

APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NOS ESTUDOS URBANOS

Magda Adelaide Lombardo* e
Reinaldo Paul Pérez Machado**

INTRODUÇÃO

As técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), associadas aos métodos convencionais de análise, constituem-se em instrumentos significativamente importante no planejamento urbano.

Muitas vezes, as informações encontram-se dispersas em diversas instituições públicas e privadas, encontram-se em diferentes formatos, mostrando-se incompletos ou redundantes.

Os estudos urbanos, principalmente nas áreas metropolitanas, requerem uma permanente atualização e ordenação dos dados para subsidiar o planejamento territorial.

Nas últimas décadas, as técnicas de Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem permitido uma análise de dados, contribuindo, assim, para estudos interdisciplinares. Os atributos urbanos tratados espacialmente, podem ser visualizados através de mapas temáticos, tratados algebricamente, analisados e combinados.

Devido à grande complexidade das feições encontradas no ambiente urbano, caracterizando-se como uma área extremamente heterogênea de cobertura num espaço limitado, a utilização de produtos de Sensoriamento Remoto é recente e bastante limitada.

As vantagens de se utilizar um SIG em qualquer procedimento de gerência do espaço têm sido amplamente demonstradas. A informação geográfica obtida a partir de diferentes fontes, como mapas, imagens, censos, tabelas estatísticas e outros, armazena-se mediante um sistema de base de dados alfanuméricos e pode ser objeto de busca segundo determinado critério temático, territorial ou ambos; ou ser combinada de muitas formas para produzir mapas derivados, que representam relações reais ou hipotéticas. O siste-

ma executa uma série de programas que permite obter: superposições, transformações, desenho de novos mapas, cálculos, etc. Isto permite a tomada de decisões em diferentes níveis, com grande objetividade e de maneira confiável, efetuando sempre a análise a partir da informação geográfica, ou seja, referida ao espaço ou georeferenciada. Os dados primários são mantidos em forma de conjunto estruturado logicamente (de forma tabular), evitando assim sua perda ou deterioração.

O USO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NO ORDENAMENTO TERRITORIAL URBANO

No estudo interno da cidade, relacionado aos padrões de uso do solo, áreas funcionais e estrutura urbana, as fotografias aéreas são bastante utilizadas, em geral na escala 1: 10 000. Os sensores ao nível orbital tem sua aplicação restringida devido ao baixo poder de resolução espacial do sistema. (Jensen, 1983; Kurkdjian et al, 1989; Foresti, 1987; Hamburger, 1993).

Na análise da evolução da mancha urbanizada, considerando-se os limites entre áreas urbanas e não urbanas, as imagens orbitais são de grande valia, oferecendo a vantagem da atualização, devido ao dinamismo da expansão dos limites urbanos. A cobertura temporal das imagens espaciais permite um monitoramento da mancha urbanizada, mostrando uma informação global e atualizada do tecido urbano e sua tendência de crescimento. Neste tipo de abordagem merecem destaque os trabalhos de Marczuk, 1984; Costa, 1990; Foresti, 1987.

A análise das imagens orbitais para inferir dados da morfologia urbana envolve interpretação visual e o proces-

(*) Profa. do Departamento de Geografia da FFLCH/USP.

(**) Prof. do Departamento de Geografia da FFLCH/USP.

samento digital. Na interpretação visual são considerados os aspectos observacionais, como análise espectral, elementos texturais, tonalidade e relação de contexto.

O processamento digital de imagem envolve a análise espectral e pode ser subdividida em técnicas de pré-processamento, de realce e de classificação.

As técnicas de pré-processamento incluem correção das imperfeições radiométricas, geométricas e da atmosfera. As técnicas de realce visam melhorar o contraste entre os alvos, auxiliando a interpretação visual de imagens.

As técnicas de classificação digital visam associar classes espectrais às classes funcionais com o objetivo de produzir mapas temáticos.

O COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS ALVOS URBANOS

O espectro urbano é composto de uma heterogeneidade de alvos com características físico-químicas diversificadas. Além disso, a assinatura espectral é variável de acordo com a relação geométrica entre a energia incidente e o ângulo de visada do sensor e da interferência atmosférica. Neste sentido, é difícil definir o comportamento espectral para áreas urbanas. Bowker *et al* (1985) analisaram a curva de reflectância de alguns alvos urbanos.

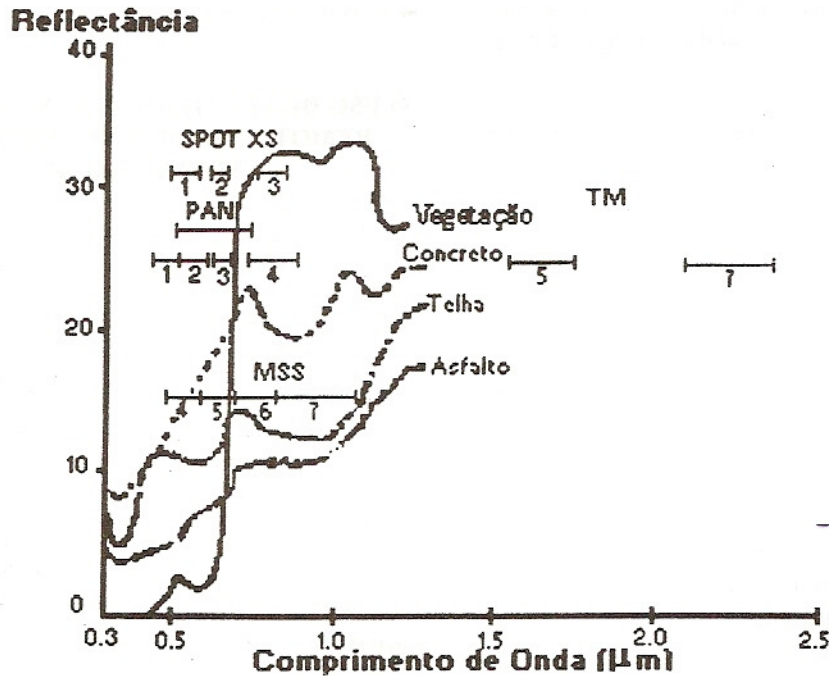


Figura 1- Reflectância espectral de alguns alvos urbanos.
Fonte: Bowker et al. (1985).

Os alvos concreto, asfalto, vegetação e a telha apresentam alta reflectância na região do vermelho (0,61 a 0,79 μm). A área de reflectância mais elevada, ao redor de 0,7 μm , corresponde ao canal 5 do sensor MSS, ao canal 3

do TM e 2 do HRV-SPOT, como pode ser verificado na tabela abaixo. Estes canais mencionados são os mais utilizados nos estudos de áreas urbanas devido ao contraste existente entre o urbano e o não urbano.

Sensor	Bandas	Resolução Espacial(m)	Resolução Espectral (ãm)	Resolução Temporal
MSS (LANDSAT 5)	4	80	0.5 - 0.6	16 Dias
	5	80	0.6 - 0.7	
	6	80	0.7 - 0.8	
	7	80	0.8 - 1.1	
TM (LANDSAT 5)	1	30	0.45 - 0.52	16 Dias
	2	30	0.52 - 0.60	
	3	30	0.63 - 0.69	
	4	30	0.76 - 0.90	
	5	30	1.55 - 1.75	
	7	30	2.08 - 2.45	
	6	120	10.4 - 12.5	
HRV - SPOT	1	20	0.50 - 0.59	26 Dias
	2	20	0.61 - 0.68	
	3	20	0.79 - 0.89	
	PAN	10	0.51 - 0.73	

Tabela 1- Características dos sistemas Sensores Orbitais.

Através de uma análise da tabela, pode-se visualizar as diferenças de resolução espacial dos sistemas sensores. Devido à grande complexidade do ambiente urbano, os sensores com maior resolução espacial permitem o reconhecimento de um maior número de detalhes. Welch(1982), discute que de acordo com a região geográfica analisada, é possível definir a relação entre o tamanho das parcelas representativas do uso do solo urbano e a resolução espacial para os sensores orbitais. Assim, por exemplo, nas cidades asiáticas onde a área ocupada pelas construções é pequena, em torno de 10m², é necessário o uso de um sensor com resolução espacial de 5 a 10 metros, enquanto que um de 30m de resolução é suficiente para estudos urbanos nos Estados Unidos.

SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA APLICAÇÕES URBANAS

Têm-se apresentado os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como cadeias automatizadas de informações que partem de uma base de dados geográficos, para realizar diferentes tipos de análises e obter resultados significativos do ponto de vista territorial (USBECK et alii, 1985).

Um Sistema de Informações Geográficas pode ser definido também como a combinação de recursos técnicos computacionais e humanos que, unidos a um conjunto de procedimentos organizacionais, é capaz de produzir informação para auxílio de algum requerimento gerencial (DALE & McLAUGHLIN, 1989).

Os componentes da informação geográfica são armazenados pelo sistema em bases de dados digitais. A coerência entre eles é essencial para garantir a homogeneidade da informação geográfica de que se está tratando. Esta tarefa torna-se complexa pois, geralmente, os atributos estão armazenados em arquivos diferentes daqueles que possuem os dados de localização e representação cartográfica. A única forma de se obter uma conexão correta é através da utilização de um **identificador comum** em cada um dos arquivos, para cada informação trabalhada. Além disso, as propriedades são independentes umas das outras, e podem variar sem alterar as demais.

Por outro lado, o **modelo de dados** a ser assumido definirá o desenvolvimento posterior do sistema. Existem duas formas básicas: o **modelo raster** e o **modelo vetorial**.

No **modelo raster**, o espaço geográfico é dividido segundo um sistema de quadriculas uniformes, a cada célula é associado o atributo predominante, utilizando seu valor médio. Isto significa que a informação geográfica contínua é convertida em **informação discreta**, perdendo em exatidão e detalhes, porém ganhando em facilidade de manipulação (desde o ponto de vista computacional), e na rápida obtenção de esquemas cartográficos.

No **modelo vetorial** é assumido um **espaço geográfico contínuo**, que cumpre com os postulados da geometria euclidiana. A informação corresponde com entidades representadas por **pontos, linhas** e superfícies obtidas a partir de coordenadas cartesianas conectadas por linhas de diferentes dimensões.

A operação de um SIG inclui a aquisição e classificação dos dados, assim como seu processamento, armazenamento, atualização, recuperação, análise e disseminação. É claro que a utilidade de um SIG dependerá fundamentalmente de sua capacidade para manter os dados atualizados, completos e acessíveis.

Atualmente, existem várias classes de sistemas de informações geográficas, cada um deles especializado em algum tema particular, como meio ambiente e recursos naturais; redes de infraestrutura; sócio-econômicos ou cadastros rurais e urbanos.

Mesmo assim, os Sistemas de Informações Geográficas voltados para aplicações urbanas, constituem uma especialidade dentro dos SIG, como disciplina. O tratamento de informações georeferenciadas urbanas pode ter dois objetivos, ou vertentes principais: o planejamento e o controle do solo para fins de tributação imobiliária (cadastro). Novamente, ambas se dividem em várias classes ou aplicações específicas, cuja forma de operação é fortemente condicionada não só pelo tipo de dado tratado, objetivo e usuários, como pelo modelo de dados empregado (raster ou vector) e pela escala dos mapas utilizados.

Vejamos em primeiro lugar o planejamento. Esta vertente é sem dúvidas a mais fértil em quantidade e variedade de aplicações de SIG para tratamento de informações urbanas. A seguir, uma tabela classificatória:

SIG PARA APLICAÇÕES URBANAS, OBJETIVO: PLANEJAMENTO			
CLASSE	DESCRIÇÃO	ESCALAS MAIS USADAS	MODELO DE DADOS
Planejamento para a Gestão Municipal	Sistemas de subsídio ao planejamento físico-territorial e econômico, como Planos Diretores, e Sistemas de Tomada de Decisões estão entre as modalidades mais utilizadas.	1:10.000 a 1:50.000	Vector e Raster
Redes de Infraestrutura	Planejamento, simulação e gerenciamento das redes de água, esgotos, gás, eletricidade, comunicações e transportes, esta última com ênfase na roteirização, modelagem e pesquisas sócio-econômicas.	1:500 a 1:50.000	Vector
Meio Ambiente	Controle da poluição ambiental. Sistemas Informatizados para subsídio a Relatórios de Impacto sobre o Meio Ambiente (RIMA) e de Impacto sobre a Vizinhança (RIVI). Prevenção e controle de enchentes e outros desastres naturais. Controle e planejamento da destinação dos resíduos urbanos. Geralmente utiliza imagens satelitárias.	1:20.000 a 1:250.000	Raster e Vector

Tabela 2- Tipos de SIG para aplicações urbanas orientados ao planejamento

Vejamos agora o controle do uso do solo para fins de tributação imobiliária (aplicações cadastrais). Esta vertente apresenta menor variedade de aplicações de SIG para tratamento de informações urbanas, porém, é comprovado que a implantação deste tipo de SIG, traz para a municipalidade um aumento na arrecadação dos impostos, como o Imposto Predial Territorial Urbano - IPTU. Na Europa e nos

Estados Unidos este ramo é conhecido como Land Information System - LIS, e se aplica a sistemas de informações cadastrais a grandes escalas, tanto no ambiente urbano como rural. A seguir apresentamos tabela classificatória:

SIG PARA APLICAÇÕES URBANAS, OBJETIVO: CADASTROS			
CLASSE	DESCRIÇÃO	ESCALAS MAIS USADAS	MODELO DE DADOS
Cadastrais para controle do uso do solo e para fins de tributação imobiliária	Sistemas de Cadastros Informatizados, altamente sofisticados, com altos requerimentos de precisão e atualização tanto na parte gráfica como na de atributos. São utilizados para o controle das propriedades imobiliárias, sobretudo do ponto de vista jurídico. Também se incluem nestes sistemas dados referentes a restrições de uso de determinados territórios do perímetro urbano (lei de zoneamento). Com ênfase na geocodificação e no endereçamento postal, completam a base da cobrança dos impostos prediais e territoriais urbanos.	1:500 a 1:2.000	Vector

Tabela 3- Características dos SIG urbanos orientados ao cadastro.

Nas grandes metrópoles a utilização dos sistemas de informações geográficas tem se tornado mais frequente, especialmente no que diz respeito à organização e manipulação eficiente de grandes volumes de dados, tanto alfanuméricos quanto gráficos. Estão claras as dificuldades encontradas pelas agências de desenvolvimento urbano no tocante à tarefa de aquisição e entrada de dados nos sistemas, no entanto a médio e longo prazos os benefícios vão sendo gradativamente incorporados, seja através do desenvolvimento de aplicações específicas, seja pela nova filosofia implementada advinda do dinamismo da análise espacial, geração instantânea de mapas temáticos, visualização de modelos tridimensionais do sítio urbano, modelagem para estudo de impacto de alternativas de intervenções urbanas, além da combinação possível entre os eventos da "cidade subterrânea" (cadastramento das redes de infraestrutura) e a cidade visível.

CONCLUSÃO

As técnicas de Sensoriamento Remoto podem ser um instrumento auxiliar no monitoramento das áreas urbanizadas, contribuindo para a análise de suas características e dinâmica. Muitos estudos foram realizados com o uso de fotografias aéreas e a metodologia de interpretação é bastante satisfatória. No caso das imagens orbitais, deve-se considerar as resoluções espectrais e espaciais do sistema sensor. As características específicas de uma determinada classe de uso do solo urbano e suas relações com as limitações espectrais e espaciais dos sistemas orbitais devem nortear os estudos urbanos. Um dos grandes desafios nesta área está relacionado a falta de trabalhos que estudem o comportamento espectral dos alvos urbanos. A grande frequência de pixels heterogêneos no ambiente urbano representa uma das dificuldades na utilização da classificação digital.

Os sistemas de informações geográficas possibilitam atualmente a plena utilização de imagens focalizando a realidade urbana (oriundas de satélites, fotos aéreas, etc.), tornando possível o monitoramento temporal compatível com a velocidade das mudanças que ocorrem nas grandes cidades.

A pesquisa acadêmica, ligada ao fenômeno do crescimento desmesurado das cidades, com a utilização dos sistemas de informações geográficas, sai do plano teórico para a praxis, através da concretização dos resultados processados, gerando opções para a formulação de políticas públicas, que virão ordenar o desenvolvimento urbano.

ABSTRACT

Remote sensing techniques serve as an important aid to the study of urban areas and monitoring its characteristics and dynamics. Geographic Information Systems provide the full

utilization of imagery when focused on urban areas, they allow the monitoring of temporal changes of large cities.

BIBLIOGRAFIA

- AALDERS, H.J.G.L. 1989. "Land Information Systems: Data Theory". Lecture Notes, ITC; Enschede, The Netherlands. 53 pp.
- ARONOFF, S. 1991. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publications. Ottawa, Canada. 294 pp.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. 1993. *Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura*. Edição EMBRAPA / CPAC.
- BOSQUE SENDRA, J. 1992. *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones Rialp, S.A. Madrid, España. 451 pp.
- BURROUGH, P.A. 1986. "Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment". *Monographs on soil and resources survey* nr. 12. Oxford Sciences Publications. 194 pp.
- CALKINS, H.W; TOMLINSON, R.F. 1977. *Geographical Information Systems: Methods and Equipment for Land Use and Planning*. U.S. Geological Survey. 91 pp.
- CANDEAUX DUFFATT, R.; PÉREZ MACHADO, R.; NÓÑEZ VELIS, P. 1989. "Sistemas Automatizados de Cartografía Temática como Caso Particular de Sistemas de Información Geográfica". *Anales de la II Conferencia Latinoamericana sobre Tecnología de los Sistemas de Información Geográfica*. Mérida. Venezuela. pp 211-235.
- CHORLEY, R.J.; HAGGETT, P. (Editors) 1970. *Socio-Economic Models in Geography*. University Paperbacks London. 468 pp.
- CHRISTOFOLETTI, A. 1979. *Análise de Sistemas em Geografia*. Hucitec, São Paulo, 106 pp.
- CHUVIECO, E. 1990. *Fundamentos de teledetección espacial*. Ediciones RIALP, S.A. Madrid. 453 pp.
- CRÁSTA, S.M.F. Avaliação de técnicas de processamento digital de imagens TM Landsat aplicado à delimitação de áreas urbanas. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, INPE, 1990.
- CRÁSTA, A. P. 1993. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Edição Revisada. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 170 pp.
- DALE, P.F; McLAUGHLIN, J. 1989 *Land Information Management*. An introduction with special reference to cadastral problems in Third World countries. Clarendon Press. London. 266 pp.
- DALY, M.T., 1972. *Techniques and Concepts in Geography*. Thomas Nelson Ltd. Australia, 124 pp.
- DE MAN, E. 1984. "Conceptual framework and guidelines for establishing geographic information systems". General Information Programme and UNISIST/UNESCO. PGI-84/WS/20. Paris. 67 pp.
- FORESTI, C; Pereira, M.D.B. Utilização de índices vegetativos obtidos com dados do sistema TM- Landsat no estudo da qualidade ambiental urbana: cidade de São Paulo. São José dos Campos, INPE, 1987
- GIS World Inc. 1992. *1993 International GIS Sourcebook*. GIS World Inc. U.S.A. 482 pp.
- HAMBURGER, D.S. Utilização de informações derivadas de características texturais de imagens orbitais na definição de classes de uso do solo urbano. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos. INPE. 1993
- JENSEN, J.R. Urban/Suburban land use analysis. In: *Manual of Remote Sensing*, 2 ed. Falls Church, V.A. American Society of Photogrammetry, 1983 v. 2, chapter 30, p. 1571- 1666.
- KURKDJIAN, M. de L.N. O. Visual aerial photograph texture discrimination for delineating homogeneous residential sectors: an instrument for urban planners. São José dos Campos. INPE, 1986.
- KURKDJIAN, M de L.N.O; li. S.S. Integração de imagens SPOT Multispectral e aerofoto pancromática para estudo do uso

- do solo urbano. IN: Simpósio Latino Americano de Perception Remota, 4. Bariloche, 1989, Proceedings, Bariloche, p. 415-421.
- MARCZYK, J.S; Karpuk, E.W. Rayner, M.R. Digital Landsat data for land-cover and land-use classification for use in integrated resource planning: a feasibility study. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 10(2): 177-189, Dec. 1984.
- OEEPE. 1990. The European Organisation for Experimental Photogrammetric Studies (OEPE). Commission D (Photogrammetry and Cartography), "Automatic Digitizing". Report nr.23, ITC; Enschede, The Netherlands. 230 pp.
- PEUQUET, A.; MARBLE, D. 1990. **Introductory Readings in Geographical Information Systems**. U.S.A. 388 pp.
- STAR, J.; ESTES, J. 1990. **Geographic Information Systems: an Introduction**. Prentice Hall. Englewood Cliffs. 249 pp.
- TEIXEIRA, A. A.; MORETTI, E.; CRISTOFOLETTI, A. 1992. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. Edição do Autor. São Paulo. 82 pp.
- TOMLIN, D. 1990. **Geographic Information Systems and Cartographic Modelling**. Englewood Cliffs, U.S.A. 249 pp.
- USBECK, H.; et alii. 1985. **Geographical Information Systems**. Institute of Geography and Geoecology. Academy of Sciences. Democratic Deutch Republic. 136 pp.
- WELCH, R. Spatial resolution requirements for urban studies. *International Journal of Remote Sensing*. 3(2): 139-146, 1982.