

Sensoriamento Remoto como fonte de dados para Sistemas de Informação Geográfica aplicados ao transporte e urbanismo

MARIA TERESA FRANÇOSO¹
MARIA ANTONIETA RUBIÃO RITO DE FREITAS²
HILDA MARIA CLAUZET FERRAZ DE MELLO³

¹Professora da EESC- Escola de Engenharia de São Carlos - USP
Caixa Postal 359 - 13.560-250 - São Carlos - SP- Brasil
Fax (0162) 71-9241 - Telex 162411 USPO BR
Bitnet: MTERESA@BRUSPSCE

²Aluna de Pós-graduação em Geoprocessamento na Escola Politécnica - USP
Departamento de Engenharia de Transportes - PTR
Av. Prof. Almeida Prado, s/n - Cidade Universitária
05.508-900 - São Paulo - SP - Brasil

³Professora da FATEC - Faculdade de Tecnologia de São Paulo
Praça Cel. Fernando Prestes, 30 - Luz
01124-060 - São Paulo - SP - Brasil
Fax (011) 228-0123 - Telex (011) 23734

Abstract. Remote Sensing is an appropriate technology for urban studies because it helps in the identification of features from spatial (shape and distribution) and spectral aspects (color and texture). When used as a source of data for supplying Geographic Information Systems, it allows speed and agility in information analysis. By virtue of this, the work addresses the connection between Remote Sensing and Geographic Information Systems, considering the applications on transportation and city planning.

1. Introdução

O meio urbano é constituído por elementos que realizam diversas funções inter-relacionadas de maneira complexa, o que o caracteriza como um sistema. A combinação desses elementos não é arbitrária, podendo ser expressa por leis estruturadas. Em função disso, as pesquisas referentes a sistemas de transporte e urbanismo tem visado a elaboração de modelos matemáticos. Este ferramental, embora poderoso, adapta-se apenas a uma pequena fração do universo de conceitos e fatores, utilizados teoricamente para explicar o fenômeno urbano numa escala pequena. Tal conclusão mostra o caráter puramente instrumental do enfoque quantitativo e estimula o emprego de grupos multi-disciplinares de planejamento (escala grande), sendo necessário para isso a manipulação de um grande volume de dados.

Numa época dominada pela informática, os sistemas computacionais proporcionam mecanismos que agilizam, melhoram a confiabilidade e facilitam o manuseio de informações.

A crescente sofisticação e eficiência de programas e equipamentos, aliada ao surgimento da computação gráfica, tornou possível o desenvolvimento de sistemas computacionais para manipulação de grande volume de dados referenciados espacialmente. Estes sistemas, denominados Sistemas de Informação Geográfica - SIG, servem de apoio a diversas áreas, tais como: Geologia, Hidrografia, Agricultura, Engenharias Civil, de Transportes, Urbana, de Minas etc.. Estes sistemas analisam e integram informações com o objetivo de obter soluções rápidas e precisas, facilitando as tomadas de decisões, o que justifica a utilização desse recurso para estudo do espaço urbano.

Os dados a serem coletados e introduzidos nesta estrutura dependem da escala do modelo urbano. Numa escala grande o modelo deve refletir com fidelidade as características locais (vias, cruzamentos, semáforos etc.). Numa escala menor, a quantidade e as características variam muito, para representar não os elementos locais, mas a agregação deles.

Portanto, para Sistemas de Informação aplicados ao transporte e urbanismo, deve-se estabelecer o domínio espacial do problema, ou seja, deve-se definir quais os dados (entes e atributos) necessários, sua forma de mensuração e fontes de dados. Para o caso em questão, pode-se considerar várias fontes de dados - levantamentos de campo, mapas, fotografias aéreas, imagens orbitais, vídeos, cadastros etc. - entretanto, neste trabalho serão abordados apenas os dados ou informações obtidas por sensoriamento remoto.

2. Sensoriamento Remoto aplicado ao transporte e urbanismo

Na seleção das técnicas de sensoriamento remoto deve-se ter um conhecimento antecipado do significado dos parâmetros medidos com relação ao problema que está sendo investigado. Qualquer sistema de sensoriamento remoto pode ser subdividido em duas partes: aquisição e utilização de dados. Estas fases estão intimamente relacionadas, o mesmo acontecendo com os elementos essenciais que as completam (plataforma, sensor e trajetória). Cada elemento é um aspecto discreto e tem seus próprios custos, problemas, requisitos tecnológicos e metodológicos, pessoal etc..

As plataformas podem ser aéreas ou espaciais. A seleção da plataforma depende principalmente dos objetivos do programa, devendo-se levar em conta os custos de investimento, o tamanho da área a ser levantada, a escala dos fenômenos a serem investigados, as características geométricas das imagens, o tamanho, o peso, a operação, características dos sensores e a necessidade de cobertura repetitiva.

Os principais fatores relacionados à seleção dos sensores são: sensibilidade (espectral, gravimétrica ou magnética), resolução, necessidade de energia e resfriamento, tamanho e peso, custos (investimentos e operação) e as condições de operação (hora do dia, clima etc.).

Na definição da trajetória devem ser levados em conta aspectos tais como localização da área de interesse, facilidade de operação da plataforma e recobrimento espacial e temporal.

A utilização do sensoriamento remoto para estudo do espaço urbano pode ser dividida em intra e inter-urbana. A maior parte dos trabalhos desenvolvidos estão voltados para o estudo de expansão urbana (abordagem inter-urbana). O espaço intra-urbano tem composição extremamente complexa, formada por edifícios, parques, estacionamentos, sistema viário etc., que constituem alvos com diferentes respostas espectrais, com diversas dimensões e espaçamentos. Portanto, para a análise desta combinação é necessário que os produtos de sensoriamento remoto tenham altas resoluções espaciais e espectrais.

Com o aumento da capacidade de resolução dos satélites e com a evolução das pesquisas das técnicas de obtenção, tratamento e interpretação, o uso das imagens orbitais para planejamento urbano vem crescendo gradativamente. O satélite SPOT por apresentar uma resolução maior que o LANDSAT, e conseqüentemente fornecer imagens em escalas maiores (por exemplo 1:25.000), facilita a interpretação de ocorrências intra-urbanas. Porém, ao se comparar o uso de aerofotos com imagens de satélites (SPOT ou LANDSAT), é necessário levar em consideração os seguintes aspectos:

- a pequena área que é coberta em uma única foto;
- a dificuldade de obtenção de cobertura em áreas onde o clima é muito úmido e o tempo nublado é frequente;
- o tempo de operação de um levantamento aerofotográfico pode não coincidir com o tempo máximo disponível para a elaboração do planejamento e implantação de projetos;
- a gravação dos dados em apenas uma faixa espectral limita a possibilidade de discriminar características diferentes do solo.

Estas restrições dos levantamentos aerofotogramétricos, tornam-se indicadores para utilização de imagens orbitais. Porém, deve-se lembrar que, se houver necessidade de levantamentos de detalhes (para áreas intra-urbanas), as resoluções dos satélites ainda não são compatíveis às fotografias aéreas, uma vez que estas trabalham em escalas muito grandes.

Alguns esforços têm sido realizados para se obter um produto híbrido, resultante da integração de produtos de diferentes sensores e resoluções espaciais, com o propósito de melhorar a sua qualidade, tendo em vista sua interpretação visual, demonstrando sua plena utilidade para estudos da estruturação de alvos urbanos.

As imagens de satélites são importantes quando empregadas na detecção e monitoramento dos limites urbanos (visão inter-urbana), além de auxiliarem o planejamento do uso do solo, conservação da paisagem e recursos naturais. Permitem também a quantificação das áreas urbanas.

Uma característica importante na utilização de técnicas de fotointerpretação, com o auxílio de falsa cor e de análise digital, é que a leitura ou acompanhamento das mudanças podem ser verificadas rotineiramente, através da periodicidade da passagem do satélite.

Em relação ao estudo do crescimento urbano, KURKDJIAN (1988) relaciona as vantagens obtidas com o uso das técnicas de Sensoriamento Remoto via orbital::

- a capacidade de os sistemas sensores orbitais gerarem produtos em diferentes faixas espectrais (MSS LANDSAT em 4 faixas, TM LANDSAT em 7 faixas, HRV SPOT em 4 faixas - 3 no modo multi-espectral e 1 no modo pancromático) torna possível estudar o crescimento das cidades através da análise de diferentes elementos que compõem o espaço urbano e seu entorno, os quais são melhor identificados em determinadas faixas do espectro;
- a visão integrada do espaço urbano-regional conseguida, sobretudo, através das composições multiespectrais coloridas, que combinam de até 3 faixas do espectro eletromagnético, permite perceber as inter-relações entre os diferentes componentes da paisagem;
- a visão sinótica da cidade e seu entorno, oferecida pelas imagens orbitais, geradas por equipamentos colocados a centenas de quilômetros da Terra, facilita apreender a distribuição espacial dos diferentes elementos da estrutura urbana e regional, como as ligações entre eles;
- a oportunidade de trabalhar com os dados orbitais em diferentes escalas, possibilita desde uma visão sinótica do espaço urbano

até uma visão delhada, compatível com a visão espacial do sistema sensor utilizado (MSS LANDSAT, TM LANDSAT, HRV SPOT - XS e P);

- a possibilidade de análise temporal do fenômeno urbano-rural, graças ao recobrimento repetitivo de um mesmo ponto de superfície da Terra pelas passagens sucessivas do(s) satélite(s), permite acompanhar a expansão urbana e as alterações que ocorram em sua estrutura;
- a possibilidade de processamento digital de imagens, permite o uso de técnicas de realce e de registro de imagem facilitando a detecção das alterações de uso da terra e avaliar a expansão urbana de forma mais rápida e eficiente.

Por outro lado, foram constatadas algumas desvantagens em relação aos estudos de delimitação de áreas urbanas, tais como:

- o fenômeno da conurbação existente nas áreas metropolitanas, impede a visualização nítida das partes que a constituem;
- cidades de tamanho reduzido dificultam as leituras de alguns sensores de baixa resolução;
- a irregularidade nas bordas e o relevo acidentado (sombreamento) dificultam a delimitação da área urbana;
- nas cidades litorâneas surge o problema de reflectância das areias, que em alguns casos podem ser confundidas com áreas construídas.

Através das vantagens e desvantagens, as técnicas de Sensoriamento Remoto via orbital podem ser consideradas adequadas para o estudo do crescimento das cidades, para a detecção da borda das mesmas e auxiliam no estudo do uso do solo. Devido as passagens sucessivas dos satélites, é possível fazer uma análise temporal acompanhando a expansão urbana e detectar as alterações ocorridas em sua estrutura. Apesar das dificuldades é possível afirmar que esta técnica é insuperável a nível de rapidez comparada às técnicas convencionais.

Entretanto, a escala máxima de 1:25.000 conseguida pela imagem SPOT, limita os estudos no meio intra-urbano. Nestes casos emprega-se as técnicas de aerolevantamentos, as quais permitem uma abordagem geral sobre vários aspectos do transporte e urbanismo, citados a seguir:

- estudos de nível de serviço, de densidade e taxa de ocupação de faixas;
- o traçado de curvas isodensas de tráfego, as quais fornecem subsídios para estudar as variações no nível de densidade do tráfego, tanto em relação ao espaço, quanto em relação ao tempo, possibilitando a localização e duração aproximada de um congestionamento;
- estudos da demanda e velocidade do tráfego;
- contagens volumétricas;
- classificação de tráfego;
- estudo de áreas de estacionamento, de entrelaçamentos, mudanças de faixas, faixas de aceleração e desaceleração;
- determinação de "headways" de tempo e espaço;
- pesquisas origem-destino;
- fornece parâmetros para projeto e análise de interseções;
- confecção de cadastros viários, de propriedades e sinalização;
- análise de acidentes (localização de "pontos negros");
- estudo de áreas de difícil acesso, ou ainda para auxiliar na determinação das causas de comportamento errático dos fluxos de tráfego.
- uso do solo,
- ocupação urbana (zonas residencial, comercial, industrial, áreas verdes, de lazer, áreas não habitáveis etc.).

As principais limitações dessa técnica são:

- demora na efetivação dos vôos devido as condições atmosféricas desfavoráveis;
- reduzido número de horas com luz solar;
- obstruções à visão aérea;
- variações na escala fotográfica decorrente das mudanças na topografia do terreno ou na altitude do vôo;
- variação da velocidade da aeronave devido a ocorrência de ventos e
- alto custo.

3. Sistemas de Informação Geográfica - SIG

Os Sistemas de Informação Geográfica - SIG, baseiam-se numa tecnologia de armazenamento, análise e tratamento de dados espaciais, não espaciais e temporais e na geração de informações correlatas

Um SIG é alimentado por dados provenientes de fontes primárias ou secundárias. As fontes primárias são obtidas diretamente do mundo real através de levantamentos de campo (topográficos, geodésicos, censos, cadastrais etc.) ou de produtos do sensoriamento remoto (aéreos e orbitais). As secundárias são desenvolvidas a partir de fontes primárias: mapas e estatísticas.

Para entrada, os dados sofrem processos de codificação e de digitalização (via mesa digitalizadora, teclado, scanner etc.). Esta é uma das fases mais importantes do trabalho, pois nela se estabelece a qualidade, precisão (nível de resolução) e confiabilidade do produto final. Define-se nesta etapa a viabilidade operacional do sistema em função do volume de dados, do tempo e da capacidade do equipamento disponível.

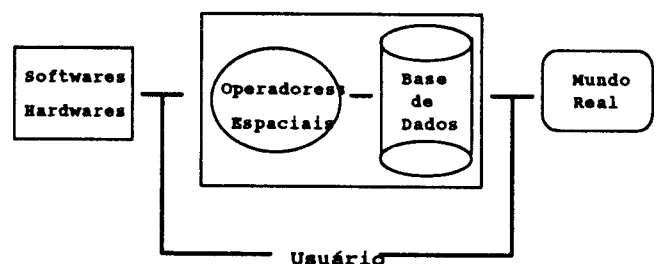
As estruturas de representação dos dados espaciais podem ser classificadas em raster ou vetorial.

A estrutura raster (ou matricial) divide o espaço em elementos discretos. É obtida através de uma malha com linhas verticais e horizontais, formando as células (pixel ou quadrículas). As dimensões das células definem a precisão do processo (nível de resolução), pois adota-se o critério da maior ocorrência para se estabelecer qual a infomação da mesma.

A estrutura vetorial, entretanto, considera os elementos contínuos, os quais podem ser reduzidos a três formas básicas: pontos, linhas ou áreas.

TEIXEIRA (1992), subdivide o sistema em (vide esquema 01):

- banco de dados;
- operadores espaciais: conjunto de programas ("softwares") dedicados à execução de operações sobre os dados e
- equipamentos ("hardwares").



Esquema 01: Componentes de um SIG

O banco de dados é composto por programas que gerenciam os dados, ou seja, organizam os mesmos com a finalidade de agilizar a procura para aplicações das operações espaciais. Essa organização em geral é estruturada hierarquicamente, de modo relacional ou em rede.

Os operadores espaciais são um conjunto de programas que atuam sobre a base de dados produzindo as informações requeridas pelo usuário. Entre as informações destacam-se:

- localização de uma entidade e/ou listagem de seus atributos;
- atualização dos dados;
- cálculo de área;
- cálculo do perímetro;
- cálculo de distâncias (menor distância entre dois pontos, vizinho mais próximo, rota mais curta ou mais rápida);
- traçado de redes;
- operações aritméticas e Booleanas entre planos de informações;
- cálculos estatísticos;
- reagrupamento de dados;
- cruzamentos dos planos ;
- tratamento de dados altimétricos: declividade, exposição de vertentes, interpolações, visibilidade entre pontos, perfis do terreno, cálculo de cortes e aterros, modelos digitais de terrenos etc.;
- tratamento de imagens através de filtragens etc..

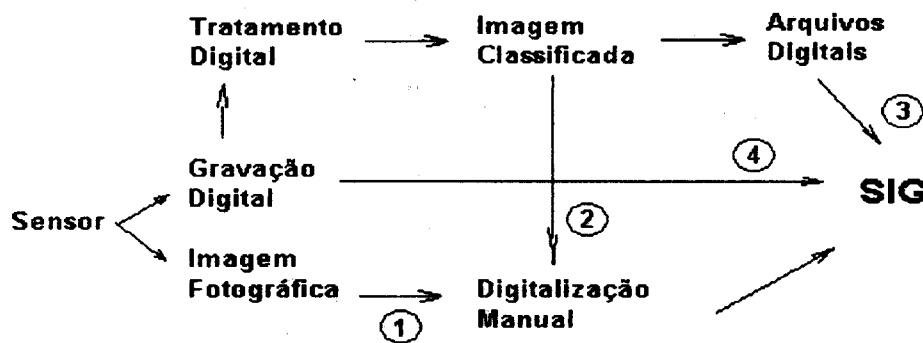
O "hardware" é outro aspecto importante. Os SIGs podem operar em microcomputadores, estações de trabalho, minicomputadores e mainframes. Admitem vários periféricos, sendo os mais comuns: mesa digitalizadora, mouse, vídeo colorido e impressora matricial.

4. Integração entre o Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica

Como citado anteriormente, o Sensoriamento Remoto é uma das fontes de dados para um Sistema de Informação Geográfica. No caso de plataformas orbitais, a capacidade de se obter imagens a baixo custo em um período de tempo bastante curto contribui para reduzir os problemas chaves do SIG: entrada e atualização de dados. É importante salientar que os erros embutidos nos dados orbitais devem ser levados em conta nas análises das informações, portanto, antes da introdução destes dados, deve-se incluir um processo que elimine ou diminua os mesmos.

O esquema 02 mostra as várias formas de integração entre Sensoriamento Remoto e o SIG:

A estrutura de armazenamento do SIG. é que define entre este e o Sensoriamento Remoto. Quando se opta por uma interpretação visual, as categorias são definidas por suas fronteiras, o que o torna adequado para entrada de dados em estrutura vetorial. Caso a estrutura seja raster, emprega-se um programa de conversão vetorial a raster.



1. Digitalização de um mapa temático obtido a partir de interpretação visual
2. Digitalização de um mapa temático obtido a partir da imagem classificada
3. Arquivo digital gerado pela imagem classificada
4. Gravação digital - dados brutos

Esquema 02: Integração entre Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica

Quando se optar por uma classificação digital, a conexão é direta em formato raster. No caso de utilização de um SIG com estrutura vetorial, há necessidade de uma conversão. Entretanto, apenas alguns sistemas possuem o algoritmo para esta operação, pois é um tratamento complexo e caro.

5. Conclusões

De maneira geral, o emprego do sensoriamento remoto é adequado para obtenção de dados para estudo do espaço urbano.

No atual estágio de desenvolvimento, os produtos obtidos através de sistemas orbitais não possuem resolução espacial necessária para algumas aplicações do meio intra-urbano. Nestes casos ainda são utilizadas as fotografias aéreas.

Entretanto, o aprimoramento dos sistemas orbitais vem melhorando as resoluções, aumentando os intervalos espectrais e conseqüentemente, ampliando a possibilidade de aplicação desta técnica no estudo do espaço urbano.

Quando o modo de análise do sensoriamento remoto é digital, os dados podem ser utilizados diretamente para alimentação de Sistemas de Informação Geográfica, possibilitando a integração de imagens obtidas através de diferentes sistemas orbitais, bem como cruzamentos com outras informações.

6. Bibliografia

CHUVIECO, E. **Fundamentos de Teledetección espacial**, cap. 08, Editora Rialp. Madrid, Espanha, 1990.

JENSEN, J.R. Urban/Suburban Land Use Analysis. **Manual of Remote Sensing**, vol. 02, cap. 30, 1985.

KURKDJIAN, M.L.N.O. **Sensoriamento Remoto Orbital: um instrumento para monitorar o crescimento urbano**. INPE - 4456/PRE/1287. São José dos Campos, São Paulo. 1988, p. 01-3.

NAITHANI, K.N. Can satellite images replace aerial photographs? A photogrammetrist's view. **ITC Journal**, p. 2-31, 1990.

PISANI, M.A.J. **Sensoriamento Remoto via orbital aplicado a estudos urbanos**. Dissertação de Mestrado, EPUSP. São Paulo, 1991.

RODRIGUES, M. Introdução ao Geoprocessamento. **Geoprocessamento**, EDUSP, São Paulo, p. 1-26. 1990.

TEIXEIRA, A.L.A. et alii. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. Rio Claro, 1992. 55 p.