

Classificação Orientada a Objeto para Mapeamento do Uso do Solo – Métodos de Análise de Expansão Urbana

Bárbara Maria Giacom Ribeiro ¹
Hermann Johann Heinrich Kux ¹

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

Abstract. Studies about the urban context, where high spatial-resolution is essential, traditional methods of image classification have been presenting limitations, face to the richness of information content that imagery produced by the new generation of satellites have. Thus, it is necessary the use of new methods of classification that includes ancillary data and specialist knowledge. The object-oriented approach has become very indicated to these types of study, especially because of its capacity of extracting objects of interest with greater accuracy than the pixel-based methods. This work aims to present the *status quo* of the available classification methods of high spatial-resolution images. We make a comparison between two available softwares for Object-Based Image Analysis - OBIA (*eCognition* and *InterImage*). This new image classification paradigm uses context relations, hierarchy and fuzzy logic. A brief review of the latest studies involving urban areas and OBIA is presented, showing the relevancy of the used methodology and of the obtained results for each application.

Palavras-chave: urban remote sensing, Object-Based Image Analysis - OBIA, high resolution images; sensoriamento remoto de áreas urbanas, Análise de Imagens Orientada a Objeto, imagens de alta resolução.

1. Introdução

A urbanização é considerada a maior força condutora das mudanças climáticas, mas este processo não é nem uniforme, tampouco constante (Catalán et al., 2008). Discussão constante entre os profissionais de planejamento urbano, a falta de conhecimento das vulnerabilidades locais pelos órgãos gestores do espaço urbano muitas vezes resulta em tomadas de decisão falhas no gerenciamento territorial (Kux e Araújo, 2008; Burchell e Mukherji, 2003).

O avanço das tecnologias de sensoriamento remoto e a maior disponibilidade de sistemas sensores expandiram o leque de opções de uso de produtos orbitais, devido, principalmente, à significativa melhoria nas resoluções. Desta forma, a utilização desses produtos em áreas urbanas vem crescendo a largos passos à medida que as potencialidades do sensoriamento remoto são demonstradas e confirmadas nas mais diferentes aplicações. Contudo, um pré-requisito para a extração de informações desses produtos é o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície a serem analisados e os fatores que interferem neste comportamento. Isto se tornou possível devido ao fato de os sensores a bordo dos novos satélites estarem cada vez mais adequados aos estudos urbanos, em função do aumento das resoluções espacial, espectral e radiométrica. A resolução espacial tende a se igualar à das fotografias aéreas e com menor custo de produção: o detalhamento propiciado pela resolução de um metro ou superior, possibilita a análise e o mapeamento do uso do solo em um nível nunca realizado anteriormente com imagens orbitais. Além do maior detalhamento sobre a categorização dos alvos urbanos, a nova geração de sensores permite a reconstrução tri-dimensional da volumetria urbana (Almeida et al., 2006).

2. Abordagens Gerais e Tecnologias Disponíveis

O sensoriamento remoto desempenha um papel importante no estudo da biosfera, não apenas por meio de sua capacidade de realizar medições em diferentes escalas, mas também por extrapolar os dados existentes e preencher as lacunas entre eles. Desta forma, os dados e imagens sensoriadas remotamente a partir de sensores em plataformas orbitais têm encontrado cada vez mais espaço em aplicações relativas à análise de ambientes urbanos.

O sensoriamento remoto urbano pode fornecer aos urbanistas e planejadores dados cruciais necessários para a análise urbana, tais como: extensão espacial e localização das áreas urbanas; distribuição espacial dos diferentes tipos de uso e cobertura do solo; redes de transporte e infra-estrutura relacionada; estatísticas associadas a censos; capacidade para acompanhar temporalmente as mudanças no uso e cobertura do solo, entre outros.

Além disso, dados de imagens de sensoriamento remoto apresentam melhor relação custo-benefício em comparação com as fotografias aéreas, principalmente devido ao aumento da disponibilidade de dados de sensoriamento remoto por satélite, associado à elevada taxa de revisita dos sistemas satélites, e devido às melhorias nas resoluções espaciais, espectrais e radiométricas dos dados de sensoriamento remoto orbital (Blaschke e Kux, 2007).

Essencialmente, o monitoramento urbano envolve a detecção das alterações ocorridas no uso do solo e a análise dos impactos desses usos. A detecção das mudanças no uso do solo exige a identificação do tipo, quantidade e localização das alterações, enquanto que a análise dos impactos de cada uso do solo requer avaliação dos efeitos de tais modificações no ambiente.

3. Classificação digital de imagens

A classificação digital é uma das funções prioritárias do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, sendo muito utilizada em mapeamentos temáticos, dentre os quais, os de uso e ocupação do solo. O processo de classificação pode ser totalmente visual, o que demanda muito tempo de execução e cuidados com a padronização e uniformização de critérios, sendo ainda bastante subjetivo. Pode também ser automático, entretanto também se faz muito questionado devido à baixa precisão dos resultados. O processo semi-automático visa agregar vantagens dos dois processos anteriormente citados, atribuindo-se significativa importância à etapa de edição manual. Os classificadores automáticos podem ser supervisionados ou não (em relação ao grau de interação do intérprete no processo) e, ainda, *pixel-a-pixel* ou contextuais (quando partem da segmentação da cena).

Mais recentemente, foram desenvolvidos os classificadores orientados a objetos que, buscando aprimorar a performance dos processos automatizados de classificação, utilizam-se da modelagem matemática *Fuzzy* (lógica “nebulosa”) e possuem recursos que permitem a sistematização e reprodução do conhecimento do especialista.

3.1 Classificação *pixel-a-pixel*

Se por um lado, o sensoriamento remoto progrediu expressivamente nos últimos anos, em termos de aumento de resolução, disponibilidade de dados e de divulgação pública, a grande maioria das aplicações, contudo, remete a conceitos básicos de processamento de imagens desenvolvidos a partir da década de 1970, ou seja, métodos de classificações *pixel-a-pixel* utilizando o espaço multidimensional de atributos (Blaschke e Strobl, 2001).

Os modelos tradicionais de classificação de imagens recorrem à análise dos valores (números digitais) dos *pixels* nas bandas espectrais utilizadas. Segundo Congalton e Green (1999), a classificação por *pixel* visa identificar a classe de cada *pixel* na imagem através de comparações do vetor n -dimensional de dados de cada elemento com o padrão de cada classe. Embora esta classificação estatística seja o procedimento convencional mais utilizado para a análise de imagens, constituído por um processo de análise dos *pixels* de forma isolada, ela possui a limitação da análise pontual basear-se unicamente em atributos espectrais.

Na análise do tecido urbano, no entanto, muitas de suas feições, como ruas, edificações, estacionamentos e áreas verdes, podem possuir respostas espectrais similares, dada a composição de cada material. Além disso, os *pixels* dessas imagens podem conter informações de diversas classes (*pixels* mistos), embora a natureza das imagens de alta resolução espacial reduza substancialmente esse efeito. Como consequência, o uso de técnicas baseadas somente nas informações pontuais dos *pixels* promove classes espacialmente descontínuas.

3.2 Classificação orientada a objeto

Para Blaschke e Kux (2007), uma grande revolução no processamento digital de dados de sensoriamento remoto vem ocorrendo, principalmente devido às elevadas resoluções espaciais, que exigem um novo tipo de processamento, além da observação dos *pixels* de forma unitária. Ao invés de classificar os *pixels* individualmente quanto às suas características espectrais, os novos procedimentos consideram a delimitação de objetos com características espectrais (ou radiométricas) homogêneas como base para o processamento posterior. A classificação passa a considerar informações extraídas desses objetos, como resposta espectral média, variância, dimensões, forma e textura.

Segundo Hay e Castilla (2008), a abordagem orientada a objetos possui vantagens em relação aos modelos tradicionais de classificação de imagens: pelo fato de os elementos considerados não serem os *pixels* isolados, mas grupos deles (regiões de *pixels*), obtém-se um significativo aumento no número de variáveis consideradas na classificação, pois além das informações espectrais, torna-se possível descrever cada região usando parâmetros em relação à forma do objeto (área, altura, largura, densidade, altura da borda, entre outros), à textura, às relações entre objetos vizinhos, entre outros.

Em outra instância, a classificação passa a ser influenciada não apenas pelas características dos objetos outrora definidas, mas também pelo contexto. As informações contextuais descrevem como um objeto de interesse pode ser afetado pelos objetos vizinhos, associando-se informações do ambiente ao elemento. A estratégia principal do *software* aplicativo eCognition (Definiens, 2004) baseia-se na construção de uma rede hierárquica de objetos de imagens que permite representar o conteúdo de informações da imagem em diferentes resoluções (escalas) simultaneamente. Ao operar nas relações entre os objetos da rede é possível classificar ou reclassificar informações de contexto local.

O conceito do *software* eCognition baseia-se na técnica de *evolução de rede fractal* (FNEA), na qual a imagem é considerada como de natureza fractal. A segmentação da imagem resulta em segmentos ou objetos (conjunto de *pixels*) que, baseados em parâmetros espectrais, de forma, etc, podem ser reagrupados em objetos maiores ou “super-objetos”, que são homogêneos quanto aos parâmetros estipulados, e representados por meio de redes semânticas. Cada segmento é associado a uma classe (abstrata) e essa classificação inicial pode então ser remapeada, por exemplo, para duas únicas classes, gerando assim um mapa binário, com as cores verde – que corresponde às áreas não-urbanas, e roxo – referente às áreas urbanas.

Devido à composição complexa das edificações e às diversas condições de imageamento, as áreas urbanas apresentam características versáteis em imagens ópticas de sensoriamento remoto. Desta forma, muitos atributos podem ser utilizados para caracterizar as áreas urbanas. Por outro lado, uma vez que os níveis de desenvolvimento em áreas vizinhas não são estatisticamente independentes, as características de cada local de áreas urbanas dependem de suas vizinhanças.

Na análise de imagens orbitais de áreas urbanas toma-se como exemplo uma via com pavimentação de concreto cujas respostas espectrais são semelhantes às de uma edificação com cobertura de concreto: por meio da classificação orientada a objeto, os dois elementos podem ser separados em função de fatores como área e forma. Ainda que possuam dimensões semelhantes, essa mesma edificação pode ser separada de um estacionamento com pavimentação de concreto, por exemplo, recorrendo à análise da vizinhança, utilizando características da relação entre esses objetos de concreto e suas sombras projetadas no solo.

Com o objetivo de discriminar áreas de solo exposto na periferia da cidade de São Paulo, Nóbrega et al. (2006) definiram objetos urbanos em imagens do satélite IKONOS II por meio de segmentação. Ao tomar como base apenas as informações espectrais desses objetos, muitas edificações com cobertura cerâmica foram detectadas como sendo solo, obtendo-se áreas de

solo exposto superestimadas. A introdução de regras de classificação por objetos – considerando descritores como área, forma (ajuste retangular) e vizinhança com sombras – permitiu filtrar significativamente as coberturas cerâmicas e reduzir erros de comissão.

3.2.1 InterImage

No âmbito de desenvolvimento dos métodos de análises do ambiente urbano em sensoriamento remoto, insere-se o projeto do aplicativo livre InterImage, resultado da cooperação DSR e DPI – INPE, Depto. Engenharia Elétrica da PUC-RJ e Universidade de Hannover (Alemanha). O novo aplicativo consiste basicamente na adaptação para o TerraLib (DPI-INPE, TecGraf-PUCRJ, FUNCATE) do *software* aplicativo livre GeoAida (Universidade de Hannover; Bükner, 2001). Buscando extrapolar os horizontes do eCognition, o InterImage possui, dentre outras inovações, as ferramentas para classificação orientada a objeto e baseada em conhecimento, implementação de habilidades multi-temporais e funções automáticas de extração de conhecimentos, que configuram algumas das evoluções previstas para um futuro próximo do aplicativo (Costa et al., 2007).

De modo experimental, realizou-se segmentação e classificação do uso do solo em uma imagem QuickBird de São José dos Campos – SP, conforme metodologia desenvolvida para o *software* eCognition (Pinho et al., 2007), utilizando, entretanto, o *software* InterImage. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios, sendo que as classificações realizadas nos dois *softwares* apresentaram uma coincidência global de 96,2% (Costa et al., 2007).

4. Expansão urbana

Jacquin et al. (2008), definem a expansão urbana como extensão das áreas metropolitanas dentro de paisagens rurais. Segundo Carlson (2003), a expansão urbana pode ser caracterizada em termos de densidade populacional e eficiência com que o solo é utilizado na cidade e assim, fornece uma possível normatização para avaliação do crescimento urbano.

As áreas urbanas apresentam considerável dificuldade de mapeamento em virtude do vasto leque de assinaturas espectrais de seus elementos constituintes, dificuldade esta muitas vezes associada à existência de mistura de *pixels*. Efeitos atmosféricos e disparidades temporais entre diferentes sensores também contribuem para a ocorrência de imprecisões na cartografia urbana. É importante observar que a cartografia urbana pode ser melhorada através de um registro espacial exato, verificações de campo adequadas, melhoria da classificação algoritmos, ou mesmo por meio da utilização de imagens de satélite de alta resolução espacial e espectral.

A análise da expansão e da dispersão urbana não consistem nas únicas aplicações do sensoriamento remoto no contexto urbano. Todavia, em decorrência da grande expansão mundial das cidades e centros urbanos, estes tópicos têm recebido destaque nas pesquisas realizadas nos últimos anos, nas mais diversas áreas da ciência (Almeida et al., 2006).

O uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção e análise da expansão urbana, observada sua eficiência já comprovada em diversos estudos de casos acerca dessa aplicação, apresenta algumas vantagens que influenciam diretamente na qualidade dos estudos realizados (Durieux et al., 2008; Antunes e Cortese, 2007; Hofmann et al., 2008). Pode-se destacar especialmente a capacidade de análise multiespectral em vários períodos distintos e a relação custo–benefício proporcionada pelo recobrimento de grandes áreas da superfície terrestre com uma taxa satisfatória de revisita. Os satélites com capacidade de imageamento de áreas urbanas podem fornecer informações acuradas e em momentos oportunos acerca do uso e ocupação do solo.

A importância de se monitorar os avanços da urbanização e o desenvolvimento urbano é diretamente traduzida no poder de tomada de decisão acerca do futuro de uma região, permitindo a elaboração de ações que visam o desenvolvimento sustentável e o crescimento inteligente, por meio da construção de cenários baseados no conhecimento das causas,

cronologia, e impactos do processo de urbanização e as suas forças motrizes.

4.1 Análise da expansão urbana através da classificação orientada a objeto

A expansão urbana pode ser analisada utilizando informações provenientes do sensoriamento remoto através de diversos métodos e empregando-se inúmeros indicadores e variáveis.

Jacquin et al. (2008) mapearam e analisaram a expansão urbana em uma região periferia de Toulouse, França, no contexto do risco de inundações. Na região de estudo, a urbanização crescente demanda avaliação contínua dos riscos de inundação urbana pelas perspectivas do planejamento urbano e do gerenciamento de recursos hídricos e ecossistemas. Com o objetivo de avaliar os efeitos das mudanças na utilização da terra sobre o risco de inundações na escala de uma microbacia hidrográfica, a metodologia empregada consiste em integrar uma cartografia de ocupação do solo realizada a partir de dados de sensoriamento remoto em um modelo hidrológico de simulação de inundação.

Em Donnay et al. (2001), foi revista uma extensa bibliografia sobre a delimitação de objetos urbanos e métodos de caracterização. Entretanto, a maior parte dos casos estudados baseia-se em uma única cidade. O trabalho desenvolvido por Jacquin et al. (2008) analisa toda a extensão espacial da microbacia do rio Touch (França), a qual é afetada pelo alto risco de inundação devido ao desenvolvimento da expansão urbana. A paisagem é complexa e caracterizada principalmente por diferentes tipos de urbanização, por isso, apresenta desafios únicos, dadas a heterogeneidade espacial e espectral das superfícies urbanas e as rápidas transformações que ocorreram na cobertura do solo em períodos curtos de tempo.

De maneira semelhante, em estudo de caso sobre evolução da urbanização na cidade de Bruxelas (Bélgica), Frauman e Wolff (2005) utilizaram imagens IKONOS, de 2000, e QuickBird, de 2003, ortoretificadas e fusionadas, para detectar áreas que sofreram alteração no uso do solo neste intervalo de tempo, por meio da classificação orientada a objeto utilizando o eCognition. Mansor et al. (2002) também obtiveram resultados muito satisfatórios em análise do uso do solo utilizando a classificação orientada a objeto aplicada a imagens Landsat TM e IKONOS, com maior precisão do que a classificação baseada em *pixels*.

No método de classificação orientado a objeto, toda a abordagem baseia-se no classificador supervisionado e na lógica *fuzzy*, e a saída é uma classificação *fuzzy* em que o grau de adesão para cada uso e ocupação do solo é dado para cada objeto. O classificador supervisionado é baseado em objetos para criar amostras de treinamento; já a classificação *fuzzy* é uma técnica simples que traduz basicamente valores característicos de uma gama arbitrária em valores *fuzzy* entre 0 e 1, indicando o grau de adesão a uma determinada classe. Para Blaschke e Kux (2007), esta abordagem encontra-se bem adaptada à classificação urbana, tendo em vista que o principal desafio neste domínio é caracterizar objetos em suas propriedades espectrais, bem como em as suas métricas espaciais.

A opção pelo método baseado em objeto tem sido motivada por sua capacidade de integrar ao processo o conceito de classe hierárquica. A abordagem multissegmentação é empregada para identificação de objetos urbanos em um número definido de escalas espaciais, assim, o uso da hierarquia de classes permite a definição das relações entre as classes de uso do solo urbano por herança das descrições da classe.

Durieux et al. (2008) propõe um acompanhamento preciso da construção de imóveis utilizando um método de classificação baseada em objeto. Os resultados obtidos são de grande valor para o planejamento da expansão urbana em áreas desprovidas de informações atualizadas devido ao ritmo frenético da construção civil e do desenvolvimento residencial. A metodologia baseou-se nos conceitos de OBIA e de segmentação de imagem. O algoritmo de crescimento de região *bottom-up* utilizado para segmentação produziu segmentos satisfatórios para extração de um edifício em imagens de alta resolução espacial. Informações contextuais

e de escala foram usadas para discernir edifícios de outros objetos brilhantes, como areia de praia ou bagaço de cana-de-açúcar. O método de extração foi adaptado para detecção de mudanças na expansão urbana utilizando um banco de dados urbano em SIG. A aplicação da metodologia de extração no acompanhamento da do fenômeno com uma resolução temporal conveniente em escala regional.

4.2 Vantagens e limitações da classificação orientada a objeto em análises urbanas

Jacquin et al. (2008) e Hay e Castilla (2008) também enfatizam as vantagens do método. Em primeiro lugar, o desempenho da etapa de segmentação de delineamento dos objetos urbanos: na segmentação multirresolução, o fator de escala determina o grau máximo de heterogeneidade dos objetos no uso de imagens de resolução espacial muito alta em áreas urbanas. Se uma regra pode ser criada pelo usuário no caso de se poder estabelecer uma relação entre o tamanho das características contidas na imagem e o critério de heterogeneidade, isto lhe permite dispensar o estágio de busca pela melhor segmentação antes de realizar qualquer outra análise da imagem – estágio de extremo consumo de tempo. Em segundo lugar, a possibilidade de se caracterizar cada objeto em suas propriedades espectrais e espaciais usando regras *fuzzy* de filiação é importante para garantir aos usuários finais a reprodutibilidade do método. Apesar de o método não ser exatamente transferível, devido às especificidades da paisagem e dos dados de sensoriamento remoto utilizados em cada caso, o conhecimento por trás da definição das classes para a classificação é sim passível de transferência e utilização (Jacquin et al., 2008; Blaschke e Kux, 2007).

Entretanto, mesmo que se atribua à análise orientada a objeto um grande potencial para identificar e caracterizar objetos de uso e ocupação do solo especialmente em áreas urbanas (Blaschke e Kux, 2007), existem ainda problemas não resolvidos e desvantagens metodológicas que devem ser destacados. Em primeiro lugar, a definição de objetos é limitada pela resolução espacial e espectral das imagens de sensoriamento remoto: é necessária a realização de um balanço entre o que se considera ideal em termos de dados de sensoriamento remoto e o custo que representam, já que imagens de resolução espacial muito alta ainda são dados caros. A segunda limitação do método é o tempo necessário para calibrar os parâmetros para o estudo de caso: os processos de segmentação e de descrição de classe têm de ser adaptados para cada estudo de caso, mesmo que o fluxo de trabalho de classificação permaneça o mesmo. Por fim, a subjetividade desempenha um grande papel na definição dos parâmetros da segmentação: apesar de os softwares disponíveis terem, em geral, um elevado potencial devido às suas capacidades de segmentação multiescala, os algoritmos de segmentação respondem, por vezes, de maneira muito sensível no caso de variações mínimas, como ligeiras alterações de parâmetro, ordem de segmentação hierárquica, etc. Assim, o usuário é apresentado a um elevado grau de liberdade, o que deve ser minimizado (Jacquin et al., 2008; Hay e Castilla, 2008; Weng, 2007).

Na análise da expansão urbana na região da microbacia do rio Touch, Jacquin et al. (2008) concluíram que o métodos semi-automático baseado em objeto proporciona bons resultados para o mapeamento da expansão urbana, mas o levantamento manual de partes da bacia hidrográfica foi necessário para assegurar o nível exigido de precisão para a utilização operacional.

Por último, os usuários finais devem estar cientes de que a utilização de tal abordagem exige uma compreensão sólida dos objetos a serem mapeados e que, em qualquer caso, a qualidade dos resultados é muito sensível aos dados de entrada.

5. Conclusão

A expansão urbana tem sido apontada como um dos maiores efeitos negativos decorrentes do crescimento da população mundial sobre o ambiente e a biodiversidade. A avaliação contínua da expansão urbana faz-se necessária para limitar o impacto deste fenômeno em curso.

A detecção de mudanças em áreas urbanas, rigorosa e temporalmente oportuna, é importante para o desenvolvimento de estratégias para minimização da pobreza urbana e de seus respectivos efeitos ambientais. A atualização de mapas urbanos e de recursos naturais persiste atuante como fator crítico no desenvolvimento sustentável. Tendo em vista que, inicialmente, a expansão urbana inicia-se a partir de áreas quase que inacessíveis, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas de monitoramento simples, porém automatizadas, aliadas ao uso de ferramentas como o sensoriamento remoto.

O uso do sensoriamento remoto tem sido fundamental para uma melhor compreensão da dinâmica das atividades humanas sobre os ecossistemas, conduzindo a estudos mais detalhados e precisos. Embora as imagens de satélite possuam maior complexidade e exijam maior rigor de procedimentos no seu tratamento, elas oferecem, ao contrário dos levantamentos aerofotogramétricos, visão sinóptica e repetitividade de recobrimento com custo comparativamente inferior, características imprescindíveis para estudos de caráter regional de áreas urbanizadas com monitoramento sistemático (Almeida et al., 2006).

No processamento de imagens, a classificação orientada a objeto é ideal para estudos de áreas urbanas por possibilitar uma análise dos dados provenientes da interação entre radiação eletromagnética e alvo utilizando o conhecimento do especialista, sendo possível inclusive o uso de dados complementares (como dados topográficos), atributos de textura, forma, entre outros.

Neste cenário, o Brasil vem buscando seu espaço. Encontra-se em desenvolvimento o *software* livre InterImage, ferramenta de comprovada importância em estudos urbanos, dadas suas potencialidades de análises orientadas a objeto e baseadas no conhecimento do especialista. Em termos de estratégia de interpretação, o InterImage possui uma arquitetura mais flexível do que o eCognition. A combinação de uma análise comandada por modelo seguida de uma análise comandada por dados, como realizado pelo InterImage, apresenta o potencial da melhoria da eficiência computacional, em comparação com eCognition, que segue uma estratégia puramente comandada por dados. Assim, o InterImage oferece a modelagem de conhecimento, recurso não disponível no eCognition (Costa et al., 2007).

Embora venha apresentando resultados muito satisfatórios, conforme observado em inúmeros estudos que aplicam o método na análise de questões urbanas (Jacquin et al., 2008; Weng, 2007; Almeida et al., 2006; Nóbrega et al., 2006; Frauman e Wolff, 2005; Mansor et al., 2002), a classificação orientada a objeto também apresenta certas limitações. Contudo, o uso da classificação *pixel-a-pixel* já não é mais considerado conveniente, por exemplo, diante das altas resoluções espaciais dos dados disponíveis para análises urbanas. Nesse sentido, muitos estudos têm sido desenvolvidos para ampliação dos campos de aplicação do método orientado a objeto, visando aprimoramento das técnicas e redução de suas limitações (Blaschke e Lang, 2006).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro à execução deste trabalho.

Referências Bibliográficas

Almeida, C. M.; Pereira, M. N.; Gonçalves, C. D. A. B.; Souza, I. M.; Moreira, J. C.; Miglioranza, E.; Novaes Junior, R. A.; Florenzano, T. G. O Sensoriamento Remoto como Instrumento para o Mapeamento da Urbanização Dispersa. **Anais**. I Seminário Internacional sobre Urbanização Dispersa e Mudanças no Tecido Urbano. São Paulo: Editora FAUUSP, 2006.

Antunes, A. F. B.; Cortese, S. C. Determinação de áreas de ocupação irregulares por meio de Análise Orientada A Objetos. **Anais**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 2007, INPE, p. 481-487.

Blaschke, T.; Kux, H. J. H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados - novos sistemas sensores: métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 2ª ed., 303 p.

- Blaschke, T.; Lang, S. Object Based Image Analysis for Automated Information Extraction – A Synthesis. **Measuring the Earth II**, ASPRS Fall Conference, San Antonio - Texas, 2006. Disponível em: http://ispace.researchstudio.at/downloads/2006/173_full.pdf
- Blaschke, T.; Strobl, J. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. **GeoBIT-GIS**, n. 6, p. 12-17, 2001.
- Bückner, J.; Pahl, M.; Stahlhut, O.; Liedtke, C.-E. GEOAIDA - A Knowledge Based Automatic Image Data Analyzer for Remote Sensing Data. In: ICSC Congress On Computational Intelligence Methods And Applications, 2001 – CIMA 2001, Bangor, Wales, UK. **Proceedings...** (CD-ROM).
- Burchell, R.; Mukherji, S. Conventional Development Versus Managed Growth: The Costs of Sprawl. **American Journal of Public Health**, v.93, n.9, p.1534-1540, set 2003.
- Carlson, T. Applications of remote sensing to urban problems. **Remote Sensing of Environment**, v. 86 n. 2, p. 273-274 – Preface, mar 2003.
- Catalán, B.; Saurí, D.; Serra, P. Urban sprawl in the Mediterranean? Patterns of growth and change in the Barcelona Metropolitan Region 1993–2000. **Landscape and Urban Planning**, v. 85, n. 3-4, p. 174-184, abr 2008.
- Congalton, R. G.; Green, R. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1999, 137 p.
- Costa, G. A.; Pinho, C. M. D.; Feitosa, R. Q.; Almeida, C. M.; Kux, H. J. H.; Fonseca, L. M. G.; Oliveira, D. INTERIMAGE: An Open Source Platform for Automatic Image Interpretation. In: **Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**. Presidente Prudente, UNESP, 2007, 2ª ed. Disponível em: <http://www2.fct.unesp.br/sbg-cbcg/>
- DEFINIENS Imaging GMBH. **eCognition's User Guide**. München, 2004, 480 p.
- Donnay, J. P. **Remote Sensing and Urban Analysis**. New York: Taylor and Francis, 2001, 268 p.
- Durieux, L.; Lagabrielle, E.; Nelson, A. A Method For Monitoring Building Construction In Urban Sprawl Areas Using Object-Based Analysis of Spot 5 Images And Existing GIS Data. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, n. 63, p. 399-408, may 2008.
- Frauman, F.; Wolff, E. Change detection in urban areas using Very High spatial Resolution satellite images - Case study in Brussels: locating main changes in order to update the Urban Information System. **AM/FM-GIS Belux**, n. 32, p. 9-14. Bruxelas, 2005. Disponível em: <http://www.amfmgis-belux.be/gispdf/3200.pdf>
- Hay, G. J.; Castilla, G. Object-based Image Analysis: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (SWOT). **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, vol. XXXVI-4/C42, 2006. CD-ROM.
- Hofmann, P.; Strobl, J.; Kux, H. J. H. Detecting Informal Settlements From Quickbird Data In Rio De Janeiro Using An Object Based Approach. In: Blaschke, T.; Lang, S.; Hay, G. J. (Eds.) **Object-Based Image Analysis – Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications**. Berlin: Springer-Verlag, 2008, 817 p. Cap 6.3, p. 531-553.
- Jacquin, A.; Misakova, L.; Gay, M. A hybrid object-based classification approach for mapping urban sprawl in periurban environment. **Landscape and Urban Planning**, v. 84, n. 2, p. 152-165, fev 2008.
- Kux, H. J. H.; Araújo, E. H. G. Object-based Image Analysis using QuickBird satellite images and GIS data, case study Belo Horizonte (Brazil). In: Blaschke, T.; Lang, S.; Hay, G. J. (Eds.) **Object-Based Image Analysis – Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications**. Berlin: Springer-Verlag, 2008, 817 p. Cap 6.3, p. 571-588.
- Mansor, S.; Hong, W. T.; Shariff, A. R. M. **Object oriented classification for land cover mapping**. 2002. Disponível em: <http://www.gisdevelopment.net/application/environment>.
- Nóbrega, R. A. A.; O'Hara, C. G.; Olson, G.; Kim, S.; Vijayaraj, V.; Quintanilha, J. A.; Barros, M. T. L. Extracting and classifying bare soil erosion risk areas in a urban basin using object-based technologies, high resolution imagery and elevation data. In: **Geographic Information System And Water Resources IV**, AWRA Spring Specialty Conference, 2006, Houston, Texas. Disponível em: http://www.definiens.com/pdf/publications/AWRA_2006.pdf.
- Pinho, C. M. D.; Kux, H.; Almeida, C. M. Elaboração de rede semântica para classificação de cobertura do solo de ambientes intra-urbanos: o Caso de São José dos Campos - SP, Brasil. **Anais. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 2007, INPE, p. 637-644.
- Weng, Y. C. Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization. **Landscape and Urban Planning**, v. 81, n.4, p. 341-353, jul 2007.