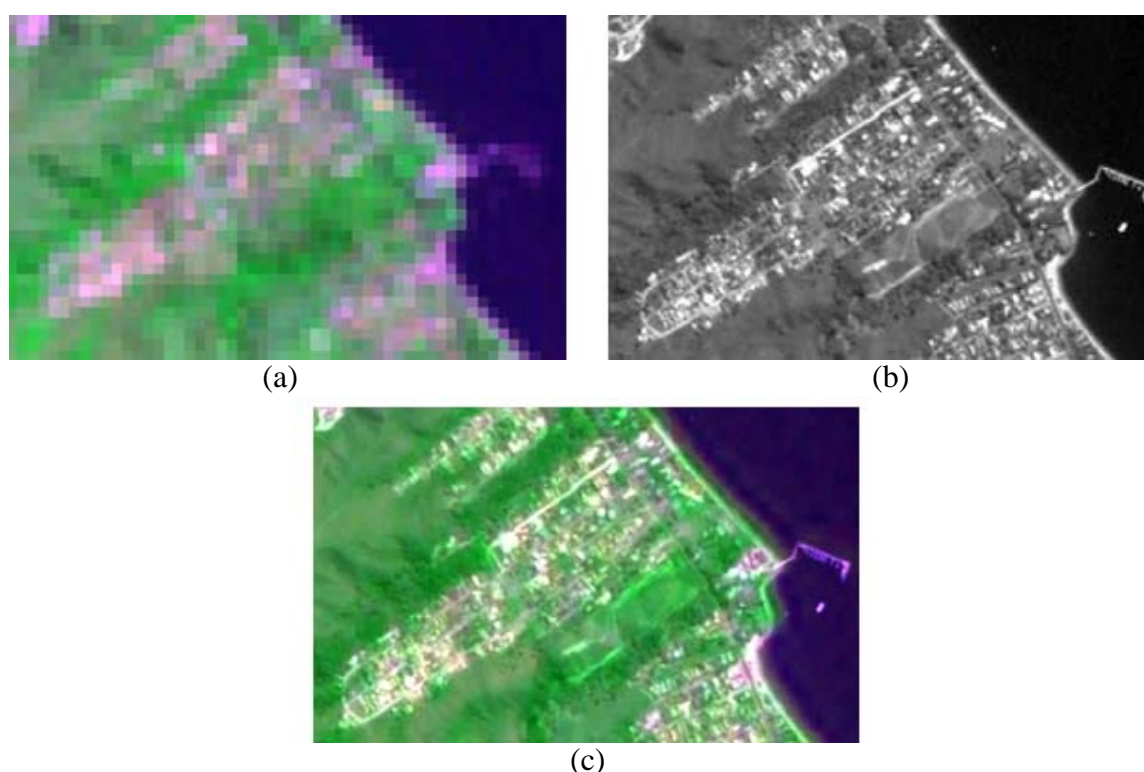
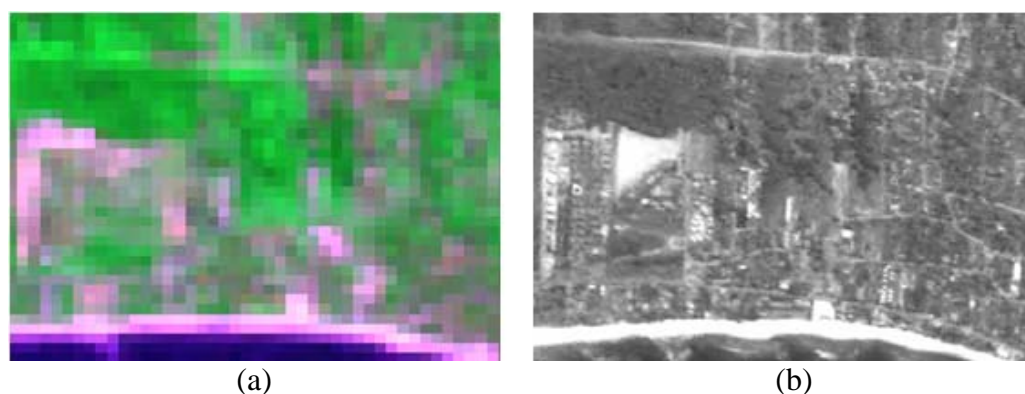
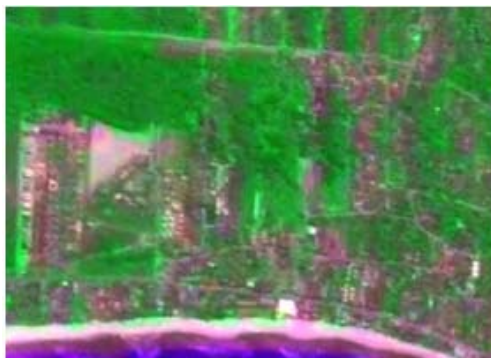


Figura 2. Imagens orbitais LANDSAT 7 (ETM+ - 30 m), composição R3G4B2 (a); CBERS 2B (HRC - 2,5 m) pancromático (b) e fusão IHS (c) – Parte do recorte 1.





(c)

Figura 3. Imagens orbitais LANDSAT 7 (ETM+ - 30 m) composição R3G4B2 (a); CBERS 2B (HRC - 2,5 m) pancromático (b) e fusão IHS (c) – Parte do recorte 2.

Embora as imagens fusionadas apresentassem boa qualidade no detalhamento das feições, uma pequena distorção nas cores dos alvos foi observada. Problemas similares foram observados por Leonardi et al. (2009). Segundo os autores, a qualidade dos produtos fusionados pode ser melhorada usando imagens ortoretificadas de melhor qualidade, que são obtidas utilizando na correção geométrica um DEM (*Digital Elevation Model*) com uma escala mais compatível com a resolução da imagem HRC. Além disso, a diferença grande entre as resoluções espaciais das imagens (maior do que 5:1) e as datas de aquisições diferentes podem ter favorecido as distorções observadas na fusão.

As imagens dos recortes 1 e 2 classificadas são mostradas na Figura 4. A área urbanizada é destacada pela cor magenta. Através dos recortes, foi possível observar uma área urbanizada maior no recorte 1, que apresenta os setores censitários menores. Por outro lado, o recorte 2 apresenta uma área urbanizada menor, cujos setores censitários apresentam uma maior extensão.

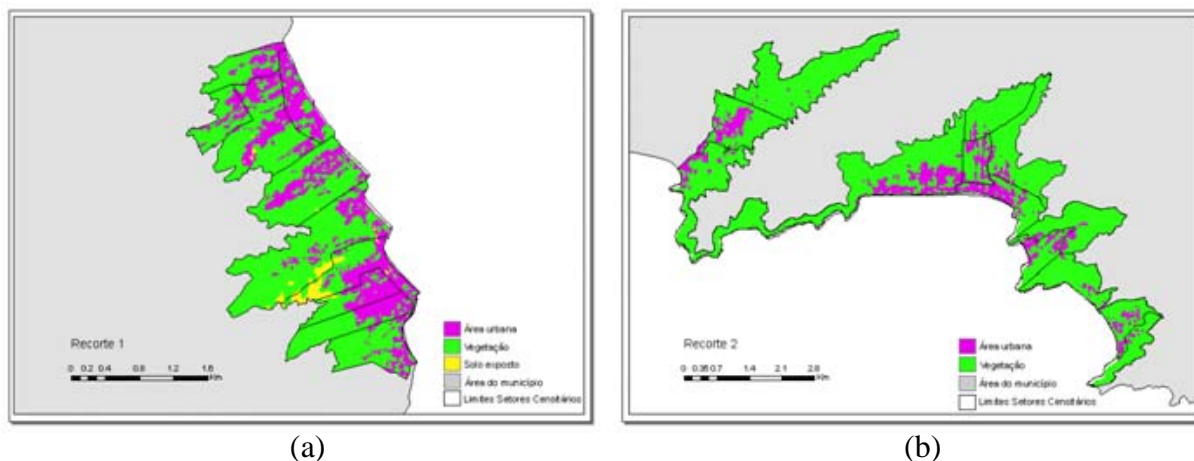


Figura 4. Classificação das imagens fusionadas para recorte 1 (a) e recorte 2 (b).

Os resultados da densidade populacional e domiciliar urbana para os dois recortes em São Sebastião são apresentados nas Tabelas 1 e 2. A área total dos setores censitários do recorte 1 é 16,785 km<sup>2</sup>, cuja área urbanizada corresponde a 2,34 km<sup>2</sup>, comportando 7780 habitantes. Esses dados são usados para calcular a densidade populacional de 4334 habitantes/km<sup>2</sup>. No recorte 2, a área total dos setores censitários é 5,085 km<sup>2</sup> e a área urbanizada para o mesmo recorte corresponde a 1,54 km<sup>2</sup>. A população para o recorte 2 é de 10139 habitantes, e a densidade populacional por área total dos setores censitários é de 60,034 habitantes/km<sup>2</sup>. Por outro lado, para o mesmo contingente populacional, a densidade é aproximadamente 5000



habitantes/km<sup>2</sup> de área urbanizada. A área urbanizada do recorte 1 (2,34 km<sup>2</sup>) é maior que a do recorte 2 (1,54 km<sup>2</sup>), enquanto que a densidade urbana do recorte 1 é menor que a densidade urbana do recorte 2, caracterizando um padrão de ocupação disperso.

Tabela 1. Área dos setores censitários e área urbanizada, e suas respectivas densidades populacionais.

	População	Área setores (km <sup>2</sup> )	Densidade Populacional Área do setor (hab/km <sup>2</sup> )	Área Urbanizada (km <sup>2</sup> )	Densidade Populacional Área Urbanizada (hab/km <sup>2</sup> )
<b>Recorte 1</b>	7780	16,79	604,03	2,34	4333,96
<b>Recorte 2</b>	10139	5,09	1530,08	1,54	5039,96

No recorte 1, o total de domicílios é 2490, e a densidade domiciliar é de aproximadamente 1613 domicílios/km<sup>2</sup>. No recorte 2, com 3203 domicílios, e a densidade domiciliar é de aproximadamente 1369 domicílios/km<sup>2</sup>. Devido à sua maior densidade domiciliar, a região coberta pelo recorte 1 é considerada mais compacta.

Calculou-se a correlação entre população e área urbanizada dos setores censitários para os recortes 1 e 2. Todos os índices apresentaram resultados próximos de zero, indicando praticamente nenhuma correlação entre as variáveis. Em estudo realizado por Durand et al. (2007), foi observada a correlação entre população e área urbanizada em diferentes regiões de municípios do Estado de São Paulo. Os municípios turísticos da Região Metropolitana da Baixada Santista, também apresentaram baixos índices de correlação. Como os municípios da zona costeira consideram duas populações: uma fixa, de residência permanente; e outra flutuante, de residência temporária (férias, fins de semana e feriados), acredita-se que os baixos índices de correlação seja devido à presença desta população flutuante em São Sebastião.

Tabela 2. Área dos setores censitários e área urbanizada, e suas respectivas densidades domiciliares.

	Domicílios	Área setores (km <sup>2</sup> )	Densidade Domiciliar Área do setor (hab/km <sup>2</sup> )	Área Urbanizada (km <sup>2</sup> )	Densidade Domiciliar Área Urbanizada (hab/km <sup>2</sup> )
<b>Recorte 1</b>	2490	16,79	489,70	2,34	1613,05
<b>Recorte 2</b>	3203	5,09	190,82	1,54	1369,14

#### 4. Considerações finais

Um método de fusão eficiente é aquele que preserva as cores da imagem original (qualidade espectral) e transfere as informações de detalhes da banda pancromática para o produto híbrido. Na análise qualitativa e visual foi verificado que as imagens fusionadas apresentaram melhor detalhamento das feições que contribuiu para uma classificação precisa da área urbanizada.

A quantificação da variável densidade populacional é importante para que se determine uma tendência no padrão de ocupação das cidades. O recorte 1 apresentou uma área urbana mais compacta, enquanto que o recorte 2 apresentou indícios de dispersão urbana. Porém, é

importante enfatizar o fato do município de São Sebastião se localizar em uma região montanhosa, de geografia singular, onde as áreas passíveis de ocupação humana são formadas por um conjunto descontínuo de planícies, distantes umas das outras, fazendo com que a população se organize em bairros distantes e isolados, perfazendo um modelo de ocupação para o Litoral Norte (São Paulo, 1996).

Esperava-se uma correlação entre tamanho da população e área urbanizada, porém, tal correlação não foi obtida, nos levando a crer que a dispersão urbana não depende diretamente de um grande volume populacional.

## 5. Referências Bibliográficas

Buckwalter, D. W.; Rugg, D. S. Delimiting the physical city: disparities between various methods of calculating population densities. **The Professional Geographer**, v.38, n.3, p.258-263, 1986.

Camara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, n.20, v.3, p.395-403, 1996.

Durand, C.; Pereira, M. N.; Moreira, J. C.; Freitas, C. C. Análise da correlação entre população e área urbana (km<sup>2</sup>) visando a inferência populacional por meio do uso de imagens orbitais. **Geografia**, v.16, n.2, p.113-142, 2007.

Gonzalez, R.C.; Woods, R.E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 509 p.

Hepinstall-Cymerman, J.; Coe, S.; Alberti, M. Using Urban Landscape Trajectories to Develop a Multi-Temporal Land Cover Database to Support Ecological Modeling. **Remote Sensing**, v.1, n.4, p.1353-1379, 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Agregado por setores censitários 2007**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>>. Acesso em: 20 ago. 2010.

Kampel, S. A. Geoinformação para estudos demográficos: representação espacial dos dados de população na Amazônia Brasileira. 2003. 166 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

Leonardi, F.; Oliveira, C. G.; Fonseca, L. M. G.; Almeida, C. M. Fusão de Imagens CBERS 2B: CCD-HRC. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p.6951-6958. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.12.28/doc/6951-6958.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2010.

Liu, X.; Clarke, K.; Herold, M. Population density and image texture: A comparison study. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.72, n.2, p.187-196, 2006.

Lo, C. P. Population estimation using geographically weighted regression. **GIScience and Remote Sensing**, v.45, n.2, p.131-148, 2008.

Ojima, R. Dimensões da urbanização dispersa e proposta metodológica para estudos comparativos: uma abordagem socioespacial em aglomerações urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v.24, n.2, p.277-300, 2007.

Openshaw, S. **The modifiable areal unit problem**. Norwich: Geo Books, 1984. 41p.

Richards, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. Berlin: Springer. 4<sup>a</sup> ed, 2008. 439p.

São Paulo (Estado). Secretaria do Meio Ambiente (SMA). **Macro-zoneamento do Litoral Norte: plano de gerenciamento costeiro**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2 ed, 1996. 201p.

Schetselaar, E. M. Fusion by the IHS transform: should we use cylindrical or spherical coordinates?

**International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.4, p.759-65, 1998.

Sutton, P.; Roberts, D.; Elvidge, C. D.; Meij, H. A comparison of nighttime satellite imagery and population density for the Continental United States. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.64, n.11, p. 1303-1313, 1997.

Yang, M.; Wang, S.; Zhou, Y.; Wang, L.; Zeng, C. Population spatialization in Gansu Province based on RS and GIS. **Urban Remote Sensing Event, 2009 Joint**. p.1-6, 2009.