

Influência de diferentes padrões de ocupação do solo urbano na qualidade de mapeamentos de cobertura do solo em imagens de alta resolução espacial: estudo de caso de São José dos Campos (SP)

Carolina Moutinho Duque de Pinho¹
Hermann Johann Heinrich Kux¹
Cláudia Maria Almeida¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{carolina, hermann, almeida}@dsr.inpe.br

1. Introdução

Uma das mais tradicionais fontes de dados para a confecção de mapas de uso e cobertura do solo são as imagens orbitais de sensoriamento remoto. Entretanto, as imagens disponíveis até meados da década de 1990 não possuíam resolução espacial suficiente para discriminar os alvos dentro do ambiente intra-urbano. Desta forma, estudos detalhados sobre o ambiente intra-urbano só possuíam como fonte de dados de sensoriamento remoto as fotografias aéreas, que possuem alta resolução espacial.

O lançamento de satélites com sensores de alta resolução espacial, IKONOS II em 1999 e Quickbird em 2001, representou um momento de grande inovação para o sensoriamento remoto do espaço intra-urbano. Já estavam então disponíveis fontes de informação com alta resolução espacial (as aerofotos), e também com alta resolução temporal (os satélites da série Landsat, com repetitividade nominal de imageamento de 16 dias). Contudo, não havia ainda um tipo de dado que reunisse as duas vantagens num só produto, como no caso das imagens IKONOS II e Quickbird (com resoluções espaciais entre 0,6 m a 4,0m e temporais entre 1,5 a 3 dias).

A utilização deste tipo de imagens impõe novos desafios para a classificação automática de uso e cobertura do solo intra-urbano. As tradicionais classificações pixel-a-pixel tornam-se limitadas em imagens que captam detalhes de cenas muito heterogêneas (áreas urbanas) e com grande variação interna das classes (ex.: classes de tipos de telhados que respondem de forma diferenciada a variações no ângulo de incidência solar e na orientação de suas faces) (Schiewe et al., 2001). Além disso, estas imagens possuem baixa resolução espectral (apenas quatro bandas: azul, verde, vermelho e infravermelho próximo), o que dificulta a distinção de uma série de alvos urbanos que possuem comportamento semelhante nos comprimentos de onda do visível, como é o caso de ruas pavimentadas com asfalto e edificações com cobertura de amianto escuro.

Portanto surgiu a necessidade de exploração de métodos alternativos que não se limitem apenas a atributos espectrais. Dentre estes métodos, destaca-se a análise orientada a objetos, que permite a inserção do conhecimento do analista e a utilização de parâmetros de cor, forma, textura e contexto na classificação de imagens.

Há um grande número de trabalhos direcionados à aplicação da análise orientada a objetos em classificações de áreas urbanas utilizando imagens de alta resolução espacial (Pinho et al., 2004), (Pinho et al., 2005), (Centeno e Miqueles, 2004); (Hofmann, 2001a), (Hofmann, 2001b); (Rego, 2003). Entretanto pouco tem se discutido sobre a influência dos padrões de ocupação do solo urbano no resultado das classificações.

Este trabalho tem por objetivo analisar a influência do tipo de padrão de ocupação urbana (e conseqüentemente o grau de homogeneidade do tamanho, forma, tipos de cobertura e arranjo dos objetos) no resultado da análise orientada a objetos em áreas intra-urbanas. Para

tanto, realizou-se um experimento no qual cinco bairros do município de São José dos Campos (SP) com padrões de ocupação distintos foram classificados em termos de a classes de cobertura do solo.

2. Área de Estudo

Parte da área urbana de São José dos Campos foi escolhida para servir de área teste para este estudo. O município localiza-se no Estado de São Paulo, na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, entre as duas maiores regiões metropolitanas do Brasil: São Paulo e Rio de Janeiro. Seu território abrange uma área de 1.099,60 km², localizando-se entre as coordenadas W46°06', S23°18' e W45°40' S22°49' (PMSJC, 1994). É considerado um município de porte médio com população de 539.313 habitantes, dos quais 532.717 (98,78 %) residem na área urbana (PMSJC, 2005). A Figura 1 apresenta a área de estudo que compreende cinco bairros selecionados da área urbana de São José dos Campos.

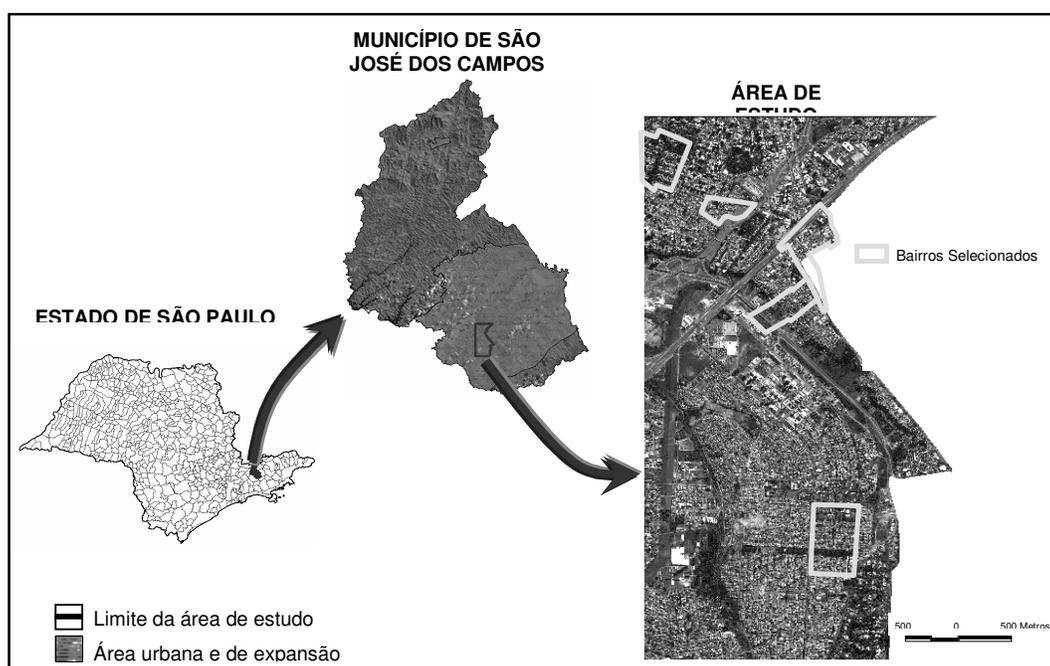


FIGURA 1- área de Estudo no município de São José dos Campos – SP

3. Material Utilizado

Foram utilizados os seguintes dados e programas para a realização deste trabalho:

- 1) Duas imagens Quickbird; uma pancromática, com 0,60 m de resolução espacial e outra, multiespectral, com 2,40 m de resolução e quatro bandas (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo). As imagens são do tipo *ORStandard2A*, obtidas em 17.05.2004, com ângulo *off-nadir* de 7,0° e resolução radiométrica de 16 bits (embora os pixels só estejam distribuídos ao longo de apenas 11 bits).
- 2) Banco de dados Cidade Viva (PMSJC, 2003), utilizado para a caracterização da área de estudo e para extração das bases digitais de bairros e quadras utilizadas no trabalho.

3.1 Programas Utilizados

- 1) Spring 4.1 → Para a visualização do banco de dados Cidade Viva (PMSJC, 2003), e exportação dos planos de informações vetoriais: bairros e quadras.

- 2) Envi 4.0 → Para a realização das etapas de pré-processamento e transformações sobre as imagens.
- 3) e-Cognition 4.1 → Para análise de imagens orientada a objetos.

4. Desenvolvimento do Experimento

O desenvolvimento deste trabalho foi efetuado nas seguintes etapas: seleção da área de estudo; preparação das imagens; definição e caracterização das classes; segmentação; classificação; avaliação da classificação.

4.1 Seleção da área de Estudo

A seleção dos bairros foi conduzida de forma a contemplar diferentes tipos de padrões de ocupação urbana (e conseqüentemente, de graus de homogeneidade, do tamanho, forma, tipos de cobertura e arranjo dos objetos). Foram selecionados os bairros Jardim Renata, Cidade Jardim, Jardim Apolo, Vila Acácias e Vila Letônia (Figura 2).

Estes bairros foram divididos em dois grupos distintos: bairros com arranjo espacial bem definido e com arranjo espacial mal definido. No primeiro grupo encontram-se Jardim Renata, Cidade Jardim e Jardim Apolo. Estes bairros caracterizam-se por construções com materiais de cobertura e tamanhos homogêneos, organizadas de forma uniforme em suas áreas. Já o segundo grupo se caracteriza por construções de tamanhos distintos e com grande variação de materiais de cobertura. Além disso, não há um padrão único de organização das edificações.



FIGURA 2 – Bairros selecionados, segundo o tipo de arranjo espacial.

4.2 Preparação das imagens

Foram realizados dois processos de transformação sobre as imagens: fusão por principais componentes e transformação IHS a partir de uma composição colorida com cor verdadeira. O objetivo da fusão foi viabilizar uma melhor identificação dos alvos urbanos por meio de uma imagem sintética que reúne a informação espectral da imagem multiespectral com a alta resolução espacial da imagem pancromática. Já a transformação IHS foi utilizada para ampliar a gama de atributos possíveis de serem utilizados durante a classificação. Partindo-se do princípio de que a informação espectral básica contida neste tipo de imagem é a cor (os dados possuem apenas três bandas no visível e uma no infravermelho próximo) e muitos alvos urbanos possuem cores muito similares, a utilização das informações de brilho, saturação e matiz dos objetos podem auxiliar na distinção dos mesmos.

4.3 Definição e caracterização das classes de interesse

A seleção e caracterização das classes de interesse foi realizada com base na interpretação visual da imagem Quickbird fusionada, procurando identificar os principais materiais aplicados nas vias pavimentadas, nas coberturas das construções e também os principais tipos de cobertura de feições naturais. Foram definidas as seguintes classes: Vegetação Arbórea, Vegetação Rasteira, Objetos de Alto Brilho, Cobertura Metálica, Concreto/Amianto Escuro, Concreto/Amianto Médio, Asfalto, Cerâmica Clara, Cerâmica Escura, Solo Claro, Solo Escuro, Piscina e Sombra.

A caracterização das classes foi auxiliada pela elaboração de chaves de interpretação para cada uma das classes. Nestas chaves foram analisados os elementos de interpretação: cor, tamanho, forma, localização e textura.

4.4 Segmentação

Após uma primeira inspeção visual sobre as imagens, concluiu-se que nos bairros Jardim Renata, Cidade Jardim e Jardim Apolo há uma certa homogeneidade de tamanho dos objetos a serem extraídos (tipos de cobertura das edificações). Entretanto, existem algumas classes de objetos menores que só podem ser detectados num nível mais fino de detalhes (Objetos de Alto Brilho, Piscinas, pequenas sombras e detalhes da superclasse Vegetação). Como não seria possível identificar estes dois grupos de objetos em um mesmo nível de segmentação, optou-se por trabalhar com dois níveis: Nível I, objetos pequenos, e Nível II, objetos de interesse. Após uma primeira classificação destes dois níveis, os objetos do Nível I foram agregados ao Nível II numa operação de segmentação que produzem como que “furos”, por assim dizer, nos objetos de um determinado nível hierárquico, a partir da junção com objetos de um nível inferior. Além dos dois níveis mencionados, também foi criado um Nível III, o mais grosseiro de todos, onde foram delimitadas as quadras. Este último nível foi utilizado como restrição espacial para as classes Concreto/Amianto Escuro e Asfalto.

Nos outros dois bairros, foram adotados apenas dois níveis de segmentação: um para as quadras e ruas (Nível II) e outro para as classes de cobertura do solo (Nível I). Isto porque não havia um tamanho médio de objetos padrão, o que dificultou o tipo de operação realizada com o outro grupo de bairros.

Cabe ainda ressaltar que, em cada uma das imagens dos bairros, foram aplicados parâmetros de segmentação diferentes, os quais foram selecionados com base em testes.

4.5 Classificação

Para a classificação de Cobertura do Solo dos bairros, foram elaboradas redes semânticas específicas para cada um deles. Em cada uma destas redes, foram selecionados descritores e modeladas funções de pertinência *fuzzy* adequadas às especificidades de cada um dos bairros.

As treze classes de cobertura do solo definidas na Seção 4.2 só foram identificadas no bairro Vila Acácias; para os demais bairros, nem todas as classes estavam presentes. Este fato resultou numa rede semântica mais complexa para o bairro Vila Acácias e em redes com estruturas mais simplificadas para os outros bairros. Nas Figuras 3 e 4, observam-se respectivamente as redes para o bairro Vila Acácias e para o bairro Cidade Jardim. Comparando-se as duas redes, observa-se claramente a diferença entre a complexidade das mesmas.

Ao final de todas as classificações, as classes Cerâmica Escura e Clara foram agrupadas numa única classe, Cerâmica e Solo Claro e Escuro foram reunidas na classe Solo Exposto. Desta forma totalizaram-se no final onze classes de cobertura do solo.

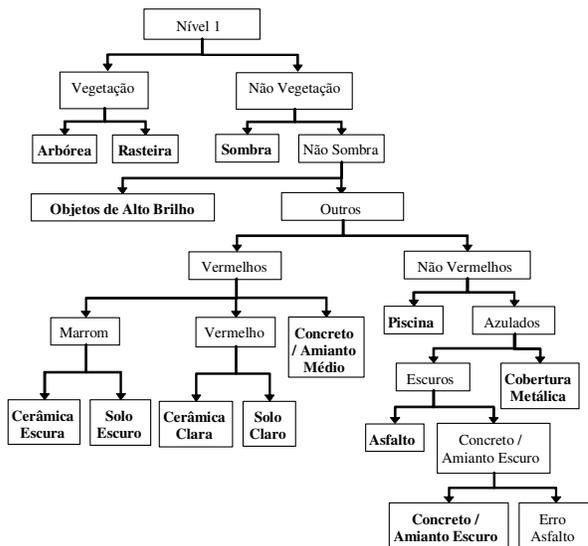


FIGURA 3 – Rede do bairro Vila Acácias.

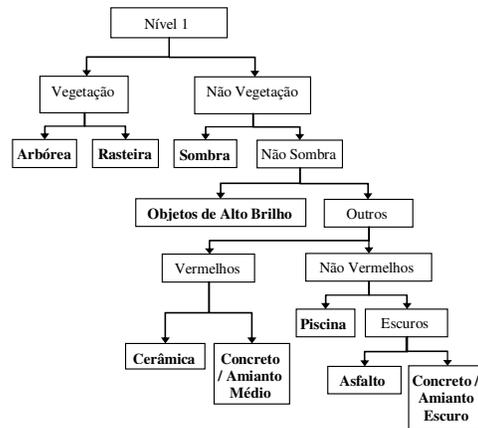


FIGURA 4 – Rede do bairro Jardim Apolo.

Após a elaboração da rede, seleção de descritores e elaboração das regras de pertinência *fuzzy*, foram realizadas as classificações de cada bairro e comparados os seus resultados.

4.6 Avaliação dos Resultados

Nesta etapa, foi elaborada a matriz de confusão e calculado o coeficiente *Kappa* para cada uma das classificações. Os resultados das classificações foram então categorizados segundo a escala proposta por Landis e Koch (1977), exposta na Tabela 1.

TABELA 1 – Qualidade da classificação segundo intervalos do coeficiente de concordância *Kappa*.

Valor do <i>Kappa</i>	Qualidade da Classificação
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

FONTE: Adaptado de Landis e Koch (1977).

5. Resultados e Discussões

Analisando-se os valores do coeficiente *Kappa* para cada um dos bairros (Tabela 2) observa-se que os bairros Jardim Renata, Cidade Jardim e Jardim Apolo produziram classificações com resultados muito bons, segundo a escala de Landis e Koch (1977). Já Vila Acácias e Vila Letônia, com valores comparativamente inferiores, são categorizadas apenas como classificações boas.

TABELA 2 – Coeficiente *Kappa*, segundo os bairros em análise.

Bairro	<i>Kappa</i>
Jardim Renata	0,759
Cidade Jardim	0,737
Jardim Apolo	0,635
Vila Acácias	0,582
Vila Letônia	0,502

5.1 Jardim Renata

O bairro Jardim Renata é predominantemente residencial, com ruas pavimentadas e pouco arborizadas. As edificações são horizontais, com cobertura de telha cerâmica (aparentemente com o mesmo nível de conservação) e possuem certa homogeneidade quanto aos atributos de tamanho (100 a 150 m²) e forma (retangular), conforme se observa na Figura 5.

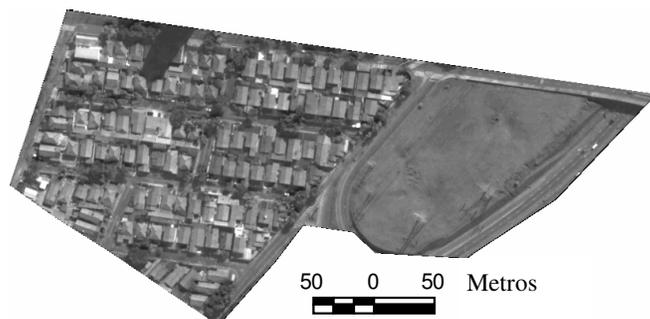


FIGURA 5 – Imagem do bairro Jardim Renata.

Este bairro apresentou os melhores resultados para a classificação, com coeficiente *Kappa* de 0,759, o que qualifica esta classificação como muito boa (Landis e Koch, 1977). Este resultado deve-se a três fatores: o primeiro refere-se à geometria da cena, onde os objetos possuem homogeneidade quanto à forma, tamanho e padrão de localização, facilitando a delimitação dos objetos na fase de segmentação.

O segundo relaciona-se ao fato de não haver estacionamentos pavimentados no bairro, o que permitiu a criação de um descritor bem simples para a classe Asfalto, referindo-se a todos os objetos escuros que pertencessem ao superobjeto Ruas. Este descritor diminuiu bastante a confusão entre Asfalto e Concreto/Amianto Escuro. O terceiro relaciona-se à ausência da classe Solo Exposto, que muitas vezes confunde-se com a classe Cerâmica ou com Vegetação Rasteira (Pinho, 2005).

No Jardim Renata, foram identificadas apenas oito classes: Objetos de Alto Brilho, Cerâmica, Concreto/Amianto Médio, Concreto/Amianto Escuro, Asfalto, Sombra, Vegetação Arbórea e Vegetação Rasteira.

5.2 Cidade Jardim

O bairro Cidade Jardim possui ruas pavimentadas e arborizadas. As construções são horizontais, com homogeneidade de tamanho (variando de 200 a 250m²) e material de cobertura. Na seção norte da imagem, basicamente todos os telhados são de Concreto/

Amianto Escuro; já no setor sul, o material que prevalece é a telha cerâmica. O que chama mais atenção neste bairro é o arranjo das edificações (reduzido afastamento lateral e distribuição retangular das construções) e a regularidade de forma, tamanho e material de cobertura das edificações (Figura 6).



FIGURA 6 – Imagem do BAIRRO Cidade Jardim.

O bairro Cidade Jardim foi o que obteve a segunda maior exatidão temática, com *Kappa* de 0,737, o que também qualifica esta classificação como muito boa. Ao contrário do bairro anterior, que possui apenas oito classes de cobertura do solo, Cidade Jardim possui todas as onze classes que foram definidas para o Experimento. Assim, o bom resultado alcançado pela classificação é devido ao padrão dos objetos da cena, que possuem tamanho e forma homogêneos, além de estarem organizados segundo um arranjo espacial bem definido. Em outras palavras, estas características permitiram uma segmentação eficiente dos objetos, a qual influenciou no bom resultado da classificação.

Benz et al. (2003) e Schiewe (2002) também observaram em seus trabalhos que bons resultados na classificação dependem de uma boa segmentação, que reconheça os limites dos objetos de interesse de modo coerente com os objetos no mundo real.

5.3 Jardim Apolo

Jardim Apolo é um bairro residencial de alto padrão, com ruas pavimentadas e bem arborizadas, edificações horizontais e com cobertura predominantemente de telha cerâmica (com idades distintas refletidas por cores diferenciadas) e a presença de jardins e piscina em praticamente todas as residências (Figura 7).

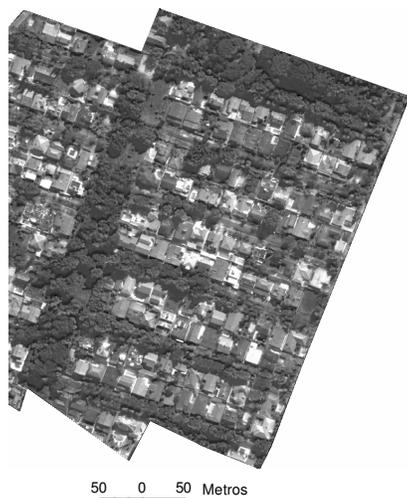


FIGURA 7 – Imagem do Bairro Jardim Apolo.

Na seqüência dos bairros, o Jardim Apolo foi o terceiro na exatidão temática, com de *Kappa* 0,635. Desta forma, a classificação deste bairro também é categorizada como muito boa (*Kappa* entre 0,60 e 0,80).

Na classificação deste bairro, foram identificadas nove classes. As classes Cobertura Metálica e Solo Exposto não estavam presentes. Assim como no bairro Jardim Renata, as ausências da classe Solo Exposto e de estacionamentos pavimentados com Asfalto contribuíram para a obtenção de um bom resultado na classificação.

5.4 Vila Acácias

Vila Acácias tem como principal característica a presença de vários galpões, de tamanhos variados, com cobertura de alumínio. É um bairro com construções horizontais, ruas pavimentadas e pouco arborizadas, à exceção da fração leste da imagem, que possui uma concentração de árvores. Outro destaque é a irregularidade de tamanhos, formas e arranjo das edificações (Figura 8).

Vila Acácias foi o primeiro bairro que apresentou valor de coeficiente *Kappa* abaixo de 0,6 (valor de 0,582), classificando seu resultado apenas como Bom. Este comportamento pode ser explicado pela presença de todas as classes de cobertura do solo e pela ausência de um padrão único de ocupação deste bairro. Assim, observa-se a existência de três padrões: edificações com cobertura de Telha Cerâmica e Concreto/Amianto Escuro de tamanhos diferenciados e aglomeradas de maneira irregular (canto inferior esquerdo da imagem); construção isolada de tamanho grande numa área arborizada (canto superior direito) e diversas combinações entre galpões de cobertura metálica, edificações menores e áreas de estacionamento (no restante da imagem). A conjugação destes padrões resulta numa grande heterogeneidade de

tipos de cobertura do solo, tamanho e forma dos objetos.



FIGURA 8 – Imagem do Bairro Vila Acácias.

5.5 Vila Letônia

Vila Letônia é um bairro com construções horizontais e com ruas asfaltadas e pouco arborizadas. Sua principal característica é o arranjo de suas edificações, que não possuem recuos e nem algum padrão de organização. Há também heterogeneidade de tamanhos e formas das edificações (Figura 9).

Este bairro teve resultado ainda pior que Vila Acácias, com *Kappa* de apenas 0,502. O comportamento da Vila Letônia pode ser atribuído à dificuldade em se definir os limites dos objetos neste bairro. As edificações são pequenas (menores que 50m²), estão praticamente encostadas umas às outras, com materiais de cobertura distintos, porém de cores semelhantes (Telha Cerâmica Velha e Concreto/Amianto

Escuro). Em outras palavras, trata-se de uma área muito difícil de ser classificada.

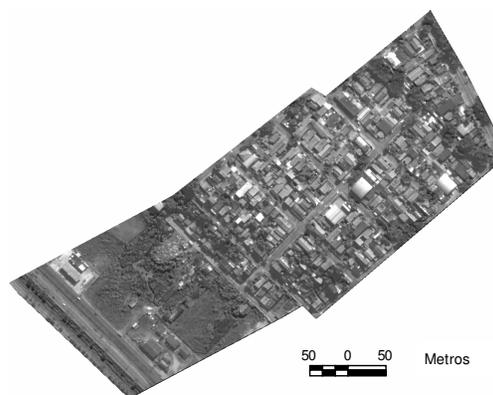


FIGURA 9 – Imagem do Bairro Vila Letônia.

6. Conclusões

Neste trabalho, foram elaborados esquemas de segmentação e redes semânticas específicas para a classificação de cobertura do solo de cinco bairros de São José dos Campos. A análise dos resultados comprova que os diferentes padrões de cobertura do solo influenciam a qualidade temática das classificações. Quanto mais complexo o padrão de ocupação do solo urbano (variedade de materiais de cobertura, heterogeneidade de tamanho das edificações e ausência de um arranjo espacial bem definido), piores são os resultados de exatidão temática das classificações. Desta forma, os diferentes padrões de ocupação do solo urbano se constituem num importante fator a ser considerado na análise de imagens orbitais de alta resolução espacial.

Referências

Benz, U.; Hofmann, P.; Willhauck, G.; Lingenfelder, I.; Heynen, M. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 58, n. 3-4, p. 239-258, Jan. 2003.

Centeno, J.; Miqueles, A. Extraction of buildings in Brazilian urban environments using high resolution remote sensing imagery and laser scanner data. In: ISPRS Congress, 20., 2004, Istanbul, Turkey. **Proceedings...** Istanbul: ISPRS, 2004. p. 589 - 692.

Hofmann, P; Detecting informal settlements from IKONOS image data using methods of object oriented image analysis - an example from Cape Town (South Africa). In: International Symposium Remote Sensing of Urban Areas, 2., 2001, Regensburg, Germany. **Proceedings...** Regensburg, Germany: Institut für Geographie an der Universität Regensburg, 2001(a). p. 107 - 118.

Hofmann, P. Detecting urban features from IKONOS data using an object-oriented approach. In: Annual Conference of the Remote Sensing & Photogrammetry Society, 1., 2001, London. **Proceedings...** London: Remote Sensing & Photogrammetry Society, 2001(b). p. 28-33.

Landis, J. R.; Koch, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174. 1977.

Pinho, C.M., Kux, H. Dados do Quickbird para subsidiar o planejamento urbano: uma proposta metodológica, município de São José dos Campos, SP, Brasil. In: Simposio Latinoamericano sobre Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, 11., 2004, Santiago. **Anais...** Santiago: SELPER, 2004. CD-ROM.

Pinho, C. M. D, Feitosa, F. F. e Kux, H. Classificação automática de cobertura do solo urbano em imagem IKONOS: Comparação entre a abordagem pixel-a-pixel e orientada a objetos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4217 - 4224. CD-ROM.

Pinho, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélite de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos** – SP. 2005. 179p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

PMSJC - Prefeitura Municipal de São José dos Campos. **Cidade Viva**. [CD-ROM], São José dos Campos, 2003.

PMSJC - Prefeitura Municipal de São José dos Campos; **Dados Gerais**. 2005. Disponível em: <http://www.sjc.sp.gov.br/html/cid_sjcdados.htm>. Acesso em: fev. 2005.

Rego, L. F. G.; **Automatic land-cover classification derived from high-resolution IKONOS satellite image in the urban Atlantic Forest in Rio de Janeiro, Brazil by means of an object-oriented approach**. 2003. 193p. Tese (Forstwissenschaftliche Fakultät). Albert-Ludwigs-Universität, 2003.

Schiewe, J., Segmentation of high-resolution remotely sensed data - Concepts, applications and problems. In: Joint International Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, 2002, Ottawa. **Proceedings...**Canada, 2002.

Schiewe, J., Tufte, L. Ehlers, M., Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing. **GeoBIT/GIS** n. 6, p. 34-39, June 2001.