

1. Publicação nº <i>INPE-2207-PRE/013</i>	2. Versão	3. Data <i>Agosto, 1981</i>	5. Distribuição ☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem <i>DSE</i>	Programa <i>DIN</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>POPULAÇÃO URBANA</i> <i>PROJEÇÃO E LOCALIZAÇÃO</i>			
7. C.D.U.: <i>711.4:519.876.5</i>			
8. Título <i>MODELOS DE PROJEÇÃO</i> <i>E DE LOCALIZAÇÃO DE POPULAÇÃO URBANA</i> <i>UTILIZANDO TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO</i>		10. Páginas: <i>18</i>	
		11. Última página: <i>15</i>	
9. Autoria <i>Maria Suelena Santiago Barros</i> <i>Damaceno Dal Bianco</i> <i>Odwaldo Bueno Netto Júnior</i>		12. Revisada por <i>M. L. N. Oliveira</i>	
Assinatura responsável <i>[Assinatura]</i>		13. Autorizada por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
14. Resumo/Notas <i>Apresenta-se um método de projeção e localização da população urbana, por simulação multivariada da oferta e demanda do espaço urbano, usando-se a técnica de Monte Carlo. O modelo proposto é calibrado por amostragem estratificada em zonas de ocupação homogênea (ZH), definidas por sensoriamento remoto.</i>			
15. Observações <i>Trabalho apresentado na 33a. Reunião Anual da SBPC, Salvador, 8 a 15 de julho de 1981.</i>			

ÍNDICE

RESUMO	<i>iv</i>
ABSTRACT	<i>v</i>
1. <u>IMPORTÂNCIA DA PROJEÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA PARA O PROCESSO DE PLANEJAMENTO</u>	1
2. <u>O MÉTODO DE PROJEÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA</u>	3
2.1 - Modelos de projeção da população	4
2.2 - Modelo de localização da população	6
3. <u>IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO</u>	8
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

RESUMO

A projeção e a localização da população urbana são as bases quantitativas do planejamento urbano. Apresenta-se um método de projeção e localização, por simulação multivariada da oferta e demanda de espaço urbano, usando-se a técnica de Monte Carlo. O modelo proposto é calibrado por amostragem estratificada em zonas de ocupação homogênea (ZH), definidas por sensoriamento remoto, do que resulta considerável redução do tamanho da amostra para uma mesma precisão e confiabilidade. A população futura global para a cidade é uma variável exôgena, sendo que, através da simulação, esta população é distribuída no solo urbano. Enfocando-se a demanda, o modelo procura reproduzir o processo de decisão de localização de uma nova unidade familiar, através da simulação seqüencial de valores das variáveis de decisão: renda, padrão de habitação e nível de urbanização. Considerando-se a oferta, leva-se em conta a diferença entre a densidade habitacional atual e a projetada, ao longo dos eixos de desenvolvimento urbano para cada ZH. Esta oferta está associada à qualidade urbana representada pelo nível de urbanização da vizinhança de cada ZH, que é recalculada periodicamente devido a variações do padrão das novas habitações da ZH. A programação, elaborada em FORTRAN IV para o computador B-6700 do INPE, permitiu a execução da simulação dentro dos níveis de confiança e precisão desejados, devido ao reduzido tempo de processamento resultantes da utilização de técnicas de redução de variância, quando da aplicação do método à cidade de São José dos Campos, SP.

ABSTRACT

The projection and location of urban population is the quantitative basis of urban planning. A method for this purpose is presented using multivariate simulation of the supply and demand of urban space, applying Monte Carlo technique. The calibration of this model is attained by stratified sampling in homogeneous occupation zones (ZH), defined through remote sensing, from which results a considerable reduction of the sample size for the same precision and confidence level. The total future population of the city is an exogenous variable, which is then distributed through simulation over the urban area. Addressing the demand for urban space the model proceeds to reproduce the households' site selection process through simulation of the decision variables values in the following sequence: income, construction standards and the neighbourhood urbanization level. Addressing the supply of urban space, the difference between future and habitational density, along the urban development axis for each homogeneous occupation zone (ZH). This supply is associated with urban quality represented by the neighbourhood urbanization of each ZH, which is recalculated periodically due to changes introduced by the new housing construction standards in the ZH. The computer program written in FORTRAN IV for INPE's B-6700 computer, allowed the performance of the simulation within the desired levels of confidence and precision due to the short processing time required, attained through variance reduction schemes used when this method was applied to the city of São José dos Campos, SP - Brazil.

1. IMPORTÂNCIA DA PROJEÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA PARA O PROCESSO DE PLANEJAMENTO

Dois processos seculares de grande amplitude influenciam o assentamento de populações: o processo de transição demográfica e o processo de urbanização.

O processo de transição demográfica é decorrente da redução dramática da taxa de mortalidade devido aos progressos da medicina preventiva (vacinas), cuja difusão é cada vez mais acelerada em função do seu aperfeiçoamento e eficácia.

Após a rápida queda da mortalidade, segue-se a explosão demográfica, devido ao aumento do número de sobreviventes e à permanência das altas taxas de fertilidade da população em idade reprodutiva.

O excesso de população concorre para uma expansão do mercado consumidor e acelera o processo da urbanização, ao mesmo tempo que divide os bens disponíveis entre um maior número de pessoas, induzindo a redução da taxa de natalidade, que é o terceiro e último estágio da transição demográfica.

O processo de urbanização, ao envolver fluxos migratórios de pessoas do campo para a cidade, implica o adensamento demográfico nas grandes cidades.

Ao fazer comparações entre os processos de transição demográfica observados anteriormente, obtêm-se indicadores que permitem fazer estimativas coerentes sobre as taxas de fertilidade e mortalidade, levando-se em conta a aceleração desse processo no tempo. Para isto, basta saber o número de pessoas por faixa etária numa determinada data censitária, as taxas de fertilidade (ou natalidade) e a mortalidade da população, para que se possa fazer projeções bastante precisas sobre a evolução da população urbana (com exceção do fluxo migratório), pelo método que se baseia no cálculo dos sobreviventes e na taxa de reprodução por faixa etária.

O fluxo migratório interno é, efetivamente, a variável que introduz maior incerteza na projeção de população, pois ele depende de uma série de fatores, como diferenças inter-regionais de oportunidade de emprego e educação, e estrutura tecnológica de consumo. Os contingentes migratórios, embora cresçam em valores absolutos com o aumento da população total, representam uma proporção variável em relação a esse total, pois dependem do estágio de crescimento em que se encontra a cidade e de fatores dinâmicos que desestabilizam o processo histórico desses fluxos.

O aparecimento das grandes concentrações populacionais trouxe consigo a necessidade de uma nova racionalidade na vida da população, frente aos novos fatores impostos por essa concentração.

Com relação à infra-estrutura urbana, pode ser exemplificada a necessidade desta racionalidade. Sua vida útil exige que ela seja implantada para o atendimento de áreas, cuja população futura deve ser prevista. O aproveitamento ótimo dos recursos disponíveis para a infra-estrutura urbana é obtido quando se conhece a população futura e sua distribuição no espaço.

A projeção e a localização da população urbana é importante não só para um melhor dimensionamento dos serviços de infra-estrutura, como também para o aproveitamento dos recursos disponíveis. Estes recursos no período de implantação são geralmente escassos, pois são provenientes de impostos arrecadados de população variável, ainda em crescimento.

O homem tem voltado sua ação racional para a elaboração de modelos que se constituam em ferramentas úteis para o tratamento destes problemas.

Apresenta-se, neste trabalho, um método para a projeção e a localização de populações urbanas, que auxilie no planejamento de médio e longo prazos da infra-estrutura urbana (Dal Bianco e Netto Jr., 1980).

2. O MÉTODO DE PROJEÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA

O método envolve o uso de um modelo para a projeção da população, a qual é usada, a seguir, como variável exôgena ao modelo de localização que a distribui no espaço urbano, através da interação de dois modelos: da demanda e da oferta do solo urbano. Esses modelos, por tratarem com mercados imperfeitos, envolvem processos de decisão sob incerteza.

A Figura 1 mostra esquematicamente a interação entre os modelos.

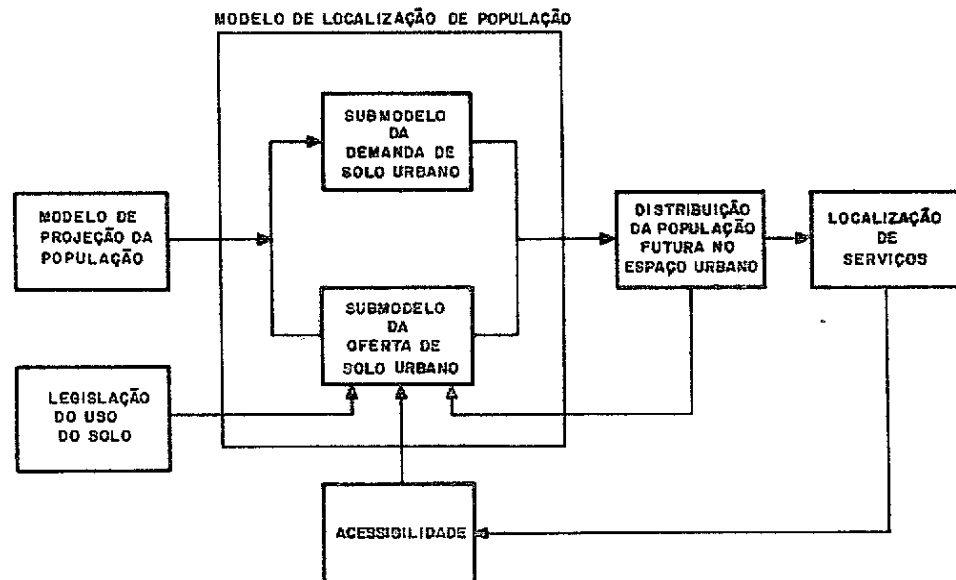


Fig. 1 - Interação entre os modelos.

O modelo de localização, através de simulação multivariada da oferta e demanda do espaço urbano, emprega a técnica de Monte Carlo. Sua calibração é feita por amostragem estratificada em zonas de ocupação homogênea (ZH).

A agregação do espaço urbano em zonas homogêneas, proposta metodológica de Manso e Barros (1975), constitui-se num valioso instrumento de redução da dispersão espacial dos valores das variáveis relevantes da qualidade urbana, porque a variância das características sócio-econômicas da população é pequena e, por hipótese, constante dentro das zonas homogêneas nas quais se divide a cidade.

A zona homogênea (ZH), segundo Manso et alii (1979), é entendida como um espaço físico de ocupação coerente, ao qual corresponde um agrupamento humano de características sócio-econômicas e culturais também homogêneas.

As zonas homogêneas são identificadas a partir da análise de fotos aéreas. Neste trabalho foram utilizadas aquelas em preto e branco, em escala 1:10.000.

2.1 - MODELOS DE PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO

Correntemente são utilizados quatro métodos para a projeção da população. A seguir, cada um destes métodos é descrito sucintamente.

● Método Comparativo

Usa-se este método quando é possível identificar os efeitos da expansão da área de influência da metrópole, ou algum fenômeno que já ocorreu em outras cidades, determinando-se, assim, o ciclo e a intensidade relativa do efeito sobre as taxas migratórias e de natalidade.

● Método de Projeções por Agregados

Este método considera a projeção futura como sendo função do quociente entre a população do agregado A (que está contido no agregado A') e a população do agregado A'. Seu uso é válido para tornar vertical o planejamento, isto é, dada uma projeção de uma entidade oficial

de planejamento para uma região maior A', é necessário que a proporção da população da área menor A não apresente valores incoerentes.

● Método ou Modelo Geral

Considera-se, neste método, que a população no ano t , $P(t)$, é a soma do componente vegetativo e do componente migratório, cuja expressão matemática (São Paulo, 1968) é dada por:

$$P(t) = P_0 e^{\int_0^t f(x) dx} + \sum_{y=0}^t I(y) e^{\int_y^t g(x) dx}$$

onde:

P_0 = população inicial;

$f(x)$ = função de crescimento vegetativo da população nativa;

$g(x)$ = componente dos saldos migratórios anuais acumulados, acrescidos dos descendentes dos imigrantes;

$I(y)$ = população migratória anual.

● Método de Saturação ou Logístico

Aplica-se este método quando se conhece a densidade demográfica máxima (determinada pela legislação do uso do solo, por exemplo) e a área física é limitada. A área total é dada pela somatória dos elementos de área A_i , os quais têm densidade d_i :

$$P(t) = \sum_{i=1}^n A_i d_i(t)$$

Nestas condições, pode-se ajustar o crescimento à curva de Pearl-Hurst, mais conhecida como Logística:

$$P(t) = \frac{A}{1 + B e^{-ht}}$$

onde A, B e h são parâmetros a serem determinados com base nas populações da área considerada e na população de saturação, em pelo menos dois períodos consecutivos.

2.2 - MODELO DE LOCALIZAÇÃO DA POPULAÇÃO

Neste trabalho, propõe-se que o processo da escolha da localização da unidade familiar seja simulado em dois submodelos hierarquizados em dois níveis de decisão, enfocando respectivamente, aspectos da demanda e da oferta do espaço urbano.

O modelo da *demanda* da localização residencial baseia-se na teoria do consumidor, proposta por Alonso (1974) e Muth (1969), a qual relaciona o preço do solo e das habitações como função das economias no deslocamento para ir e vir do trabalho.

A unidade familiar (UF), no processo de escolha de sua localização, avalia duas variáveis: habitação (H) e qualidade de vizinhança (L), sujeitas à restrição de renda domiciliar (Y).

A habitação é estratificada em quatro padrões, de forma a integrar as características relevantes: estrutura, área construída, acabamento, idade e conservação.

Para a estratificação da qualidade de vizinhança, em níveis de urbanização, adotaram-se os princípios propostos por Manso e Barros (1975), que identificaram três fatores determinantes da qualidade urbana: características construtivas, infra-estrutura física e infra-estrutura social. As infra-estruturas físicas e sociais foram incorporadas como fator de ponderação para o cálculo da média ponderada do nível de urbanização, em cada zona homogênea.

O ponto de partida da simulação da demanda sob incerteza é a aplicação do método de Monte Carlo à distribuição das UFs, por faixa de renda. Isto é obtido pelo ajuste da curva de distribuição acumulada das frequências à função de densidade de probabilidade lognormal.

Continuando o processo, simulam-se as seleções do padrão de habitação e do nível de urbanização (qualidade de vizinhança) em que a UF, de renda definida no passo anterior, desejaria residir.

A simulação da demanda sob incerteza da localização de uma UF de determinada renda, é finalmente realizada, aplicando-se o método de Monte Carlo simultaneamente à distribuição de probabilidade conjunta do padrão de habitação e nível de urbanização.

O modelo da *oferta* da localização residencial projeta a densidade de domicílios no espaço urbano, usando-se a curva de Clark (1951), extrapolada para os horizontes de planejamento considerados.

Propõe-se a divisão da cidade em diferentes setores para a aplicação da equação de Clark, ao invés de construir uma única curva para a cidade como um todo. Deste modo, são considerados os obstáculos físicos à urbanização, além das políticas de desenvolvimento que definem crescimento desigual (setorial) da área urbana.

A equação de Clark é dada por:

$$d_x = d_0 e^{-bx}$$

onde:

d_x = densidade de domicílios à distância x ;

x = distância ao Distrito Comercial Central (DCC);

d_0 = parâmetro que indica a densidade de domicílios no DCC;

b = parâmetro que indica o grau de saturação da densidade de domicílios ao longo de um eixo setorial.

A interação entre a demanda e a oferta do espaço urbano é feita ao simular a decisão em eleger um dos eixos setoriais de desenvolvimento urbano, para localização residencial da UF, em função do poten

cial de absorção de cada eixo, ao nível desejado de urbanização da vizinhança.

Dando continuidade ao processo de simulação escolhe-se uma zona homogênea, com as características de vizinhança desejadas, dentro do eixo setorial definido anteriormente.

O potencial de absorção de domicílios, em cada eixo, vai diminuindo com a escolha de cada UF, reduzindo-se a probabilidade de escolha por outras UFs nesse mesmo eixo.

A Figura 2 apresenta o fluxograma dos modelos, tais como foram implementados no computador B-6700 do INPE.

3. IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO

Para a implementação dos modelos escolheu-se a cidade de São José dos Campos, SP, constituindo-se esta uma aplicação válida pelas seguintes razões:

- a) Para o horizonte de planejamento de 1998, foi estimada uma população da ordem de 650.000 habitantes. O porte da cidade e sua taxa de crescimento justificam a aplicação deste tipo de modelo.
- b) Obstáculos à urbanização (topografia, rede viária e ferroviária, por exemplos) existentes na cidade tornam complexo o planejamento do uso do solo e sua ocupação, sem o auxílio de técnicas ou modelos mais aprimorados.
- c) Finalmente, houve a oportunidade do aproveitamento dos estudos e dados do projeto URBES do Departamento de Sistemas Espaciais do INPE notadamente aqueles referentes a zonas homogêneas.

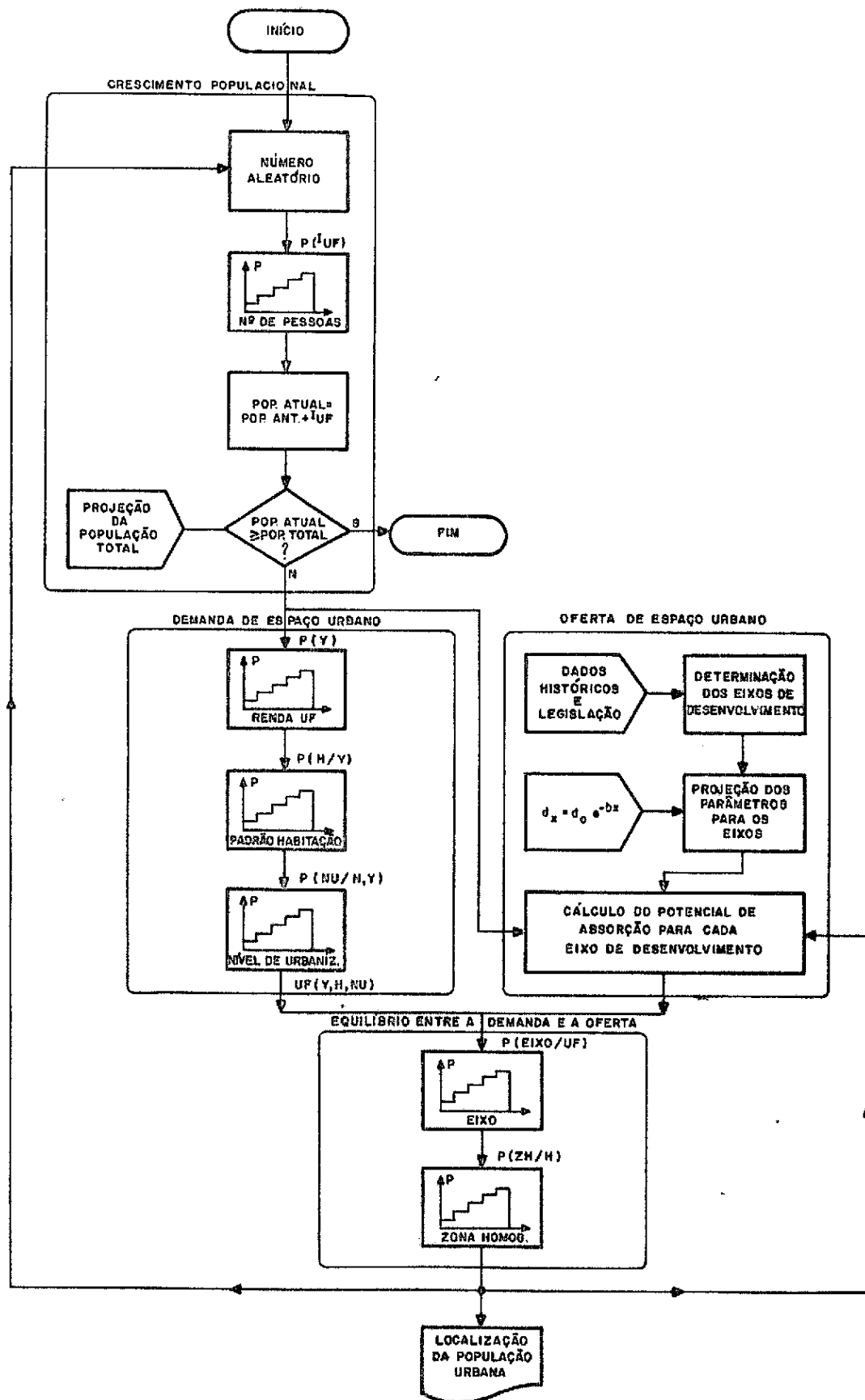


Fig. 2 - Fluxograma do modelo de projeção e localização de população urbana.

Para a projeção demográfica, o modelo usado foi o modelo geral, descrito anteriormente.

As hipóteses adotadas com respeito às migrações foram:

- Os saldos migratórios anuais em relação à população total não superam os níveis observados no ano base.
- A mesma função de crescimento natural $f(x)$, que define o ritmo da expansão da população, é válida para os contingentes migratórios, isto é: $f(x) \equiv g(x)$.
- A taxa de migração é de 20% do total de imigrados.

A função de crescimento natural da população e a taxa de imigração foram obtidas considerando-se a média dos valores observados no período entre 1964 e 1978, resultando o seguinte modelo matemático:

$$P_t = 240.286 e^{0,0211 \int_0^t e^{-0,0198x} dx} + \sum_{y=0}^t I(y) e^{0,0211 \int_0^t e^{-0,0198x} dx}$$

onde:

$$I(y) = 0,044 P_0$$

Apresenta-se, a seguir, na Tabela 1, a população calculada a cada cinco anos, a partir de 1978.

TABELA 1

POPULAÇÃO URBANA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
1978 - 1998

ANO	POPULAÇÃO URBANA	
	VALOR	TAXA DE CRESCIMENTO
1978	240.286	
1983	324.137	7,04
1988	420.631	5,94
1993	529.449	5,16
1998	650.832	4,58

O submodelo da oferta do espaço urbano, com base na curva de Clark, foi implementado, usando-se cinco eixos setoriais da cidade. As curvas foram ajustadas analisando-se a legislação do uso do solo local e mosaicos aerofotogramétricos da área teste dos anos de 1962, 1972 e 1977.

A análise dos parâmetros encontrados nas equações de Clark (Dal Bianco e Netto Jr., 1980), para os cinco eixos, mostra que a preferência pela localização de novos domicílios tende a se alternar de período a período, provocando oscilações na densidade de ocupação do solo e convergindo para os valores de dados para a cidade como um todo. Este é um processo típico de transição de "cidade do interior" para cidade de "porte médio", ocorrendo uma progressiva aglomeração de edifícios na zona central.

Este processo de saturação das áreas centrais, pelo crescimento vertical, continua até que a dispersão relativa entre as densidades de ocupação no centro seja reduzida, e uma vez alcançado este estágio, o mesmo fenômeno passa a ocorrer com as áreas imediatamente próximas ao centro, passíveis de ocupação ordenada.

O submodelo de localização de população sob incerteza, pelo lado da demanda foi implementado com dados obtidos da pesquisa amostral realizada em 1978 nas 99 ZHs em que a cidade foi dividida. Esta pesquisa foi necessária para a caracterização da habitação, da qualidade da vizinhança e da população em termos sócio-econômicos.

A validação deste modelo foi feita com a "reconstrução" da cidade, partindo-se do ano de 1962 e aplicando-se o modelo sucessivamente até o ano de 1978. O ajuste do modelo apresentou altos coeficientes de correlação entre as variáveis dependentes e independentes (Dal Bianco e Netto Jr., 1980). Neste processo, obtiveram-se desvios significativos apenas nas zonas de nível de urbanização mais alto, da ordem de 20%, o que corresponde a um desvio absoluto inferior a 0,5% para toda a cidade, devido à pequena participação deste estrato na atualidade. Esses tipos de desvios podem ser corrigidos por técnicas de redução da variância, como por exemplo a amostragem por importância, na simulação de Monte Carlo.

Com o modelo de localização foi projetada a localização da população da cidade para os anos de 1978 e 1998, obtendo-se, por ZH, o total de domicílios e domicílios por níveis de renda.

A seguir, a título de exemplo, apresentam-se os resultados obtidos para 1983, apenas para três zonas típicas: uma em fase de saturação, uma em crescimento moderado, e a última, em fase de implantação.

A Figura 3 mostra as zonas homogêneas de São José dos Campos, previstas para 1983, bem como os eixos de desenvolvimento considerados.

Para a ZH de número 12005 (que possui atualmente 10120 habitantes), localizada em bairro residencial popular (NU = 2) já saturado e sem condições para a atração de prédios de apartamentos, prevê-se a localização de 10060 pessoas, correspondendo a uma redução de 0,06% na sua população, enquanto para a cidade como um todo, o crescimento previsto é de 7,04%, no período considerado.

Para a ZH de número 8105 (que possui atualmente 3400 habitantes), localizada em bairro residencial popular (NU=1), de baixa densidade demográfica, prevê-se a localização de 4812 pessoas, correspondendo a um acréscimo de 39,5%.

Finalmente, para a ZH de número 4070, em implantação neste período, através do modelo prevê-se uma população de 2469 pessoas.

Como conclusão final, pode-se afirmar que os resultados obtidos mostram a viabilidade do uso do método aqui apresentado no planejamento urbano de médio e longo prazos.

O uso de técnicas de interpretação de dados provenientes de sensores remotos, que minimizam o volume da pesquisa de campo requerida para a compreensão do fenômeno urbano, coordenadas ao uso de modelos matemáticos, evidenciam-se, através deste trabalho, como instrumentos úteis ao planejamento urbano. Além do mais, este método não apresenta limitações quanto à sua aplicação imediata a outras cidades, bastando ajustar os parâmetros correspondentes à nova área urbana, nas matrizes e equações dos modelos.

Cabe ressaltar, no entanto, que o método assume a continuidade do processo de adensamento, e que, nas novas condições de crise energética, deverá incorporar uma maior intensidade do custo de transporte sobre a localização residencial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, W. *Location and land use: toward a general theory of land rent*. Cambridge, Harvard University Press, 1974.
- CLARK, C. Urban population densities. *Journal of the Royal Statistical Society Series, A114*(2): 110-116, 1951.
- COCHRAN, W.G. *Sampling techniques*. 3 ed. New York, John Wiley, 1977.
- DAL BIANCO, D.; NETTO JR., O.B. *Um método para o planejamento de redes telefônicas urbanas de grande porte*. Dissertação de Mestrado em Análise de Sistemas e Aplicações. São José dos Campos, INPE, out. 1980. (INPE-1932-TDL/033)
- 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)
- 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-608-LAFE)
- MUTH, R.F. *Cities & Housing*. Chicago, University of Chicago Press, 1969.
- SÃO PAULO. PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. *Plano urbanístico básico*. São Paulo, 1968. v. 1/2.
- SHANNON, R.E. *Systems simulation, the art and the sciences*. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1975.