

DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO
NA IMPLEMENTAÇÃO DE MODELOS URBANOS

Maria Suelena Santiago Barros

Maria de Lourdes Neves de Oliveira

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Caixa Postal 515 - 12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

Este trabalho relata experiências da Divisão de Engenharia de Sistemas do Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, na área de modelagem urbana, enfatizando o uso de dados de Sensores Remotos a baixa altitude como entrada para a implementação dos modelos. São apresentados modelos para: avaliar, através da análise de 28 parâmetros, a qualidade global de cada setor em que a área urbana é dividida; identificar áreas urbanas prioritárias para ações de saúde; avaliar a qualidade do transporte coletivo urbano entre zonas residenciais e hospitais de atendimento geral; analisar a dinâmica do desempenho urbano; e, finalmente, analisar e planejar a estrutura espacial urbana. A cidade de São José dos Campos, SP, com cerca de 300.000 habitantes, foi utilizada como área teste para implementação desta série de modelos. Aerofotos em branco e preto na escala aproximada de 1:10.000 foram utilizadas.

ABSTRACT

This paper reports some experiences of the Systems Engineering Division of the Institute for Space Research - INPE, in urban modelling, stressing the use of airborne remote sensing data as input for implementing mathematical models. Models are presented to fulfill the following purposes: to estimate, through the analysis of 28 parameters, the overall quality of each one of the sectors into which the urban residential area is divided; to identify priority urban areas for Public Health Care; to evaluate the quality of public bus transportation between residential areas and general hospitals; to analyse the urban performance; and, finally, to analyse and plan the urban spatial structure. The town of São José dos Campos, State of São Paulo, Brazil, (with a estimate populational size of 300,000 inhabitants) has been used as test area for implementing the described models. Black and white aerophots in an approximated 1:10,000 scale have been used.

1. INTRODUÇÃO

Os modelos urbanos, representações simplificadas da realidade urbana, têm sido usados com certa intensidade nos últimos anos, dentro do processo de planejamento das cidades. Tais sistemas conceituais têm sido úteis aos planejadores para o conhecimento dos sistemas reais e para a ação sobre eles. Isto é feito através da manipulação conceitual das representações simbólicas dos fenômenos em estudo.

Dentro desta linha em que são desenvolvidos modelos urbanos com vistas ao planejamento, apresentam-se a seguir alguns modelos desenvolvidos no Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE, que utilizam como dados de entrada informações fornecidas por sensores remotos, mais especificamente por aerofotos individuais (e pares estereoscópicos), obtidas por aeronave a baixa altitude, em escala aproximada de 1:10.000, e por mosaicos aerofotográficos em diversas escalas.

2. APRESENTAÇÃO DOS MODELOS

São apresentados cinco modelos matemáticos que representam realidades urbanas e foram implementados no INPE com a utilização dos computadores Burroughs B6700 e B6800.

2.1 - MODELO DE QUALIDADE URBANA

Um modelo para a análise da qualidade (Manso e Barros, 1975), que enfoca a área urbana através de uma abordagem sistêmica, foi desenvolvido por meio do estudo de 28 parâmetros que influem no padrão de vida urbana. Estes 28 parâmetros são classificados dentro de três grandes grupos, segundo valores básicos ditados pela Carta de Urbanismo Moderno - Carta de Atenas - (UNB/ICA/FAU, 1969). São eles:

- Grupo I - Conjunto de fatores que influem na qualidade do edifício.
- Grupo II - Conjunto de fatores que influem na qualidade da infraestrutura física da área urbana.

Grupo III - Conjunto de fatores que influem na qualidade da infraestrutura social da área urna.

A cada um destes parâmetros associam-se cinco níveis de qualidade representativa do grau de desenvolvimento do parâmetro no sistema urbano geral. Cada um destes níveis, previamente conceituado, tem seu valor variando do estágio pior, 1(um), ao melhor, 5(cinco).

Para a implementação deste modelo em computador, adotou-se a divisão da cidade em módulos mínimos de 125 m por 158,5 m (1,98 ha). A partir destes módulos, a cidade passou a ser representada por uma matriz em que cada elemento é simbolizado por um caractere de impressão no computador Burroughs B6700, caractere este que corresponde a um módulo mínimo.

Módulos mínimos contíguos foram agrupados, com auxílio da foto-interpretção, em Zonas Homogêneas (ZH) - espaços delimitados por uma mesma textura urbana que possuem um mesmo valor de qualidade urbana.

Dos 28 parâmetros do modelo, 13 são possíveis de serem analisados, direta ou indiretamente, através do exame das aerofotos, e 8 são analisados através de aerofotos após a obtenção de dados iniciais de cadastros ou pesquisas de campo. As fotos não fornecem informações sobre os parâmetros restantes.

Os parâmetros direta ou indiretamente analisados através das aerofotos são:

- Densidade fundiária.
- Estacionamento privado da habitação.
- Caixa de rodagem dos veículos.
- Estacionamento público coletivo.
- Passeio público.
- Rede escolar.
- Recreação pública e equipamentos comunitários.
- Densidade demográfica.
- Técnicas construtivas da habitação.
- Estado de conservação da habitação.
- Rede de energia elétrica.
- Iluminação pública.
- Movimento de veículos e segurança de tráfego.

A título de exemplo, seguem-se alguns procedimentos para a análise de três destes parâmetros. A *densidade fundiária* da zona é definida pela relação área construída/área do lote, típica da ZH. Ambos os valores, área construída do imóvel e área do lote, são diretamente observáveis através das aerofotos. O parâmetro *densidade demográfica* da zona não é observado diretamente, porém o número de habitações da zona o é. Dados de campo acerca do número de

habitantes por habitação são então necessários para o cálculo da densidade demográfica. Neste grupo estão também aqueles parâmetros cuja análise envolve a realização de inferências com base em pistas diretamente observáveis na foto. Por exemplo, a *técnica construtiva do imóvel* é inferida a partir da área do imóvel, volume, forma de telhados, etc.

Os parâmetros que necessitam de dados de cadastro ou pesquisa de campo para serem analisados, em seguida, na foto aérea, são:

- Serviço de limpeza pública.
- Rede telefônica.
- Transporte coletivo.
- Serviços de Correios e Telégrafos.
- Rede hospitalar de caráter local.
- Rede de comércio vicinal.
- Poluição física.
- Serviços de organização comunitária.

De um modo geral, a análise destes parâmetros parte de informações acerca da localização de um equipamento ou serviço e leva em consideração seu raio de influência. Através das aerofotos, identifica-se a proporção da população da ZH dentro deste raio, avaliando-se a qualidade do parâmetro, que é função também da população da população não atendida.

Os demais parâmetros que completam o modelo são:

- Infra-estrutura da unidade habitacional.
- Rede coletora de esgotos.
- Coleta de lixo.
- Segurança pública.
- Drenagem urbana.
- Rede de abastecimento de água.
- Poluição ambiental.

Este modelo forneceu saídas em forma de tabelas e mapas obtidos em computador as quais mostram a qualidade de cada Zona Homogênea da cidade, por parâmetro, ou a medida global de qualidade urbana.

2.2 - MODELO PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS URBANAS PRIORITÁRIAS PARA AÇÕES DE SAÚDE.

O modelo de análise da qualidade urbana serviu de base para o desenvolvimento de um modelo para a identificação de áreas urbanas prioritárias para ações de saúde (Silva e Barros, 1976). Este modelo constituiu-se da reunião de 18 parâmetros, dentre os 28 iniciais, considerados relevantes para o enfoque do sanitarista.

Estes parâmetros foram agrupados em:

Grupo I - Qualidade da Habitação (diretamente afeito às características físicas da habitação e da infra-estrutura).

Grupo II - Saneamento do Meio (intimamente relacionado com as condições sanitárias da área e do saneamento urbano).

Neste modelo, como no anterior, as fotografias aéreas foram utilizadas para a setorização da cidade em Zonas Homogêneas e para a análise de 13 parâmetros do modelo.

A aplicação deste modelo a São José dos Campos, SP, em 1974, identificou 20 Zonas Homogêneas com qualidade urbano-sanitária negativa que foram consideradas as áreas mais carentes para a ação da Saúde Pública.

2.3 - ALOCAÇÃO DA POPULAÇÃO AOS HOSPITAIS EXISTENTES EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Este modelo objetiva a alocação da população da cidade aos hospitais de atendimento geral, e através dos resultados obtidos, é feita uma avaliação da qualidade do transporte coletivo com relação aos serviços hospitalares (Bogdanoff, 1975).

A cidade de São José dos Campos, SP, foi dividida em zonas residenciais homogêneas que foram reunidas em oito grupos, cada qual com serviços semelhantes de ônibus para os hospitais existentes. A seguir, o modelo utilizou a programação linear para distribuir a população, considerando-se duas abordagens: alocação global ótima (distância mínima) dos serviços dos cinco hospitais existentes na cidade, e a solução de custo mínimo para o usuário do hospital.

As aerofotos foram utilizadas neste trabalho para identificação das zonas residenciais homogêneas da cidade, quantificação da população de cada zona, localização dos hospitais e determinação da distância total percorrida por uma pessoa, da sua residência ao hospital. Para isso, utilizaram-se pares esteoscópicos no exame do relevo, além dos mosaicos, que possibilitam uma visão global da cidade.

Além destas informações fornecidas pelas fotografias aéreas, as rotas dos ônibus a localização dos pontos de ônibus, e o número de leitos dos hospitais são necessários para a implementação do modelo.

O trabalho pode ser estendido definindo-se localizações ótimas de novos hospitais em função das populações das zonas residenciais.

2.4 - MODELO DA DINÂMICA DO DESEMPENHO URBANO

Este modelo permite a análise da dinâmica do desempenho urbano através de duas medidas básicas - *oportunidade* e *qualidade* (Sitindjak et alii, 1975).

Oportunidade, também denominada liberdade real de escolha para um grupo populacional, implica na existência de uma determinada atração (trabalho, moradia, compras, lazer, estudo e assistência médica) na área urbana, bem como a acessibilidade do grupo a ela. Esta acessibilidade é função da qualificação e recursos do usuário para que ele se beneficie da atração. Assim, a dificuldade de deslocamento do local de residência às atrações urbanas (em termos de distância, tempo e custo) deve ser compatível com os recursos (renda e tempo disponível) do usuário.

O conceito de qualidade está associado às condições que uma área apresenta para a ocupação residencial. Esta qualidade depende:

- a) da qualidade urbana local, que é função de fatores urbanos da própria célula (características de habitação, traçado e tratamento do sistema viário, redes de água, esgoto, iluminação pública, etc).
- b) da contribuição de outras zonas, cuja intensidade dependerá do poder de atração destas sobre a zona em análise, e das condições que estas apresentam para fins residenciais.

Neste trabalho, para a medida da oportunidade, foram necessários os seguintes dados de entrada: divisão da cidade em zonas homogêneas, população, uso do solo, distância entre zonas. Estes dados foram obtidos por fotointerpretação. Índices de qualidade local foram determinados através do Modelo de qualidade Urbana, de Manso e Barros (1975), já apresentado na seção 2.1. Os demais, frequência relativa a cada atração, tempos de viagem, número de empregos, foram obtidos através de outras fontes.

As aplicações deste modelo referem-se à distribuição de futuros incrementos populacionais, planejamento do uso do solo, localização de equipamentos urbanos e seleção de alternativas de programas ou projetos urbanos.

Quando as aplicações potenciais do modelo se referirem a situações futuras, todos os dados de entrada devem ser relativos a projeções.

2.5 - MODELOS DE PROJEÇÃO E DE LOCALIZAÇÃO DE POPULAÇÃO URBANA, UTILIZANDO TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO

Um modelo para análise e planejamento da estrutura espacial urbana (Barros et alii, 1981) foi desenvolvido como parte de um sistema para o planejamento de redes telefônicas urbanas (Dal Bianco e Bueno Netto Jr., 1980).

Considerando-se a localização industrial como uma variável exógena definida por legislação do uso do solo, o modelo busca a localização residencial e a de comércio e serviços. A localização residencial foi formulada como uma função da oferta de solo residencial, da renda da família, do padrão de habitação e do nível de urbanização da área. A localização das ati

vidades de comércio e serviço é função do mercado potencial gerado pela população das áreas residenciais e pela acessibilidade às áreas comerciais.

A evolução da estrutura espacial urbana foi simulada usando-se a técnica de Monte Carlo.

Os dados de entrada para este modelo foram aqueles conseguidos de informações de cadastros e leis de zoneamento, de aerofotos e mosaicos e de pesquisa amostral de campo.

As fotografias aéreas, neste trabalho, foram usadas para:

- Delimitar a área urbana construída e a disponibilidade para ocupação.
- Dividir a área residencial urbana em zonas homogêneas (Manso et alii, 1979). Estas zonas foram utilizadas com dois propósitos: facilitar a elaboração do modelo urbano compacto, reduzindo o custo de preparação de dados e de simulação; e possibilitar a estratificação do solo urbano em setores homogêneos, o que constituiu critério extremamente adequado para orientar a realização de pesquisas amostrais de campo. Neste caso, a pesquisa de campo levantou 43 variáveis características do perfil sócio-econômico dos moradores de uma dada zona homogênea, as características dos imóveis da zona e seu nível de urbanização.
- Auxiliar na determinação das densidades demográficas das diferentes zonas homogêneas (pela foto define-se o número de habitações e área da zona).

O mosaico aerofotográfico teve uso intenso neste trabalho. Foram utilizados mosaicos de três períodos distintos de desenvolvimento da cidade, num espaço de 15 anos. Estes mosaicos serviram para a identificação de: obstáculos à urbanização, áreas de transição entre Zonas Homogêneas, loteamentos clandestinos, loteamentos reservados para especulação, áreas verdes, fontes de poluição, eixos de desenvolvimento, desequilíbrios setoriais e validação do modelo matemático.

Com relação à validação do modelo matemático, esta foi realizada com a "reconstrução" da cidade, no computador, a partir do ano de 1962, aplicando-se o modelo sucessivamente até o ano de 1978. A estrutura modelada foi comparada com a real (mosaico), identificando-se os desvios das projeções. Tais desvios, obtidos sucessivamente, possibilitaram conhecer a variância preditiva do modelo. Na aplicação deste modelo, desvios significativos foram observados apenas nas zonas com nível de urbanização mais alto, da ordem de 20%, o que corresponde a um desvio absoluto inferior a 0,5% para toda a cidade.

A precisão e a confiabilidade do modelo da simulação da estrutura urbana foi fundamental para a precisão e para a confiabilidade dos modelos de quantificação e localização da demanda telefônica, objeto de interesse principal deste trabalho.

3. CONCLUSÕES

As experiências da Divisão de Engenharia de Sistemas do Instituto de Pesquisas Espaciais, sugerem que o uso de aerofotos em estudos urbanos com vistas ao planejamento é um procedimento valioso no contexto em que ocorrem as decisões do planejamento municipal nas cidades brasileiras. A carência de informações intra-urbanas, a falta de recursos financeiros e humanos das administrações municipais e a dinâmica do desenvolvimento urbano no país justificam e tornam extremamente útil o uso deste instrumental, que permite a obtenção de ampla gama de informações de modo rápido, econômico e eficiente e facilita, através dos mosaicos, a apreensão, de modo globalizante, da estrutura espacial urbana.

Os resultados das pesquisas têm sido estimulantes.

Faz-se necessário que dois aspectos sejam objeto de preocupações futuras. Em primeiro lugar deve-se buscar, através de uma interação mais forte entre Institutos de Pesquisa e Prefeituras Municipais, que resultados deste tipo de estudos sejam disseminados para além das fronteiras de ação de pesquisadores. É indispensável que a fotointerpretação passe a fazer parte do dia a dia do planejador municipal. Em segundo lugar, deve-se fazer que o uso de aerofotos seja estendido para outras áreas além das que foram utilizadas como áreas teste. Estas, geralmente, têm sido as menos carentes de recursos e as que dispõem de sistemas de informação mais bem estruturados, para o planejamento. Este é o caso, por exemplo, de São José dos Campos, SP, área teste desta série de trabalhos apresentados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, M.S.S.; DAL BIANCO, D.; BUENO NETTO JR, O. *Modelo de projeção e de localização de população urbana utilizando técnicas de simulação*. São José dos Campos, INPE, ago.1981. (INPE-2207-PRE/013).
- BOGDANOFF, G.P. *Alocação da população aos hospitais existentes em São José dos Campos*. São José dos Campos, INPE, mar.1975. (INPE-625-NTE/001).
- DAL BIANCO, D.; BUENO NETTO JR, O. *Um método para o planejamento de redes telefônicas urbanas de grande porte*. São José dos Campos, INPE, out. 1980. (INPE-1932-TDL/033).
- MANSO, A.P.; BARROS, M.S.S. *Qualidade urbana obtenção de dados de uma realidade e modelos para sua análise*. São José dos Campos, INPE, fev. 1975. (INPE-LAFE-608).

MANSO, A.P.; BARROS, M.S.S.; OLIVEIRA, M.L.N. *Determinação de zonas homogêneas através de sensoriamento remoto.* São José dos Campos, INPE, abr. 1979. (INPE-1470-RPE/021).

SILVA, G.E.; BARROS, M.S.S. *Um modelo para identificação de áreas urbanas prioritárias para ações de saúde.* São José dos Campos, INPE, mar. 1976. (INPE-844-NTE/053).

SITINDJAK, A.; CIMA, M.F.; THEOBALD, P.A. *Modelo da dinâmica do desempenho urbano-MODDU.* São José dos Campos, set. 1975. (INPE-769-TPT/014).

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Instituto Central de Arte. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (UNB/ICA/FAU). *A carta de Atenas.* Brasília, 1969. Apresentado no *Congrès International d'Architecture Moderne* (CIAM).

