

Nadalin, Vanessa Gapriotti; Iglioni, Danilo Camargo

Working Paper

Evolução urbana e espraiamento na Região Metropolitana de São Paulo

Texto para Discussão, No. 1481

Provided in Cooperation with:

Institute of Applied Economic Research (ipea), Brasília

Suggested Citation: Nadalin, Vanessa Gapriotti; Iglioni, Danilo Camargo (2010) : Evolução urbana e espraiamento na Região Metropolitana de São Paulo, Texto para Discussão, No. 1481, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/90955>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 1481

**EVOLUÇÃO URBANA E
ESPRAIAMENTO NA REGIÃO
METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

**Vanessa Gapriotti Nadalin
Danilo Camargo Iglioni**

TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 1481

EVOLUÇÃO URBANA E ESPRAIAMENTO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Vanessa Gapriotti Nadalin*
Danilo Camargo Iglioni**

Rio de Janeiro, abril de 2010

* Técnica de Planejamento e Pesquisa da Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais – Dirur/Ipea.

** Professor doutor do Departamento de Economia da FEA/USP e colaborador do Department of Land Economy da University of Cambridge.

Governo Federal

**Secretaria de Assuntos Estratégicos da
Presidência da República**
Ministro Samuel Pinheiro Guimarães Neto

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada à Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiro – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente
Marcio Pochmann

Diretor de Desenvolvimento Institucional
Fernando Ferreira

**Diretor de Estudos, Cooperação Técnica
e Políticas Internacionais**
Mário Lisboa Theodoro

**Diretor de Estudos e Políticas do Estado, das
Instituições e da Democracia** (em implantação)
José Celso Pereira Cardoso Júnior

**Diretor de Estudos e Políticas
Macroeconômicas**
João Sicsú

**Diretora de Estudos e Políticas Regionais,
Urbanas e Ambientais**
Liana Maria da Frota Carleial

**Diretor de Estudos e Políticas Setoriais,
Inovação, Produção e Infraestrutura**
Márcio Wohlers de Almeida

Diretor de Estudos e Políticas Sociais
Jorge Abrahão de Castro

Chefe de Gabinete
Persio Marco Antonio Davison

Assessor-chefe de Comunicação
Daniel Castro

URL: <http://www.ipea.gov.br>
Ouvidoria: <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

ISSN 1415-4765

JEL: R32

TEXTO PARA DISCUSSÃO

Publicação cujo objetivo é divulgar resultados de estudos direta ou indiretamente desenvolvidos pelo Ipea, os quais, por sua relevância, levam informações para profissionais especializados e estabelecem um espaço para sugestões.

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e de inteira responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	7
2 MONOCENTRISMO, POLICENTRISMO E ECONOMIAS DE AGLOMERAÇÃO	8
3 FORMAS DE MENSURAÇÃO E DEFINIÇÃO DO ESPRAIAMENTO URBANO	12
4 FORMA URBANA E BEM-ESTAR. O ESPRAIAMENTO URBANO É DESEJÁVEL?	13
5 METODOLOGIA	15
6 EVOLUÇÃO URBANA E HISTÓRIA ECONÔMICA EM SÃO PAULO	21
7 HOUVE ESPRAIAMENTO URBANO EM SÃO PAULO?	24
8 OS DETERMINANTES DO ESPRAIAMENTO	38
9 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44

SINOPSE

Este trabalho busca contextualizar o tema do espraiamento na evolução urbana da Região Metropolitana de São Paulo. Definimos espraiamento urbano como o crescimento urbano que é desconcentrado, não denso e que deixa vazios urbanos dentro da mancha urbana. Analisamos os mapas da área urbanizada entre os anos de 1962 e 2002, a evolução das densidades populacional e de empregos e a evolução dos gradientes de densidade. Propomos a construção de um índice de espraiamento. Sua evolução temporal é analisada através da metodologia de cadeias de Markov, enquanto seus determinantes são buscados em análise econométrica. Os resultados indicam que houve espraiamento no período mais recente analisado e que esse fenômeno se dá a partir da ocupação das periferias por população de baixa renda.

ABSTRACTⁱ

This work deals with the issue of urban sprawl within the context of the São Paulo Metropolitan Area. We define urban sprawl as leapfrogging, not concentrated and not dense urban growth. We analyze urban area maps between the year of 1962 and 2002, the evolution of population and jobs density and the evolution of density gradients. We propose the construction of a sprawl index. Its evolution is analyzed using Markov chain models, while we search its determinants using econometric tools. Results point out that there was urban sprawl in the most recent period of time. The determinants show the link between this phenomenon and the occupation of suburbs by low income families.

i. *The versions in English of the abstracts of this series have not been edited by Ipea's editorial department.*

As versões em língua inglesa das sinopses (*abstracts*) desta coleção não são objeto de revisão pelo Editorial do Ipea.

1 INTRODUÇÃO

São Paulo encontra-se no rol das grandes metrópoles, aquelas nas quais houve grande explosão populacional recente, e hoje ocupa a posição de maior cidade da América Latina. Como agravante ao rápido crescimento vivenciado na segunda metade do século XX, enfrenta problemas relacionados à pobreza e à desigualdade, que adquirem características específicas no contexto da grande metrópole.

Este texto de discussão focará o estudo de uma das características do crescimento do tecido urbano, o espraiamento urbano. Definimos como espraiamento urbano o crescimento urbano desconcentrado, não denso e que deixa vazios urbanos dentro da mancha urbana. O fenômeno pode ser indesejável caso essas metrópoles não estejam crescendo naturalmente¹ e sim crescendo mais do que deveriam.

Uma característica relacionada ao espraiamento urbano é a periferação da população. As famílias moradoras das zonas geograficamente periféricas, sejam das classes de baixa renda, sejam de alta renda (atraídas por promessas de maior segurança), tendem a despender maior tempo em seus deslocamentos pendulares (casa–trabalho) e a ter menos acesso à infraestrutura urbana. Em termos sociais o problema é relevante, pois a maior parte do movimento de periferação cabe à população de baixa renda, o que gera desigualdade social espacial.

Por outro lado, o esvaziamento de regiões centrais deixa subutilizadas áreas historicamente consolidadas, mais bem dotadas de infraestrutura e equipamentos culturais, universidades, parques, bibliotecas ou hospitais. Os custos de se levar infraestrutura às regiões periféricas mais distantes, portanto, têm implicações que vão além da distância até as oportunidades de emprego. Além disso, se a cidade cresce mais do que deveria, esses custos são inflacionados. E sofrem uma distorção na precificação, pois somente uma parte da população usufrui dos benefícios enquanto toda a população paga por boa parte que é fornecida pelo poder público.

Os dados da pesquisa de Origem–Destino (OD), realizada pela Companhia do Metropolitano (Metrô) de São Paulo, refletem a periferação da população, indicando o aumento no número e extensão de viagens realizadas no modo individual. O total de quilômetros rodados² em todas as viagens para o ano de 1997 é de quase 300 milhões, enquanto no ano de 2007 esse número é de mais de 700 milhões³ – um aumento de 266%. Já o número total de viagens no modo individual subiu 122%.⁴ Sabemos como o número e a extensão das vias não crescem tão rápido quanto esses números, portanto, essa tendência também levou a um aumento dos congestionamentos.

1. Discutiremos mais adiante a ideia do crescimento “exagerado” – não “natural” – das cidades, como proposto em Brueckner (2000).

2. Computamos a extensão de cada viagem como a distância euclidiana entre o centroide da zona de origem e o centroide da zona de destino.

3. O total de quilômetros rodados em 1997 é 286.280.160 km. Em 2007, 762.994.798 km.

4. O total de viagens produzidas no modo individual para o ano de 1997 é de 31.432.205, enquanto para o ano de 2007 é de 38.234.971.

Por outro lado, é verificada a existência de efeitos negativos do crescimento urbano relacionados especificamente ao meio ambiente. Houve desmatamento de cobertura vegetal entre os anos de 1991 e 2000 (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2002), e a área vizinha aos dois grandes reservatórios de água da porção sul da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) (represas Billings e Guarapiranga) vem sendo ocupada historicamente por loteamentos clandestinos e favelas (MARICATO, 2001).

Colocados desta forma, alguns dos problemas urbanos da RMSP – periferização da população de baixa renda, aumento dos congestionamentos e ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis – se apresentam como fortes indícios de que esta região metropolitana estaria passando por um processo de espraiamento.

Assim, este trabalho tem como objetivos apresentar a teoria sobre o tema e fazer uma análise empírica, checando a existência do fenômeno na RMSP e buscando seus determinantes. No plano teórico apresentaremos a lógica da estrutura urbana e o conceito de espraiamento como um crescimento urbano exagerado, ou seja, fruto de falhas de mercado. A parte empírica utiliza estatísticas descritivas, estimação do gradiente de densidade, cadeias de Markov (na análise da evolução temporal), e análise econométrica na busca dos determinantes.

Com esses objetivos, as próximas três seções do trabalho tratam da revisão da literatura pertinente ao tema. Em seguida a seção 5 descreve a metodologia e as seções 6, 7 e 8 correspondem à parte empírica. Apresentamos a conclusão levando em conta os resultados das análises empíricas na seção 9.

2 MONOCENTRISMO, POLICENTRISMO E ECONOMIAS DE AGLOMERAÇÃO

A aplicação de modelos teóricos da economia urbana teve início com o modelo de uso do solo de Von Thünen (1826). Este é adaptado para o contexto das cidades – e das famílias que escolhem o seu local de residência, em Alonso (1964). Mills (1967, 1972) e Muth (1969), em seguida, aperfeiçoam o modelo, que desemboca na síntese conhecida como o modelo Alonso-Muth-Mills (AMM).⁵ Para nossa discussão sobre espraiamento urbano esse modelo é interessante, pois estabelece explicações para a estrutura interna das cidades, especificamente no que diz respeito à fixação da fronteira entre as zonas rural e urbana e à densidade. Expomos rapidamente o modelo conforme estruturação de Brueckner (1987)⁶ para, em seguida, comentar os resultados que nos interessam:

- $v(c, q)$ é a função de utilidade dos consumidores homogêneos, onde q é o consumo do bem habitação e c o bem composto;
- t é o custo de transporte constante por unidade de deslocamento. Assim, tx é o custo de uma viagem de deslocamento para o trabalho no centro de negócios, localizado a x unidades de distância do local de residência;

5. Ver Anas, Arnott e Small (1998), Arnott (1987), Brueckner (1987), Dipasquale e Wheaton (1996), Fujita (1989).

6. Onde também se indicam todas as hipóteses do modelo e faz-se uma análise de estática comparativa.

- $c + pq = y - tx$ é a restrição orçamentária. A renda disponível para cada família é definida por y ;

- $\bar{u} = v(y - tx - pq, q)$ é o nível de utilidade constante. Esta restrição representa a ideia das curvas de *bid-rent* (ALONSO, 1964). Estas curvas determinam o aluguel máximo que as famílias estão dispostas a pagar em cada localização x de forma a manter sua utilidade constante. O equilíbrio é definido como a envoltória das curvas de cada família correspondentes à utilidade \bar{u} .

Todos os habitantes maximizam a função:

$$\max_q v(y - tx - pq, q) = \bar{u} \quad (1)$$

Chegando à condição de equilíbrio:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{-t}{q} < 0 \quad (2)$$

Esta equação implica que uma família que se localize a uma pequena distância dx mais longe do centro terá que gastar mais com transporte, o montante de tdx . Como a utilidade é a mesma entre todas as famílias, elas são indiferentes entre as localizações. Portanto, esse custo de transporte a mais deve ser compensado com um preço do aluguel da moradia um pouco menor, diminuindo os gastos com habitação, uma vez que o tamanho do terreno é o mesmo para todas as famílias. Em resumo, a queda do aluguel deve ser idêntica ao aumento dos custos de transportes, ou seja, a inclinação da curva aluguel de moradia depende do custo de transportes t .

Este resultado é uma das principais intuições da economia urbana para explicar a estrutura urbana. No entanto, para refiná-lo, Brueckner (1987) incorpora o lado da produção de habitações com terra, l , e capital, N , como insumos. Define a quantidade total do bem habitação pela função de produção $H(N, l)$. Isso implica a dissociação do preço do aluguel de moradia, p , do preço do aluguel da terra, l . Por outro lado, abre espaço para inserir no modelo a verticalidade das habitações, interpretada como a razão $S = N/l$. A solução do problema de maximização da firma leva ao resultado de que também o aluguel da terra, $r(\cdot)$, cai quanto maior a distância do centro, assim como a medida da altura dos edifícios, S . Ao medir a densidade populacional como $D = h(S)/q$, também indica que esta cai conforme se distancia do centro.

Para usar esse modelo ao explicar diferenças nas estruturas urbanas entre cidades, são necessárias condições adicionais. Com relação ao tamanho da cidade, \bar{x} indica a distância até a fronteira entre a cidade e a zona rural, onde o aluguel da terra é r_A . Na zona de fronteira da cidade, o uso urbano deve dar um lance pela terra maior que o preço da terra em seu uso rural, o que implica:

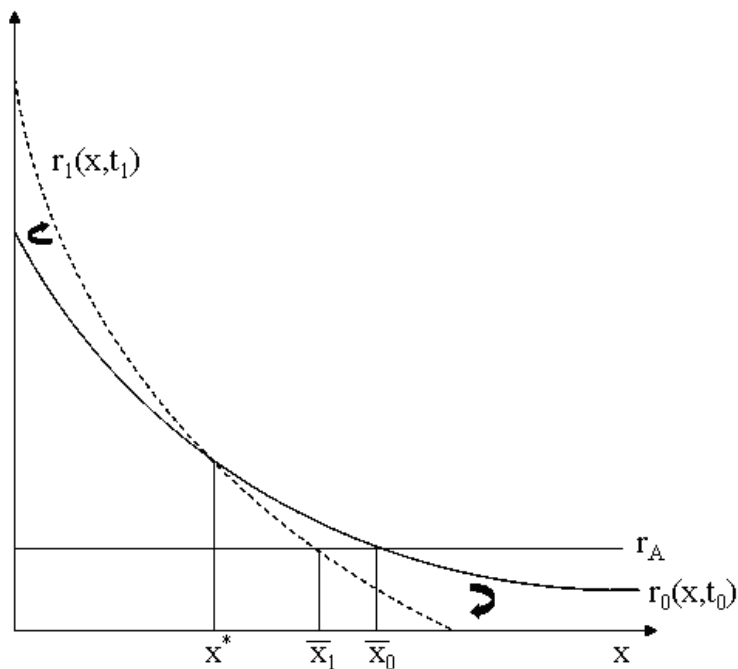
$$r(\bar{x}, y, t, u) = r_A \quad (3)$$

Outra condição necessária é a de que toda a população da cidade, L , seja acomodada no círculo de raio \bar{x} :

$$\int_0^{\bar{x}} \theta x D(x, t, y, u) dx = L \quad (4)$$

onde θ é o número de radianos de terra disponível para habitação em x , com $0 < \theta < 2\pi$. Essas duas condições podem conformar um sistema a ser resolvido. A partir deste ponto saem duas opções de análise entre cidades: considerar se as cidades são abertas para migração ou não. Dependendo do caso, alguns parâmetros serão endógenos e outros exógenos. No caso da cidade fechada, L é exógeno, enquanto \bar{x} e u são endógenos. Da solução para esse caso, chega-se que quanto maior a população da cidade, mais longe a fronteira e maior a densidade em todas as localizações. Já um aumento no aluguel da terra, r_A , encolhe a fronteira e também aumenta a densidade. Um aumento no custo marginal de transportes diminui \bar{x} . A figura 1 exemplifica as transformações na curva de aluguel da terra, para $t_1 > t_0$. Esta sofre uma rotação no sentido horário, aumentando para distâncias menores a um x^* , e diminuindo para distâncias maiores que estas. A curva de densidade segue o mesmo movimento.

FIGURA 1
Efeito do aumento nos custos de transporte no aluguel da terra



No modelo de cidade aberta, a utilidade é exógena e o tamanho da população é endógena. Os efeitos são: um aumento do aluguel da terra implica menor \bar{x} e menor população; e a densidade das localidades interiores à cidade permanece a mesma. Já um aumento no custo marginal de transportes faz com que a densidade e o aluguel da

terra caíam em todas as localidades, o que implica diminuição de \bar{x} e um menor tamanho total da população.

Para a análise do espraiamento, será importante retomar esses resultados. Tanto a fronteira da cidade quanto as densidades têm impacto na nossa medida de espraiamento, pois esta será calculada com respeito ao crescimento da mancha urbana (mudança em \bar{x} de um momento no tempo para outro), e levará em conta quão compacto é esse crescimento (reflete a densidade). O modelo nos traz uma base teórica para conectar as outras variáveis consideradas como os custos de transportes e o tamanho da população a estas. Mas possui várias limitações,⁷ entre elas a de não levar em conta a durabilidade do capital sem incluir a idade das estruturas físicas no modelo.

Outra investigação importante é a das causas de vazios urbanos dentro da mancha urbana. As contribuições existentes na economia urbana vão na direção de incorporar a incerteza nos modelos. Primeiramente, Titman (1985) considera a dimensão da habitação como ativo de investimento e desenvolve uma lógica para a existência de lotes vagos dentro da cidade: é racional postergar a urbanização de um lote quando existe maior incerteza com relação ao preço dessa terra no futuro. O trabalho de Capozza e Hesley (1990) incorpora essa visão ao modelo de cidade monocêntrica. Considera uma área urbana com crescimento, e a presença de incerteza na determinação dos preços e aluguel da terra de equilíbrio. É um trabalho que traz um complemento relevante, pois introduz o valor de “opção” da terra. Ou seja, existe um custo de oportunidade em converter a terra rural para urbana, hoje, e não esperar para convertê-la num futuro. Nesse momento, a estrutura física pode ser mais valiosa e mais adequada ao seu uso mais rentável. Portanto, incorpora a característica de durabilidade do capital e a irreversibilidade da conversão da terra para usos urbanos. Mas nesse modelo todos os lotes vagos estão fora da fronteira urbana, ainda não explicando a existência de vazios urbanos dentro da mancha urbana. Esta seria a contribuição mais valiosa para o propósito deste trabalho.

Como evoluções do modelo de cidade monocêntrica surgiram os modelos de cidades policêntricas. Ou seja, passou-se a considerar a decisão de localização tanto de moradores quanto de firmas, como em Fujita e Ogawa (1982). Ou a possibilidade de mistura espacial de usos residencial e não residencial, como em Wheaton (2004). Particularmente importante para a compreensão do espraiamento urbano, o trabalho de Henderson e Mitra (1996) propõe um modelo que explica o surgimento de *edge cities*,⁸ adaptando o modelo de Fujita e Ogawa (1982). Nesta adaptação, os autores permitem que haja interação (comunicação) entre as firmas, com economias de escala externas às firmas, economias de aglomeração. Existem agentes grandes, que decidem ao longo de uma história, e que levam em conta custos fixos para a construção de um novo centro de emprego. Glaeser e Kahn (2004) interpretam o resultado desse modelo para a análise do espraiamento tanto nos fatores que influenciam na distância

7. Ver Anas, Arnott e Small (1998) e Brueckner (2000) para outras limitações.

8. As *edge cities* são um fenômeno diferenciado da periferização de empregos e famílias. São cidades próximas a grandes centros, de uso misto, com todas as funções de uma cidade. São criadas por grandes incorporadores da iniciativa privada. Em São Paulo, o condomínio residencial e empresarial de *Alphaville* é um exemplo.

entre os centros, como nos determinantes da extensão da urbanização. Esses autores chegam à conclusão de que quanto maior os custos fixos da infraestrutura (para construir um subcentro), menor o espraiamento. Quanto maior o parâmetro que mede as economias de aglomeração (opostas às oportunidades de comunicação dadas pela tecnologia de informação), menor o espraiamento.

3 FORMAS DE MENSURAÇÃO E DEFINIÇÃO DO ESPRAIAMENTO URBANO

Como este será o conceito em que focaremos a análise da evolução da área urbanizada em São Paulo, cabe esclarecer a definição e possíveis formas de mensuração do espraiamento. Daremos início mencionando as diferentes definições, para em seguida apresentar as dimensões do fenômeno que podem ser mensuradas.

Como mencionado na introdução, a literatura sobre o tema provém quase inteiramente dos Estados Unidos, onde o termo utilizado é *urban sprawl*. Parece simples e suficientemente fiel a tradução para “espraiamento urbano”, no entanto cabe mencionar como o termo vem sendo utilizado naquele país. A intensificação do uso do termo coincide com a mudança para o padrão atual e predominante de urbanização. Assim, uma definição utilizada por urbanistas e planejadores urbanos norte-americanos é: urbanização em baixas densidades, não planejada, dependente do automóvel, com alternativas construtivas homogêneas e esteticamente desagradáveis.⁹

Em Anas, Arnott e Small (1998) o termo é mencionado como referente ao crescimento urbano que deixa espaços não utilizados em seu interior (*leapfrogging*). Os vazios poderiam até ser benéficos, se urbanizados no futuro a uma densidade superior à da urbanização presente. Já segundo Glaeser e Kahn (2004), a definição de espraiamento já está completa, se trata apenas de duas características da estrutura urbana: a descentralização e a densidade. Estes autores afirmam que haveria uma divisão ao definir o espraiamento. Os trabalhos em economia urbana tenderiam a olhar para o fenômeno a partir da discussão sobre monocentricidade e policentricidade das cidades. O espraiamento urbano estaria identificado com as cidades policêntricas: descentralizadas, mas com subcentros densificados. Contraposta a essa visão, está a da estrutura urbana descentralizada e também pouco densa, sem menção à existência ou não de subcentros. Com relação às alternativas de mensuração, Galster *et al.* (2001) sistematizam as dimensões do fenômeno, indicando como medir cada uma das dimensões – que são oito e deveriam ser levadas em conta simultaneamente: densidade, continuidade, concentração, aglomeração, centralidade, nuclearidade, uso misto e proximidade.

Destas, este estudo seguirá a ideia de Glaeser e Kahn (2004), privilegiando o estudo de concentração e densidade. A densidade é a mais explícita dentre todas as definições: O espraiamento implica queda da densidade. Esta se refere à comparação da densidade residencial ou de empregos. Pode ser medida relativamente a áreas que são subdivisões do total da cidade, comparando-se a área central com áreas distantes, por exemplo. Mas também pode ser uma medida global de toda a cidade,

9. Ver definição em Knaap e Talen (2005). Uma crítica em Galster *et al.* (2001).

comparando-se diversas cidades. Ainda é possível a análise da evolução da densidade média ao longo do tempo. Já a concentração da urbanização é uma medida relativa à localização do centro da cidade. Na hipótese de monocentricidade a referência é o centro histórico. Já na hipótese de policentricidade a medida é feita também com relação aos subcentros de emprego. Mas também levaremos em conta os vazios urbanos mencionados em Anas, Arnott e Small (1998). Portanto, definimos como espraiamento urbano o crescimento urbano que é desconcentrado, não denso e que deixa vazios urbanos dentro da mancha urbana.

4 FORMA URBANA E BEM-ESTAR. O ESPRAIAMENTO URBANO É DESEJÁVEL?

A partir da revisão teórica feita acima, da motivação do tema dada na introdução e do rápido histórico da urbanização em São Paulo, é possível elencar os elementos que compõem o debate sobre se o espraiamento é socialmente desejável ou não. Os argumentos a favor se relacionam com a necessidade de mais espaço como uma imposição do crescimento populacional, e com a preferência do morador por mais espaço. Já os argumentos contra giram em torno do aumento do uso de automóveis, dos impactos no meio ambiente, dos custos de infraestrutura e degradação de áreas centrais históricas.

Como visto nas teorias de cidade monocêntrica, a fronteira de uma cidade se caracteriza por uma disputa de usos do solo: ganha quem puder ou estiver disposto a pagar mais. Assim, quando o uso urbano “vale” mais que o uso rural, a cidade avança espacialmente. Ou seja, lugares que têm terra de uso rural mais valiosa são cidades mais compactas (BRUECKNER, 2000). Mas por que motivo a terra urbana valeria mais que a rural? Existem motivos plausíveis do ponto de vista econômico. O mais imediato é o crescimento da população, que gera necessidade de mais espaço para abrigar novos moradores.

Se incluirmos na análise a densidade e imaginarmos que a escolha do tamanho da moradia e, portanto, dos lotes, tem implicação direta no quão compacta a cidade é, então, uma mudança nas preferências dos consumidores já é capaz de aumentar o valor da terra urbana na fronteira da cidade. Isto se verifica, por exemplo, se a população passa a preferir morar em casas térreas, com jardins e piscinas. No entanto podemos utilizar outro argumento: a insaciedade das preferências. O consumidor sempre prefere consumir uma quantidade maior de qualquer bem, desde que sua restrição orçamentária permita. Portanto, também sempre prefere mais espaço. Se essa característica é acompanhada de um aumento na renda das famílias, parece bastante legítimo que a cidade cresça de forma espraiada para acomodar esses anseios. Notemos que no modelo de cidade monocêntrica apresentado na seção 2 as famílias são idênticas e, portanto, escolhem o mesmo tamanho de lote em toda a cidade. Um efeito de mudança de preferências da família representativa, ou de aumento de renda, aumentaria o tamanho do lote para todas elas. Outras formulações desse modelo incorporam heterogeneidade dos agentes e determinam uma função de tamanho de lotes (FUJITA, 1989). Nestas, de acordo com as hipóteses com relação às preferências das famílias, é possível chegar a um equilíbrio com lotes maiores na periferia.

Outra perspectiva sob a qual podemos olhar o espraiamento é a da mobilidade urbana. A expansão espacial da cidade e seu menor adensamento somente são possíveis porque as tecnologias de transporte conjugam custo e tempo de maneira atraente para os moradores. Assim, as tecnologias diminuem o custo de se localizar em terras que de outra forma não seriam viáveis economicamente, abrindo a oportunidade de ocupação e expandido a oferta de espaço.

Ainda dentro do tema da mobilidade urbana, podemos focar no deslocamento pendular para o trabalho. Sem entrar no mérito de a cidade de São Paulo ser monocêntrica ou policêntrica, e tomando como possível a existência de uma descentralização e periferação dos empregos, a periferação da população pode ser benéfica, neste caso especial. Ela pode propiciar viagens mais curtas, se as famílias se mudam para locais próximos aos empregos. Aqui fica clara a integração da análise do mercado de habitação, que deve ser suficientemente flexível e eficiente para propiciar esse tipo de ganho.

Passando para os argumentos que fazem perceber o espraiamento como indesejado, seguiremos principalmente a lógica exposta em Brueckner (2000), que indica a possibilidade de falhas de mercado no uso do solo urbano. Segundo esse autor, existiriam três fontes de falhas de mercado: o valor social do espaço aberto (de uso não urbano), os custos sociais do congestionamento do sistema viário e os custos da infraestrutura pública.

Podemos começar pelo tema que trata da mobilidade urbana, contrapondo os parágrafos imediatamente anteriores. A uma falha de mercado está associada uma externalidade. A externalidade aqui, no caso, já é bem conhecida, e trata do custo social gerado pela decisão individual de utilizar o automóvel, ocupando lugar nas vias. Ao sair com o seu carro, cada pessoa impõe custos às outras pessoas que não foram contabilizadas na hora da tomada da decisão individual. Assim seriam necessários mecanismos que fizessem o indivíduo levar em conta esse custo, internalizando a externalidade.

A esse fato se soma o que já mencionamos: tecnologias de transporte diminuem os custos de transporte e viabilizam a ocupação de áreas mais distantes, antes não disponíveis. Ou seja, além de gerar mais trânsito, essa situação também gera viagens mais longas que, por sua vez, implicam mais emissões de gases e maior poluição do ar.¹⁰

Tratando do valor social do espaço aberto, esta falha de mercado também se contrapõe a um dos argumentos a favor do espraiamento urbano. Dissemos anteriormente que a cidade se expande porque o valor do uso urbano é maior que o do uso anterior, na fronteira de expansão urbana. O problema aqui é como medir o valor da terra na zona de expansão. Do ponto de vista do proprietário da terra, seu valor corresponde à rentabilidade que essa terra lhe proporciona. No entanto, existe um valor intrínseco, social da terra que vai além daquele que o direito de propriedade individual confere ao proprietário. Em termos práticos, a terra não ocupada gera uma paisagem natural da qual não só o proprietário desfruta, mas também toda a

10. Essa análise é relativa à posição dos centros de empregos (cidade monocêntrica ou policêntrica com periferação dos empregos) e a quão poluente é a tecnologia de transporte em questão.

vizinhança. Extrapolando o argumento, ele é válido para entender a necessidade de proteção de áreas de alto valor ambiental, de cobertura vegetal original, ou áreas de proteção a mananciais, por exemplo.

Já com relação à infraestrutura pública – rede de água, esgoto, iluminação pública, pavimentação de vias etc. –, a externalidade surge com relação ao financiamento. É responsabilidade do governo local a provisão correta de todos esses bens a todos os moradores da cidade. Se alguns indivíduos preferem viver em densidades menores, em áreas não urbanizadas anteriormente, serão gerados mais custos que se esses indivíduos preferissem viver em densidades maiores em áreas já urbanizadas. Esses custos “extras” serão repartidos não somente entre aqueles que são seus beneficiários, mas entre toda a sociedade. Essa decisão individual está impondo custos sociais que financiam um benefício privado.

Complementando o leque de falhas de mercado que podem ser encontradas, Turner (2007) chama a atenção para um possível problema de coordenação na determinação de densidades de bairros novos e a presença de comércio local. Ele indica que esse problema também pode ocorrer para outros bens públicos locais que apresentam retornos crescentes na escala da produção e necessitam de uma escala mínima de produção. A externalidade surge do benefício local social gerado pela ocupação residencial em alta densidade (que viabiliza a presença do bem local público, nesse caso, o comércio local) e da possibilidade do efeito carona em usar um lote grande. Se todos decidem por lotes grandes, a densidade é baixa e o bem público local é inviável. Aqui fica explícito um interessante conflito, pois ao mesmo tempo que densidade alta e interação social são desejados, mais espaço também é desejado.

Para finalizar cabe deixar registrado um último argumento contra o espraiamento urbano. Ele se refere ao funcionamento do mercado imobiliário e a uma característica particular das estruturas físicas dos imóveis: a durabilidade. Os imóveis necessitam de investimentos para manter sua qualidade ou para se adequar aos novos usos que vão surgindo. Assim, áreas da cidade que possuem imóveis mais antigos apresentam um custo maior para habilitar esses imóveis para o uso necessário. Se as áreas periféricas são demasiadamente atrativas, isso torna as áreas centrais ainda menos atraentes do que elas já são. Os mesmos mecanismos que incentivam o espraiamento, então, contribuem para a degradação e esvaziamento de áreas centrais. Essa situação muitas vezes implica perda de patrimônio histórico, ilustrando mais uma vez o problema de valorização social e individual.

5 METODOLOGIA

Os dados utilizados provêm de fontes secundárias, que preferencialmente possuem informações na escala intrametropolitana. Desta maneira são utilizadas informações dos Censos Demográficos de 1991 e 2000 e das pesquisas OD do Metrô de São Paulo de 1987, 1997 e 2007. As pesquisas OD trazem informações sobre os deslocamentos urbanos – número, tempo e motivo das viagens, assim como trazem informações socioeconômicas sobre a população, como idade, escolaridade, renda e o número de empregos. Devido ao plano amostral utilizado os dados levantados são representativos no nível territorial das zonas de pesquisa, o que proporciona um

retrato da distribuição espacial das variáveis internas à metrópole. No ano de 1987 são 254 zonas, em 1997 são 389 e em 2007 são 460.

Outra fonte de informações essencial para a análise são os produtos cartográficos: “Mapa da Expansão da Área Urbanizada da Região Metropolitana de São Paulo” e “Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Região Metropolitana de São Paulo – 2002” da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (Emplasa). Utilizam-se os mapas digitalizados de evolução da área urbanizada nos períodos de 1962 até 2002, pois estes abrangem a totalidade dos municípios da RMSP. Esses mapas foram confeccionados utilizando-se fotos aéreas e imagens de satélite. Ambos os mapas estão georreferenciados com base no Sistema Cartográfico Metropolitano, apresentando sistema de coordenadas projetadas universal de mercator, o que valida os cálculos de distância euclidiana e área a partir das coordenadas indicadas, sem necessidade da correção para a curvatura da Terra.

Cabe deixar claro que o mapa da área urbanizada de 2002 possui maior acurácia que os anteriores, pois a imagem de satélite utilizada é de alta resolução (satélite Ikonos). Assim, não é possível a comparação direta da mancha urbana com os períodos anteriores, pois não podemos considerar que o conceito de área urbanizada utilizada no mapa de 2002 e nos anteriores é o mesmo. Esta limitação será levada em conta na análise da evolução do espraiamento urbano feita na seção 7. A análise do crescimento da mancha urbana entre 1998 e 2002, feita na seção 8 se baseia na área urbanizada do mapa de 2002, mas utiliza a mancha de 1998 para determinar o quanto de toda a área é crescimento urbano. Como o mapa de 1998 é menos detalhado devemos esclarecer que o crescimento urbano analisado nesta seção pode ter acontecido anteriormente ao ano de 1998. Devem existir pedaços de área urbanizada que existiam em 1998, e que não estão identificadas no mapa desse ano, mas aparecem no mapa de 2002.

Para identificar se houve espraiamento em São Paulo, utilizamos diferentes estatísticas descritivas que captam o fenômeno do espraiamento urbano. Começamos com o cálculo do total da área urbanizada e a evolução das densidades de emprego e população no tempo e no espaço. Essas informações mostram as especificidades locais do fenômeno, o que também é explorado para os Estados Unidos em Glaeser e Kahn (2004).

Nossa principal medida de espraiamento é inspirada em Burchfield *et al.* (2006). Esse indicador, além de outras estatísticas apresentadas, permitirá descrever o fenômeno a partir do ponto de vista da definição de espraiamento que envolve a concentração, a densidade e a continuidade da área urbanizada, sem a necessidade de identificar e localizar subcentros de emprego. Como a densidade, ele é sensível à escala geográfica de análise, pois se trata da porcentagem de área urbanizada contida em uma área (de 1 km²) centralizada em cada um dos pontos onde é medida a urbanização. Os pontos constituem uma quadrícula regular, o que contorna o problema da medida de fenômenos espaciais em unidades geográficas com contornos predefinidos inapropriados. O tamanho da área e o espaçamento da quadrícula poderiam ser modificados, captando diferentes fenômenos de acordo com a escala geográfica de análise. Como estamos tratando do problema em apenas uma metrópole, e nosso objetivo é observar o fenômeno na escala intraurbana, essa medida

é interessante. Ela nos permite explorar ambas as dimensões do espraiamento, com informações em uma escala geográfica bastante detalhada.

Em Burchfield *et al.* (2006), os autores utilizam informações de uso do solo obtidas a partir de imagens de satélite, mapas do tipo *raster*, que propiciam a informação em uma quadrícula regular de 30m x 30m. A principal informação é a urbanização (*development*) ou não do solo. Para cada célula é calculada a porcentagem de terra não urbanizada no quilômetro quadrado mais próximo (ou seja, nas 1.088 células circundantes). A partir desta informação disponível para cada célula é calculada a média do índice para todas as células dentro de uma mesma região metropolitana.

A construção de nosso índice de espraiamento segue a mesma lógica. Não utilizamos diretamente as imagens de satélites, mas os mapas digitalizados de evolução da área urbanizada elaborados pela Emplasa a partir de imagens e fotos de satélites. Construímos uma quadrícula de 50m x 50m. Determinamos o uso do solo, urbanizado ou não urbanizado, para cada célula de acordo com o mapa da área urbanizada sobreposto a essa quadrícula. A célula é considerada urbanizada se seu centroide está dentro do perímetro da área urbanizada. Então, para cada célula, construímos ao seu redor um quadrado de 1 km² e contamos quantas células “urbanizadas” haviam dentro desse quadrado. Devido às dimensões das células, o índice varia de 1 a 400,¹¹ caso em que a célula está totalmente cercada de tecido urbano.

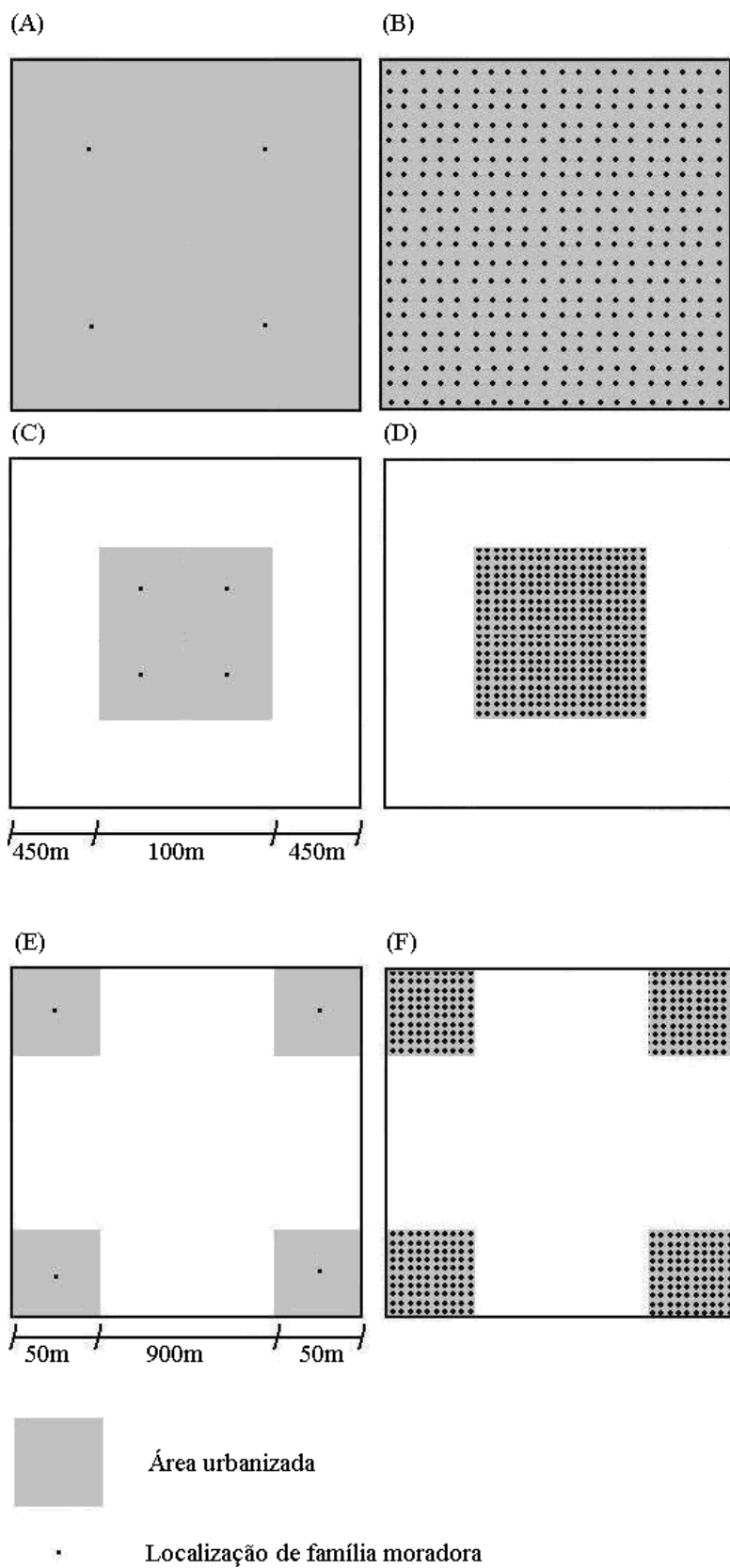
A escala de análise permite que o índice seja sensível a “buracos” dentro da área urbanizada. No mapa da mancha urbana de 2002, esses “buracos” correspondem aos vazios urbanos com alguma cobertura vegetal – parques, reflorestamentos, hortas, florestas e campos; ou rios e lagos. Essa característica é importante, pois dessa maneira nosso índice capta a disputa entre os usos urbano e rural na zona de crescimento da metrópole. Na parte interior da cidade ele pode captar se a conversão para o uso urbano aconteceu de forma contínua e intermitente, ou se deixou reminiscências do uso anterior.

A figura 2 deixa claro como o índice construído é uma medida da densidade da área urbanizada, diferente da densidade populacional. Isto acontece porque é uma medida em duas dimensões, não captando as três dimensões do ambiente construído. A figura representa uma cidade fictícia cuja mancha urbana ocupa um quadrado de 1 km². Como em nosso índice, essa área está dividida em 400 células de 50 m de lado. As células urbanizadas são mostradas em cinza. As famílias que moram nas edificações da área urbanizada são representadas por pontos. As figuras representadas nas mesmas linhas possuem a mesma média¹² do índice de espraiamento. As da mesma coluna possuem a mesma densidade populacional.

11. Cabem 400 quadradinhos de 50 m de lado em um quadrado de 1 km de lado.

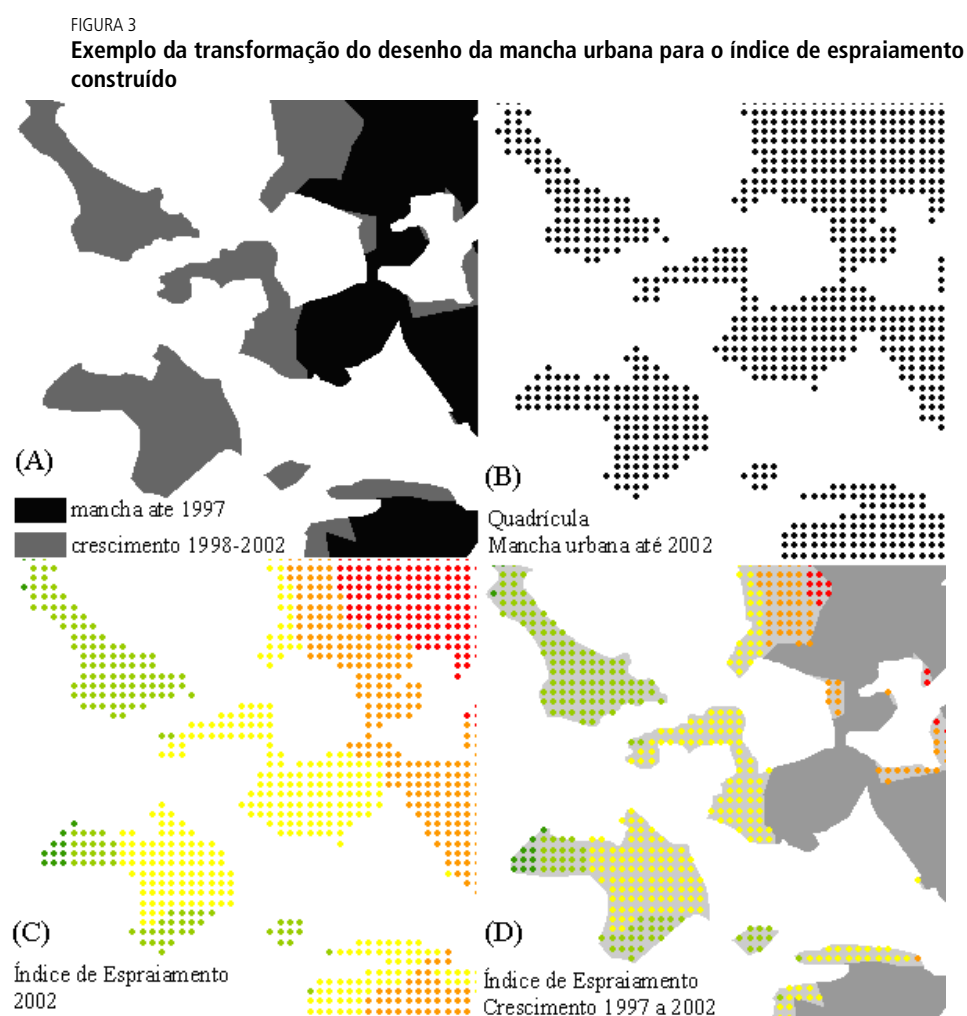
12. Essa média é calculada com relação ao valor do índice para cada uma das 400 células.

FIGURA 2
Relação entre o índice de espalhamento urbano, a densidade populacional e a continuidade do tecido urbano. Figuras fora de escala.



As figuras da primeira linha possuem a média máxima do índice de espraiamento, enquanto as da última linha possuem a média mínima. Com relação às densidades, a coluna da esquerda apresenta densidade de 4 famílias por km², a da direita de 400 famílias por km². Na figura 2 (E), podemos imaginar que as famílias ocupem casas, enquanto na figura 2 (F) as famílias ocupam edifícios de apartamentos. Como dissemos, o índice de espraiamento não é sensível à altura das estruturas construídas. Na segunda linha a média do índice é de 0,04, enquanto na terceira é de 0,01. Ilustrando como o índice é sensível à continuidade do tecido urbano, ou seja, capta o fenômeno dos vazios urbanos comentado acima.

Na figura 3 ilustramos um detalhe das etapas de construção do índice para o crescimento da área urbanizada entre 1997 e 2002. A figura 3 (A) mostra a mancha urbana consolidada em 1997 e o crescimento da mesma até 2002. Em seguida, na figura 3 (B) mostramos a quadrícula de 50m x 50m correspondente à área urbanizada até 2002. É com base nessa quadrícula que calculamos os valores do índice. Na figura 3 (C) essa quadrícula está colorida de acordo com o valor do índice.¹³ A cor vermelha indica valores mais altos, e a cor verde, valores mais baixos.



13. Para melhor visualização, as figuras deste texto aparecerão em cores no *site* do Ipea: <http://www.ipea.gov.br/sites/ooo/2/publicações/tds/td....pdf>.

Note-se que nas bordas da mancha os valores do índice tendem para o verde, enquanto no interior tendem para o vermelho. Isto indica como o crescimento urbano no interior da mancha é mais compacto (valores altos do índice), e na sua borda é mais esparsa (valores baixos do índice). Por fim a figura 3 (D) ilustra os valores do índice exclusivamente na área onde houve crescimento urbano, nossa principal variável de análise.

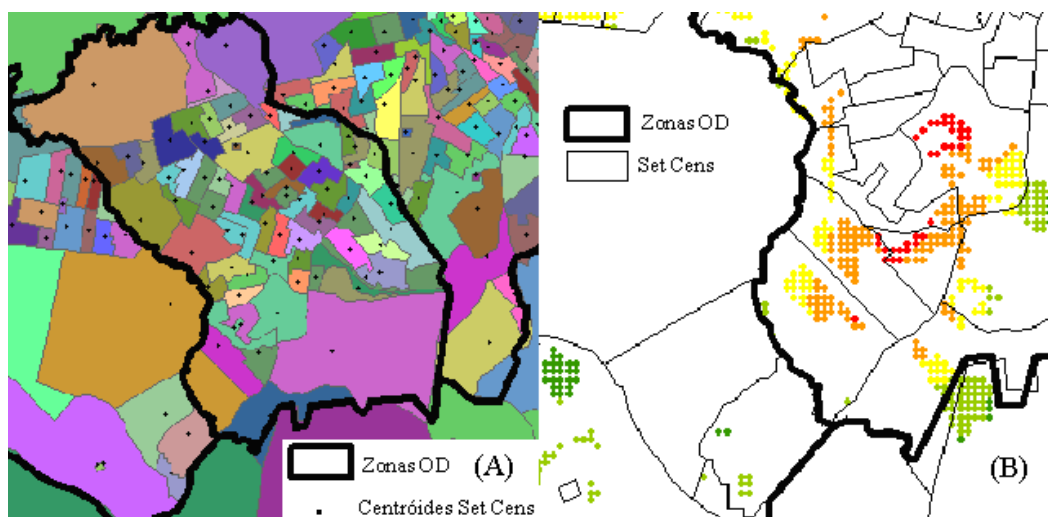
Todos os mapas e o processamento geográfico dos dados foram elaborados no programa de sistemas de informações geográficas ArcGis 9.3 e o *software* GeoDa. A compatibilização das três fontes de dados: *i*) censo demográfico, *ii*) mapas cartográficos da Emplasa e *iii*) pesquisa OD foi feita através da sobreposição espacial dos mapas das unidades espaciais referentes aos dados. Para compatibilizar os dados de setores censitários do censo e das zonas OD do Metrô, sobrepusemos o mapa dos centroides dos setores censitários ao mapa das zonas OD, verificando quais centroides estavam contidos em quais zonas.

FIGURA 4

Sobreposição espacial das bases de dados

(A): Zonas OD e setores censitários.

(B): índice de espraiamento, setores censitários e zonas OD



A figura 4 (A) ilustra um detalhe dessa compatibilização. Nota-se que a área dos setores censitários é em geral muito menor que a das zonas de OD. Para os anos em que a compatibilização foi feita, o Censo de 2000 e a Pesquisa OD de 1997, existem 21.744 setores censitários enquanto existem 389 zonas OD cobrindo a totalidade da área da RMSP. Já a figura 4 (B) traz um exemplo de como as três bases de dados possuem informações em escalas diferentes. Escolhemos usar a escala intermediária dos setores censitários. Então calculamos a média dos valores do índice de espraiamento dos pontos contidos em um setor censitário. Para os dados da pesquisa OD, usamos os dados da zona OD na qual estava contido o centroide do setor censitário.

Saindo do campo das medidas diretas, utilizamos a análise de regressão simples, de mínimos quadrados ordinários (MQO) para estimar o gradiente de densidade de população e empregos. Anas, Arnott e Small (1998) comentam como essa técnica foi bastante utilizada para documentar o que colocam como duas das mais fortes regularidades empíricas da estrutura urbana: como a densidade decai

com a distância ao centro, e como quase todas as cidades do mundo desenvolvido se descentralizam durante o século XX. Nossa análise empírica mostrou que São Paulo se encaixa nesse perfil.

Por fim, a utilização da análise de regressão, empregando o método MQO, se enquadra no objetivo de explorar os determinantes do espraiamento urbano. Buscaremos a conexão empírica das variáveis uma vez que já levantamos essa conexão do ponto de vista teórico. Não tentamos controlar todas as fontes de problemas na estimação, pois isto ultrapassaria o escopo deste trabalho. Mesmo assim, o exercício é válido como análise empírica exploratória do fenômeno.

6 EVOLUÇÃO URBANA E HISTÓRIA ECONÔMICA EM SÃO PAULO

A característica da metrópole de São Paulo que estamos interessados em investigar, se ela é espraiada ou não, pode ser compreendida a partir do processo de estruturação desse território. Este, por sua vez, responde tanto a estímulos decorrentes das atividades econômicas, quanto dos estímulos das políticas públicas implementadas. Vamos descrever esse processo a partir da análise feita em Meyer, Grostein e Birderman (2004).

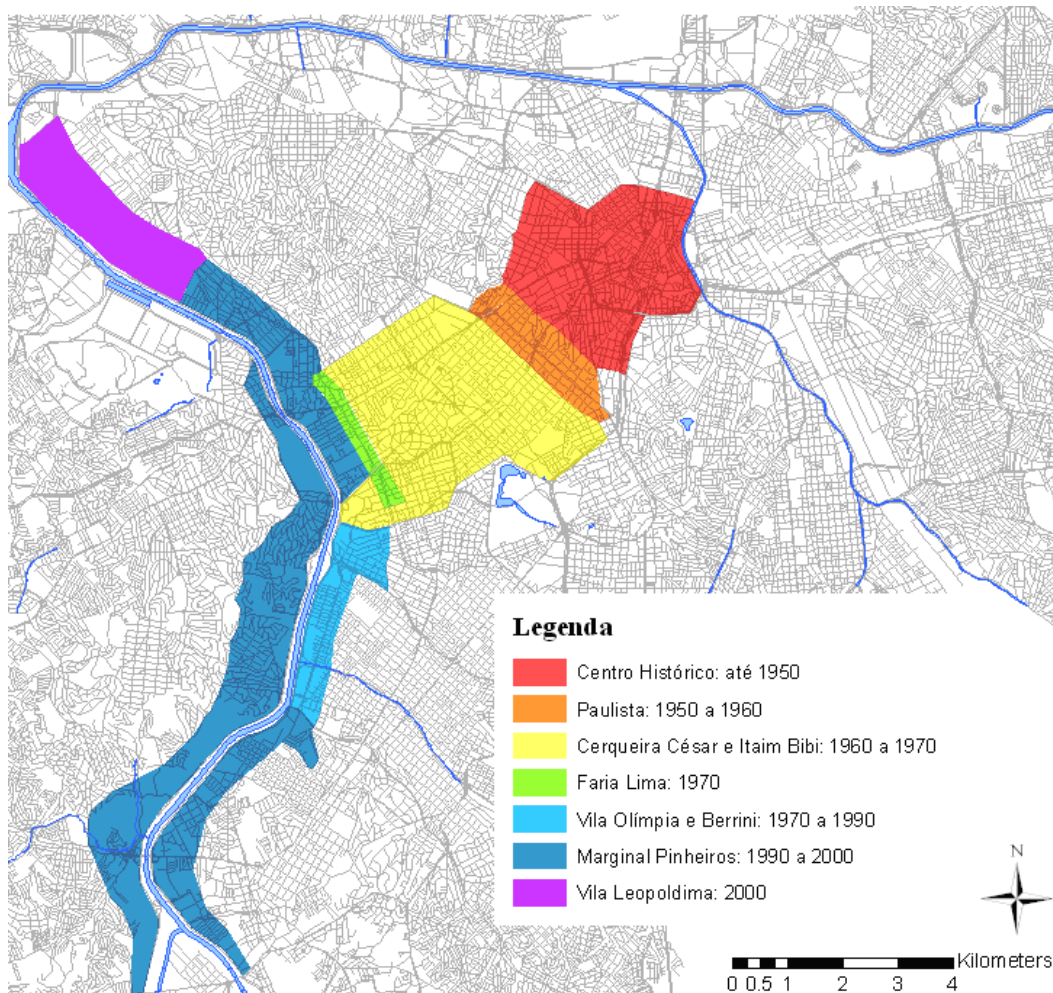
Segundo Meyer, Grostein e Birderman (2004), a cidade de São Paulo já surge com uma vocação metropolitana, pois se localiza em um ponto de entroncamento e articulação regional. Já como uma grande metrópole consolidada, essa articulação ultrapassa os limites da região metropolitana administrativa, pois está baseada na distribuição funcional entre os municípios que se encontram relativamente próximos ao centro de São Paulo e se viabiliza a partir dos eixos de transporte. Na história da cidade, as ligações de transporte se deram inicialmente através dos caminhos, posteriormente com o sistema ferroviário e então rodoviário. Ao longo do tempo, e com um forte e continuado crescimento econômico, a área de influência de São Paulo se firmou como o principal polo produtivo e de alta tecnologia do país.

Ainda segundo Meyer, Grostein e Birderman (2004), o crescimento econômico e populacional forte da década de 1950 teve consequências importantes na forma de ocupação do espaço urbano e na estruturação da metrópole. Nesse momento houve mudanças tecnológicas que exigiram terrenos maiores para as fábricas. Ao mesmo tempo, aconteceu a mudança da ênfase do transporte ferroviário para o transporte rodoviário. Assim, explica-se o surgimento do parque industrial das cidades agora conurbadas a São Paulo – São Bernardo, São Caetano e Santo André – nessa época.

A grande mudança seguinte, na estruturação urbana da metrópole, foi a predominância de empregos na cidade de São Paulo no setor terciário. Como colocado em Birderman (2001), essa nova atividade econômica se beneficia mais de ganhos de urbanização. Já os setores de manufaturados buscam os ganhos de localização. Também segundo Meyer, Grostein e Birderman (2004), isto renova a distribuição funcional dos municípios da região e provoca mudanças na utilização do espaço. A nova função de serviços especializados para consumidores e firmas se concentra no município de São Paulo. Ela provoca a necessidade de novos espaços, mais modernos. Assim, as funções centrais da cidade se deslocam ao longo dos anos

1960, a partir do centro histórico, em direção à Avenida Paulista. Durante os anos 1970 e 1980, novos setores a sudoeste – a Avenida Faria Lima, Itaim e a região da Marginal Pinheiros – foram se consolidando. Por fim, nos anos 1990, as regiões da Vila Olímpia e da Avenida Luís Carlos Berrini são reconhecidas por sua concentração de empregos nos mais variados serviços altamente especializados (ver figura 5).

FIGURA 5
Deslocamento das funções centrais em São Paulo



Fontes: Meyer, Grostein e Birderman (2004), Centro de Estudos da Metrópole. Elaboração própria.

Em geral, esse movimento intraurbano reforça o padrão periférico de urbanização, no qual a porção central da metrópole perde população, enquanto a mancha urbana continua crescendo. O poder público, por sua vez, não só corrobora como também é indutor desse padrão, pois constrói conjuntos de habitação popular em zonas muito afastadas do centro, e permite a invasão de áreas desocupadas nas franjas da cidade.

Assim, as populações de menor renda paulatinamente passam a morar nas periferias por três razões. A disponibilidade de terrenos que pudessem ser ocupados de forma irregular (mais intenso na região sul). A oferta pública de grandes conjuntos habitacionais a partir da década de 1960 (mais intenso na região leste), o que também

estimulou a autoconstrução na periferia devido à oferta de lotes urbanizados de baixo preço. Na década de 1980 o movimento para a periferia também se intensifica nas camadas de maior poder aquisitivo que buscam os condomínios fechados.

A infraestrutura urbana é um ponto-chave na evolução do espraiamento. Necessariamente a conversão de terra rural em terra urbana implica provisão de infraestrutura urbana. Mas é o poder público que tem a incumbência de fazê-lo e é a totalidade da sociedade que paga por ela. No caso brasileiro e, em particular, de São Paulo, como é a população de menor poder econômico que predominantemente ocupa as zonas periféricas, e muitas vezes em caráter irregular, esta provisão é lenta, insuficiente, na medida em que essa população de menor renda tem menor poder político. Como exemplo dessa situação, a tabela 1 indica a evolução na rede de água para os dez piores municípios da RMSP em 1991 e 2000 enquanto a tabela 2 o faz para a rede de esgoto. A figura 6 ilustra que esses são municípios da periferia da RMSP. Note-se que os valores são quase sempre inferiores à média dessa região.

TABELA 1
Proporção de domicílios conectados à rede pública de água
(Em %)

Municípios	1991	2000
Juquitiba	40,50	46,98
Pirapora do Bom Jesus	42,28	80,89
Biritiba Mirim	42,42	59,58
Guararema	43,57	56,19
Santana do Parnaíba	51,58	76,47
Mairipora	54,23	54,58
Salesópolis	55,06	58,10
Santa Isabel	59,02	64,36
Vargem Grande Paulista	62,66	96,30
Francisco Morato	69,13	90,66
RMSP	83,96	81,13

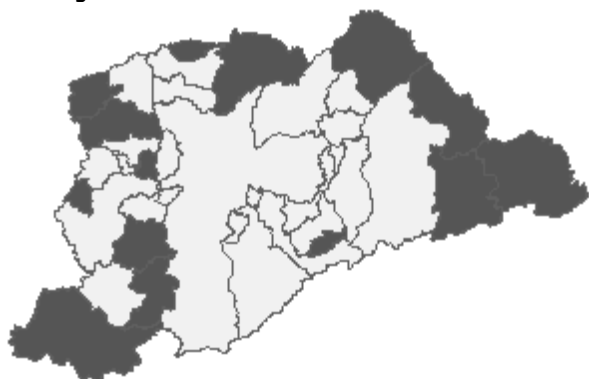
Fonte: IBGE/Censos de 1991 e 2000.

TABELA 2
Proporção de domicílios conectados à rede pública de esgoto
(Em %)

Municípios	1991	2000
Embu Guacu	1,88	13,82
Itapeçerica da Serra	10,26	24,61
Francisco Morato	16,30	26,83
Santana do Parnaíba	23,45	33,69
Biritiba Mirim	27,88	37,01
Carapicuíba	30,55	73,59
Rio Grande da Serra	32,15	59,34
Mairipora	34,09	25,30
Vargem Grande Paulista	34,12	84,78
Itaquaquecetuba	34,64	67,38
RMSP	63,83	81,39

Fonte: IBGE/Censos de 1991 e 2000.

FIGURA 6
Localização dos municípios da RMSP com maiores deficiências na conexão à rede de água e/ou esgoto¹⁴



7 HOUVE ESPRAIAMENTO URBANO EM SÃO PAULO?

7.1 EVOLUÇÃO DA ÁREA URBANA E POPULAÇÃO

Pode-se inicialmente observar se a urbanização em uma cidade se deu de forma “espalhada” a partir dos dados brutos de população total e da área total ocupada. Assim tem-se uma ideia da quantidade de espaço sendo alocada para cada habitante, ainda que sem considerar a distribuição interna desse espaço. A hipótese é que, se houve espraiamento, o crescimento da área urbanizada deve ter sido muito maior do que o crescimento populacional.

No entanto, analisando os dados da evolução de população e área urbanizada para a RMSP apresentados nas tabelas 3 e 4, temos resultados que mostram dinâmicas diversas em cada período. No período de 1974 a 1985, a população cresce bastante, e em proporção semelhante ao crescimento da área urbanizada. No período de 1985 a 1997, a população cresce em proporção maior que a área urbanizada, enquanto no período de 1997 a 2002, ocorre o inverso. É importante, entretanto, lembrar que o mapa da área urbanizada de 2002 é mais detalhado, com área urbanizada maior que os demais.

TABELA 3
População e área urbanizada na RMSP

	População	Área urbanizada (km ²)
1974	9.963.061	1.151
1985	13.970.764	1.589
1997	15.763.650	1.693
2002	18.453.398	2.199

Fonte: Área urbanizada: “Mapa da Expansão da Área Urbanizada da Região Metropolitana de São Paulo” da Emplasa. População: Ipeadata.

14. Ver figura A.1 com os nomes dos municípios no apêndice.

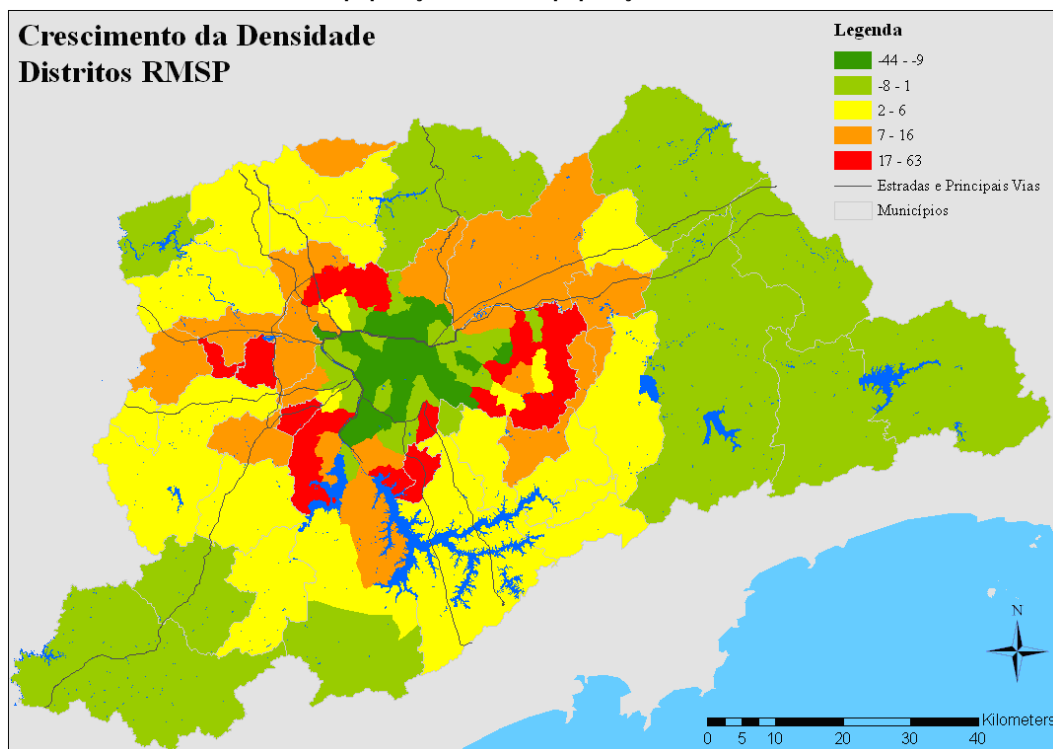
TABELA 4
Crescimento da população e área urbanizada na RMS
 (Em %)

	Crescimento da população	Crescimento da área urbanizada
1974 a 1985	40,23	38,03
1985 a 1997	12,83	6,54
1997 a 2002	17,06	29,86

Fonte: Área urbanizada: "Mapa da Expansão da Área Urbanizada da Região Metropolitana de São Paulo" da Emplasa. População: Ipeadata.

Utilizando os dados dos distritos censitários e dos Censos de 1991 e 2000, é possível identificar mudanças no padrão espacial da distribuição da população na RMSP. A figura 7 mostra o crescimento das densidades, ou seja, a mudança da população ponderada pela área dos distritos entre os anos de 1991 e 2000. Nela observa-se como as áreas de valores positivos se encontram na periferia. Infelizmente não possuímos mapas da área urbanizada para esses anos, no entanto, esse padrão populacional certamente é uma consequência de espraiamento urbano nesse período.

FIGURA 7
Crescimento da densidade: população em 2000–população em 1991/área



Fonte: IBGE/Censos de 1991 e 2000.
 Elaboração própria.

7.2 AS DENSIDADES DE POPULAÇÃO E EMPREGO

Passamos a observar duas medidas de densidade. A densidade média da RMSP, ou seja, a razão entre a população total e a área urbanizada, e o padrão de distribuição espacial da densidade nas zonas de pesquisa de origem e destino. Com relação à densidade média, a evolução desse indicador é consistente com um período de densificação urbana, entre 1974 e 1997, e um período de urbanização menos densa, entre 1997 e 2002, conforme tabela 5. Devemos sempre levar em conta a mudança de metodologia no cálculo da área urbanizada em 2002.

TABELA 5
Evolução das densidades médias na RMSP

	Densidade média (população/km ²)
1974	8.652
1985	8.790
1997	9.309
2002	8.391

Fonte: Área urbanizada: "Mapa da Expansão da Área Urbanizada da Região Metropolitana de São Paulo" da Emplasa. População: Ipeadata

Os períodos disponíveis através da pesquisa OD não são os mesmos dos mapas de área urbanizada da Emplasa. Podemos comparar a evolução da densidade média dos anos de 1985 e 1997 com a mudança na distribuição espacial das densidades entre os anos de 1987 e 1997. Apesar da densidade média ter subido, o que poderia indicar maior concentração espacial, os mapas indicam uma pequena fragmentação dos núcleos de altas densidades em pequenos grupos mais espalhados pela cidade. Esse processo persiste em 2007.

Comparando a evolução da distribuição da densidade de população com a evolução da distribuição da densidade de empregos (figuras 8 e 9), notam-se padrões semelhantes. Assim, parece haver evidências para um espalhamento no espaço, tanto da população quanto do emprego. Mas não temos evidências para dizer se foram os empregos ou a população que se moveram primeiro.

Analisando a distribuição dos valores das densidades das zonas de pesquisa com relação à distância ao centro, a queda é muito mais drástica na densidade de empregos do que na densidade populacional. A simples observação dos mapas das figuras 8 e 9 parece sugerir que a distribuição dos empregos se aproxima mais do modelo de cidade monocêntrica do que a distribuição populacional.

FIGURA 8
Evolução das densidades populacionais

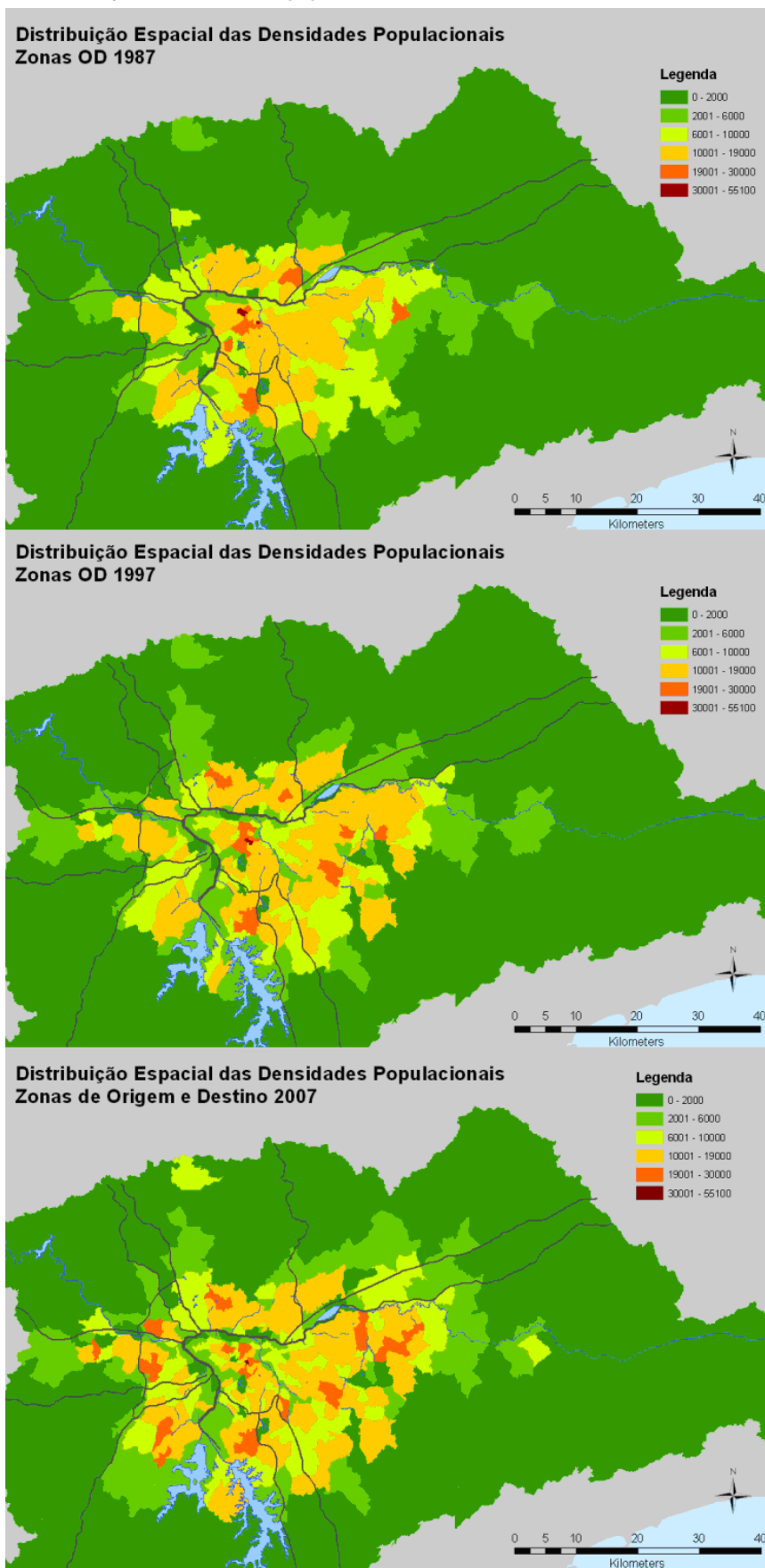
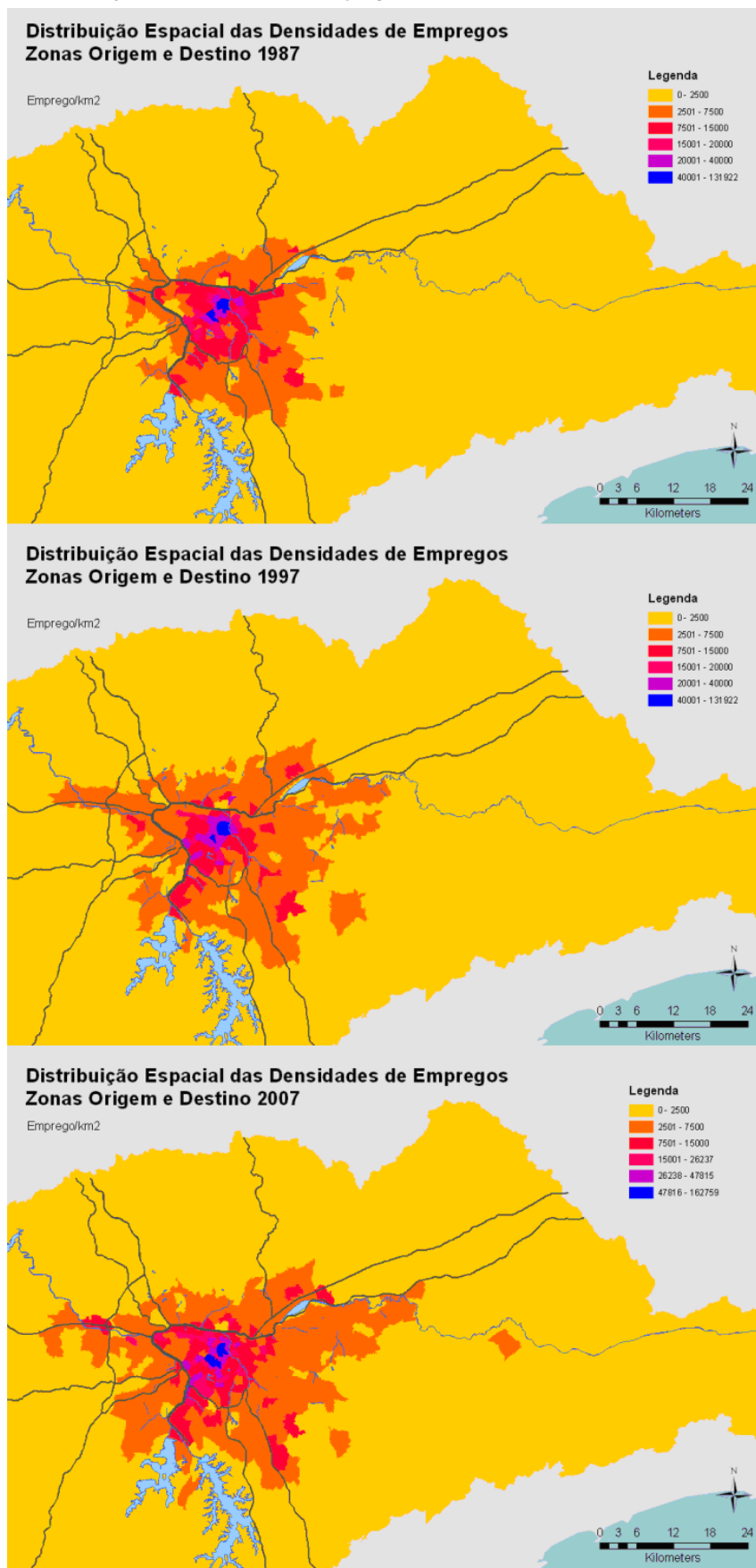


FIGURA 9
Evolução das densidades de empregos



7.3 ESTIMAÇÃO DO GRADIENTE DE DENSIDADE

Segundo Anas, Arnott e Small (1998), o padrão de distribuição das densidades populacional e de empregos pode ser aproximado por uma função exponencial negativa da seguinte maneira:

$$D(k) = D_0 e^{-D_1 k}$$

onde k é a distância ao centro, $D(k)$ é a densidade em função da distância ao centro, D_0 é a densidade no centro e D_1 é o gradiente de densidade. Esta função pode ser estimada utilizando-se uma regressão linear simples, aplicando o logaritmo natural. Em seguida apresentamos os resultados:

TABELA 6
Estimativas do gradiente de densidade

Tipo de densidade	Ano	Estimativa de D_1	Estimativa de D_0	R^2
Empregos	1987	0,212	3.159	0,471
Empregos	1997	0,149	8.171	0,311
Empregos	2007	0,125	21.634	0,652
Populacional	1987	0,144	10.353	0,616
Populacional	1997	0,114	8.935	0,249
Populacional	2007	0,064	16.155	0,359

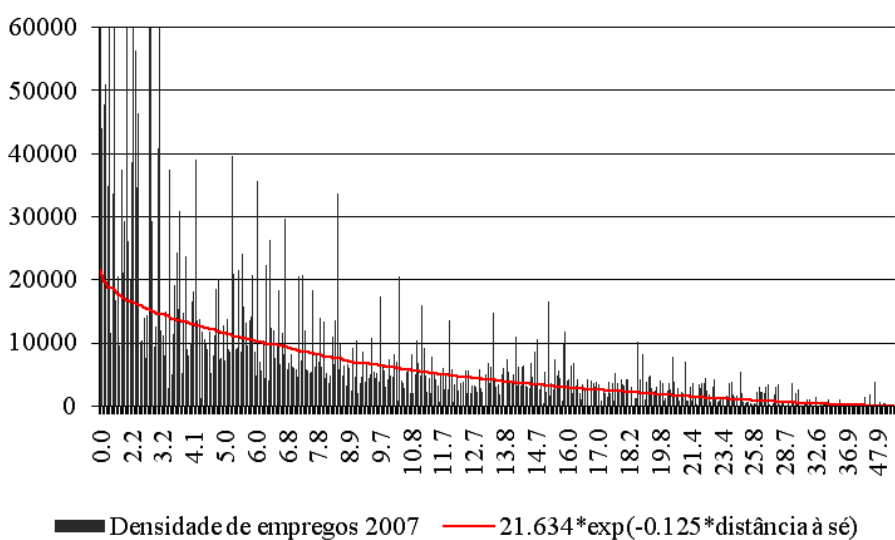
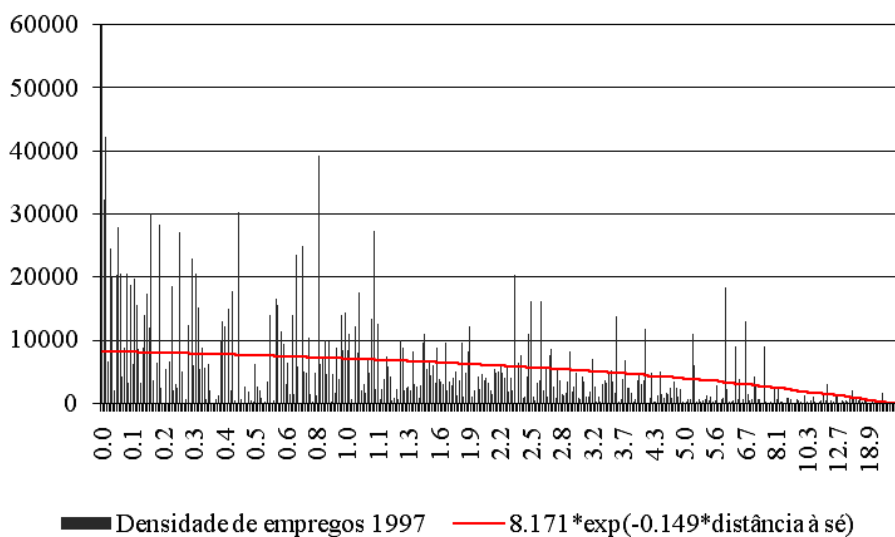
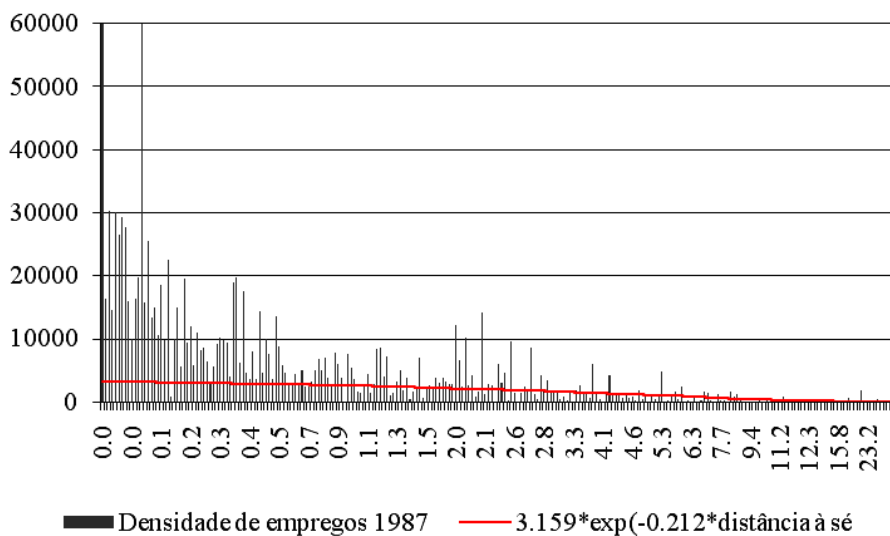
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados das pesquisas OD do Metrô de São Paulo.

Todos os gradientes estimados são estatisticamente significantes a $\alpha = 1\%$. No ano de 1987 a função exponencial negativa parece se ajustar melhor aos dados de densidades populacionais. Já com relação à densidade de empregos, o ano de 2007 apresenta o melhor ajuste. Em todos os anos a inclinação da função de densidade dos empregos é maior que a populacional.

Analisando unidirecionalmente a distribuição das densidades com relação à distância ao centro, percebemos pelas figuras 10 e 11 a maior homogeneidade da distribuição das densidades populacionais em comparação com as distribuições das densidades de empregos. As figuras mostram também as funções de densidade estimadas, ilustrando o quanto os dados se aproximam destas. Fica claro como as densidades de empregos estão melhor aproximadas que as densidades populacionais.

FIGURA 10

Distribuição das densidades de emprego com relação a distância até a Sé¹



Nota: ¹ Fixamos o limite superior do eixo "y" de maneira a possibilitar a melhor visualização das equações estimadas.

FIGURA 11

Distribuição das densidades populacionais com relação a distância até a Sé

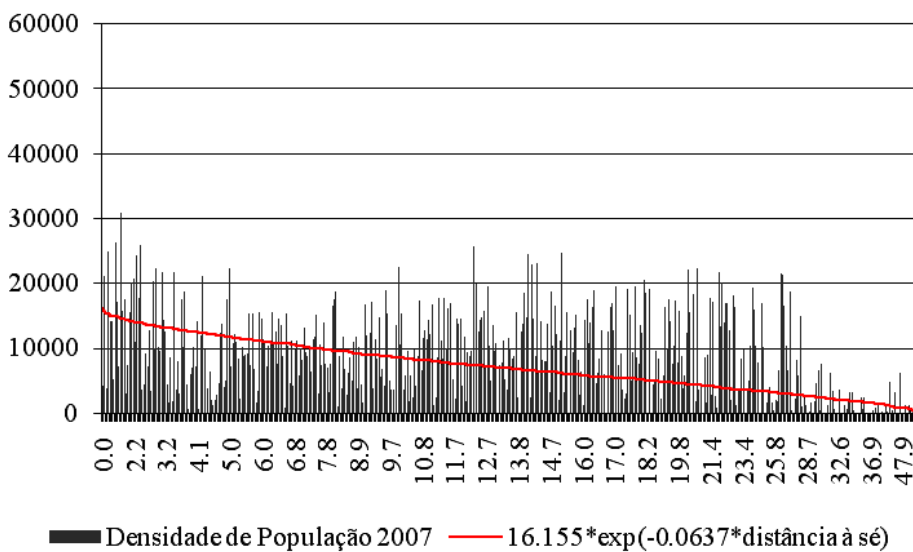
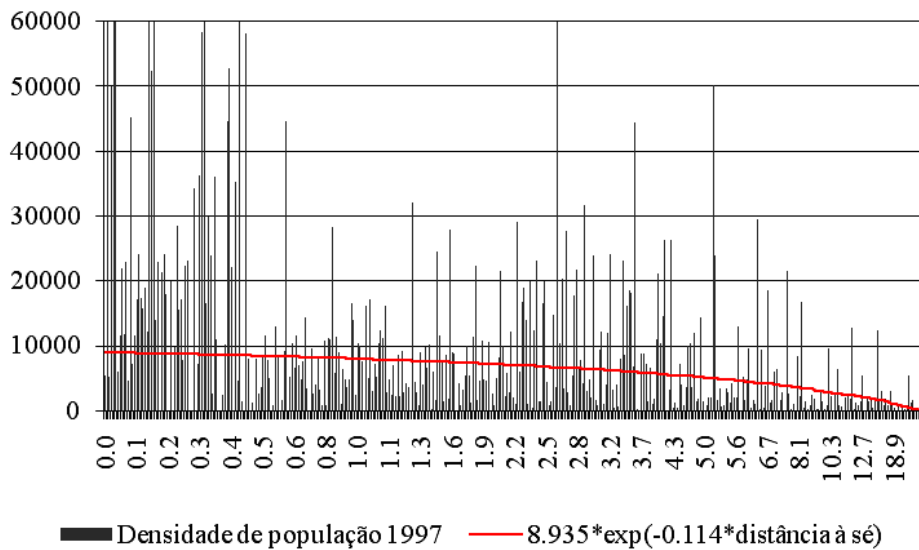
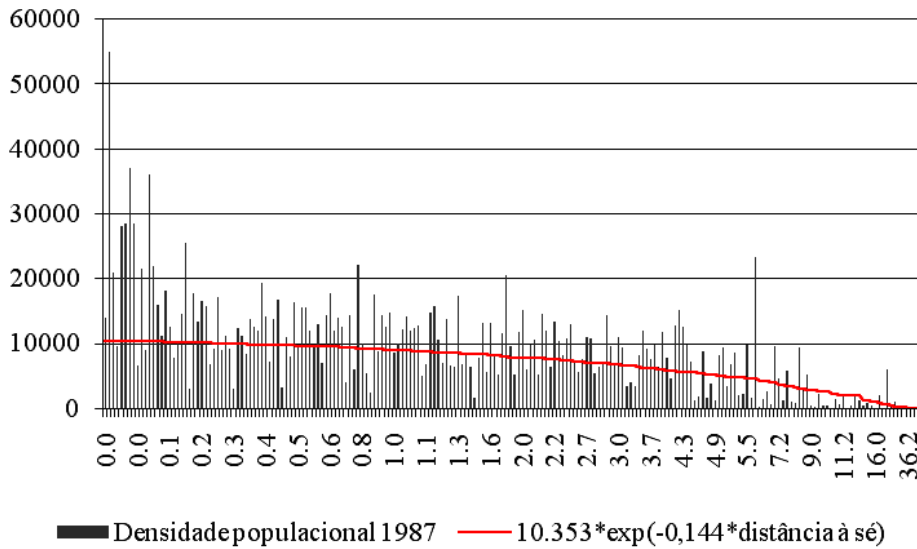


TABELA 7
Estatísticas descritivas das densidades de empregos e populacional

	Ano	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Densidade populacional	1987	7.511	7.634	0	55.099
	1997	9.918	14.454	0	101.976
	2007	8.684	6.695	0	30.944
Densidade de empregos	1987	4.762	9.033	0	94.835
	1997	5.133	9.255	0	131.922
	2007	8.177	14.746	0	162.759

Fonte: Pesquisas OD do Metrô de São Paulo.

As estatísticas descritivas das densidades complementam as figuras acima. Se por um lado as médias, os desvios-padrão e os máximos das densidades de emprego subiram monotonicamente, essas medidas de densidade populacional primeiro sobem, para depois cair. Cabe também notar que as médias das densidades populacionais são sempre maiores que as médias das densidades de empregos, enquanto os máximos das densidades de emprego são sempre maiores.

Estas estatísticas são compatíveis com uma cidade onde os empregos são mais concentrados que as residências. A análise dos gradientes de densidade estimados e dos mapas das figuras 8 e 9 também são condizentes com essa conclusão. Nota-se que ao longo do tempo os gradientes estimados de ambas as densidades caem. No entanto, as densidades médias sempre crescem, à exceção da populacional no período 1997 a 2007, o que não caracteriza totalmente o espraiamento urbano. Para tanto, além de a fronteira da cidade estar cada vez mais longe (gradientes menores), as densidades também deveriam ser menores. Mas para identificar mais detalhadamente o fenômeno, a densidade deve ser medida na parte da cidade que cresceu – e não como densidade média para a totalidade da metrópole –, o que será feito a seguir.

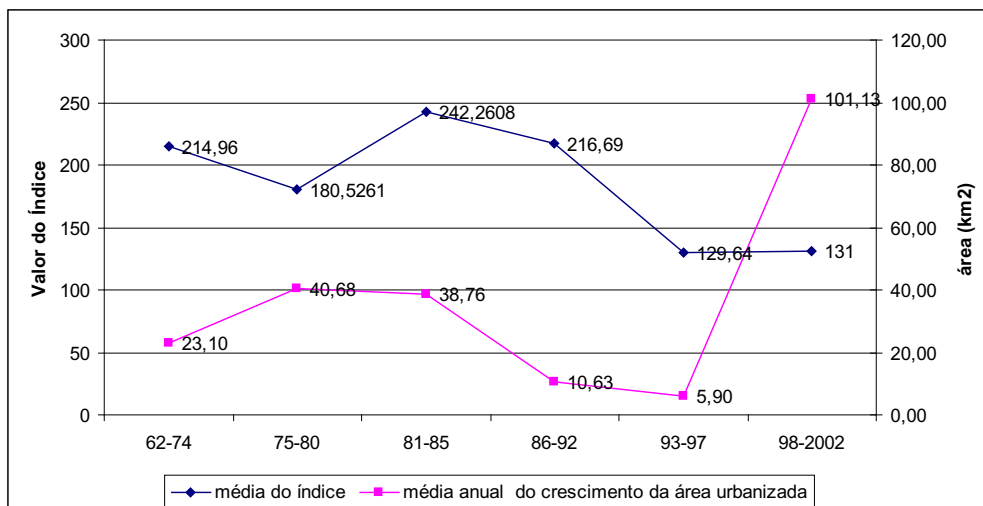
7.4 ÍNDICE DE ESPRAIAMENTO DO CRESCIMENTO DA MANCHA URBANA

Para captar o fenômeno do espraiamento urbano, computamos o índice de espraiamento acima descrito, que é sensível ao modo como a mancha urbana cresceu nos períodos disponíveis. Através desse índice, mediremos se o tecido urbano cresceu de forma mais ou menos compacta. Como mencionado anteriormente, na borda da mancha urbana o índice é menor, assim como no interior da mancha urbana o índice é maior.

Em seguida apresentamos, na figura 12, a evolução do índice calculado e a média anual do crescimento da área urbanizada para os períodos disponíveis. O crescimento da área urbanizada começou a acontecer em quantidades cada vez menores a partir de 1980.¹⁵ Já o índice de espraiamento somente cresceu entre os períodos de 1975-1980 e 1981-1985. Assim, podemos dizer que a partir de 1985 o crescimento urbano que aconteceu em menor quantidade foi também se localizando de maneira cada vez mais esparsa na fronteira da metrópole. Portanto, esse período mais recente é condizente com o fenômeno de espraiamento urbano.

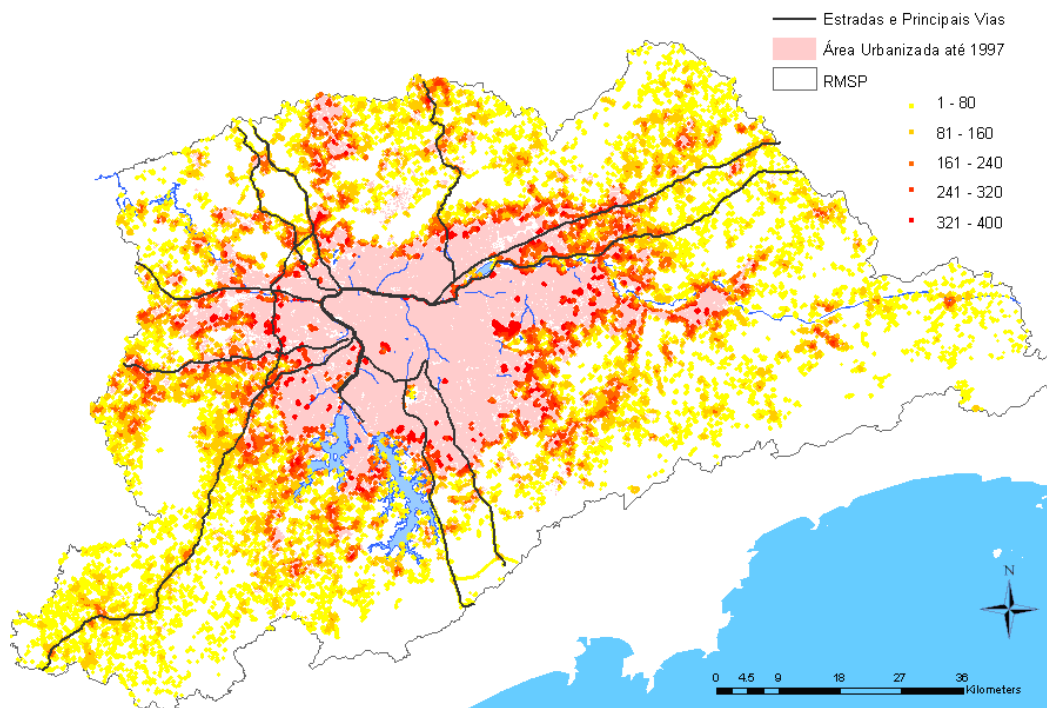
15. É importante lembrar a mudança de metodologia na construção do mapa de área urbanizada do ano de 2002, o que justifica a inflexão na tendência do gráfico do crescimento da área durante o período 1997-2002

FIGURA 12
Evolução dos índices de espraiamento e do crescimento da área urbanizada



Apresentamos a seguir o mapa do valor do índice indicado nos pontos onde ele foi calculado, para o período de 1998 a 2002, que será analisado na seção 8. Fica claro como os valores mais altos estão próximos da borda da área urbanizada anterior ao crescimento.¹⁶

FIGURA 13
Índice de espraiamento da área urbanizada – crescimento entre 1998 e 2002



16. No apêndice apresentamos os mapas da evolução da área urbanizada. Neles nota-se que no período de 1981 a 1985, a maior média do índice, o crescimento da área urbana ocupa vazios urbanos, a despeito da expansão da borda urbana nos períodos anteriores e posteriores.

7.5 O MODELO DE CADEIAS DE MARKOV APLICADO À EVOLUÇÃO DO ÍNDICE DE ESPRAIAMENTO

Para aproveitar a comparabilidade dos mapas da área urbanizada em seis períodos do tempo, e explorar como se deu a evolução da urbanização sob a ótica da nossa medida de espraiamento, optamos por utilizar a análise dos modelos de cadeias de Markov (ver THEIL, 1972). Além de essa modelagem trazer novas informações descritivas, traz pistas sobre como seria o equilíbrio de longo prazo no processo de urbanização. Essa possibilidade cabe em nossos objetivos, pois ilustra se esse caminho está de acordo com o fenômeno de espraiamento urbano ou não.

A metodologia foi utilizada na análise econômica a partir dos trabalhos de Quah (1996). Na economia urbana foi utilizada em Mcmillen e Mcdonald (1991). Para a modelagem de mudanças no uso do solo, a metodologia é utilizada no contexto dos estudos ambientais como em Weng (2002). O principal elemento de análise é a matriz de probabilidades de transição, que mapeia com que probabilidade um vetor de estados em um estado no momento t se transforma em outro vetor de estados no momento $t + 1$. No nosso caso, devemos escolher uma discretização do espaço de valores possíveis para o índice de espraiamento, criando os diferentes estados das variáveis. Devemos ter em mente que esta análise é de probabilidades condicionais ao estado do índice no período anterior, não levando em conta outras variáveis que poderiam explicar a evolução do índice.

Os modelos de cadeias de Markov presumem um processo estocástico em que a variável a ser analisada pode mudar de estado em cada momento do tempo. O processo é classificado como sendo sem memória, pois o estado apresentado pela variável no momento presente depende somente do estado em que se encontrava no momento passado. Um exemplo de cadeia de Markov é o passeio aleatório (*random walk*).

No nosso caso a variável analisada é o índice de espraiamento já apresentado na sessão anterior. Construímos uma quadrícula regular de 100m x 100m, cobrindo a extensão da RMSP, o que gerou 794.371 células. Acompanhamos o valor do índice para cada célula ao longo dos cinco períodos disponíveis. A área urbanizada está disponível para seis pontos no tempo, então temos cinco períodos de comparação: 1962-1974; 1974-1980; 1980-1985; 1985-1992 e 1992-1997. Notar que os períodos não possuem a mesma duração. Passamos então a determinar as categorias dos estados. No nosso caso, como o foco do estudo é a urbanização, criamos o estado 1, quando a célula não está urbanizada; o estado 2 quando a célula apresenta o índice de espraiamento positivo, porém menor que 200; o estado 3 onde o índice é maior ou igual a 200 e menor que 400; e o estado 4, onde o índice é igual a 400, ou seja, a célula está completamente cercada por área urbanizada. Utilizamos o corte de 200 pois é próximo à média do índice para todos os anos, e assim podemos interpretar o estado 2 como sendo urbanização pouco compacta e o estado 3 como urbanização muito compacta.

Apresentamos na tabela 8 as distribuições dos estados nos diversos períodos do tempo. Percebe-se que as células não urbanizadas (estado 1) são sempre a maioria, no entanto, essa proporção cai constantemente ao longo do tempo. Analisando os três estados com urbanização, percebemos que a proporção de células completamente cercadas por área urbanizada (estado 4) é muito pequena e apresenta uma suave alta.

Já o estado 2, de urbanização pouco compacta, aumenta bastante a sua presença e passa a superar consideravelmente em número as células dos estados 3 e 4. Isto indica que a área urbanizada cresce bastante, e, a partir de 1974, as células de urbanização pouco compacta sempre superam em número as células de urbanização compacta. Esta descrição é ilustrativa de um processo de crescimento espraiado da cidade.

TABELA 8
Distribuição dos estados ao longo do tempo
(Em %)

	1962	1974	1980	1985	1992	1997
1	82,56	68,94	57,89	54,99	53,46	51,41
2	6,17	17,22	26,14	26,62	27,12	28,92
3	8,86	11,28	13,25	15,09	16,01	16,26
4	2,42	2,57	2,71	3,30	3,40	3,41

Fonte: Elaboração própria a partir do "Mapa da Expansão da Área Urbanizada da Região Metropolitana de São Paulo" da Emplasa.

O principal elemento que descreve um processo estocástico como uma cadeia de Markov é a matriz de probabilidades de transição. Esta contém as probabilidades p_{ij} da variável aleatória passar de um estado i para um estado j em uma passagem do tempo:

$$P \{X(t+1) = j | X(0) = i_0, \dots, X(t-1) = i_{t-1}, X(t) = i\} = P \{X(t+1) = j | X(t) = i\} = p_{ij}$$

Com isto apresentamos a necessidade de as probabilidades de transição manterem-se constantes ao longo do tempo para que o processo estocástico possa ser descrito como uma cadeia de Markov. Então, a partir da distribuição inicial da variável é possível determinar a sua distribuição em qualquer outro ponto do tempo. Quando se projeta essa distribuição para um $t = \infty$ chega-se à distribuição limite. Como se trata de um sistema de equações onde a variável no período t está relacionada à variável no período $t + 1$ através da matriz de probabilidades de transição, para matrizes regulares a solução desse sistema é encontrada a partir dos autovalores e dos autovetores da matriz.

As probabilidades de transição p_{ij} não são observáveis, os seus estimadores de máxima verossimilhança são as frequências relativas do número de transições do estado i para o estado j com relação ao total de pertencentes ao estado i (ver BICKENBACH e BODE, 2003).

$$\hat{p}_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_j n_{ij}}$$

Este estimador é assintoticamente não viesado e normalmente distribuído; um estimador dos desvios-padrão pode ser:

$$\hat{\sigma}_{\hat{p}_{ij}} = (\hat{p}_{ij}(1 - \hat{p}_{ij}) / n_i)^{1/2}$$

Utilizando esses estimadores, estimamos a matriz a partir de toda a amostra, empilhando os diferentes períodos no tempo. Apresentamos a matriz a seguir. Todas as estimativas são significantes a $\alpha = 1\%$.

TABELA 9
Estimativa da matriz de transição
(Em %)

		Estado em $t + 1$			
		1	2	3	4
Estado em t	1	90,20	9,30	0,49	0,01
	2	0,00	93,41	6,55	0,04
	3	0,00	0,00	98,59	1,41
	4	0,00	0,00	0,00	100,00

Fonte: Elaboração própria a partir do "Mapa da Expansão da Área Urbanizada da Região Metropolitana de São Paulo" da Emplasa.

Esta matriz indica uma solução de equilíbrio em que todas as células da RM vão estar no estado 4, ou seja, completa urbanização.

No entanto, não é possível aplicar a solução do sistema de Markov nesta matriz, pois esta não é uma matriz regular. Como a urbanização é um processo não reversível, o estado 4 torna-se um estado absorvente, ou seja, pode ser atingido a partir de qualquer outro estado, mas, uma vez atingido, ele nunca é deixado. Dada essa característica, a matriz de transição é não regular, é uma matriz absorvente, não se lhe aplicando os mecanismos usuais de detecção da distribuição limite da variável aleatória em estudo.

No entanto, é possível determinar o número esperado de períodos em que o processo todo permanece em cada um dos estados até ser absorvido. Para tanto, particiona-se a matriz a partir da divisão em seus estados transientes e absorventes:

$$M = \begin{Bmatrix} Q & R \\ 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

onde Q é a submatriz com os elementos correspondentes somente aos estados transientes (estados 1, 2 e 3); 0, no nosso caso, é um vetor de zeros; e 1 a probabilidade de se manter no estado 4. Então utilizamos o teorema que define a matriz fundamental N e suas propriedades. Dentre as propriedades, existe a de que os elementos ij da matriz fundamental N indicam o número esperado de vezes que a cadeia estará no estado j dado que começou no estado i . N é definida como:

$$N = (I - Q)^{-1}$$

Assim, o tempo até a absorção ao iniciar-se no estado i é a soma dos elementos da linha i da matriz fundamental N . Para a nossa análise, esta parece uma informação interessante, pois ilustra o ritmo em que a urbanização vem acontecendo. Para uma descrição mais completa, apresentamos estes tempos não somente para a matriz estimada com a amostra inteira, mas também para as matrizes estimadas por período:

TABELA 10
Tempo para absorção

	62 74	74 80	80 85	85 92	92 97	Amostra inteira
Estado 1 para estado 4	93,018	98,984	54,041	216,87	4.373,0	95,105
Estado 2 para estado 4	87,302	92,956	34,783	181,32	4.346,9	85,728
Estado 3 para estado 4	84,784	84,022	23,336	154,83	4.240,3	71,032

Fonte: Elaboração própria a partir do "Mapa da Expansão da Área Urbanizada da Região Metropolitana de São Paulo" da Emplasa.

A diferença existente entre os tempos decorre das diferenças existentes entre as matrizes de transição estimadas para cada período. A análise do que significam esses tempos é um exercício de abstração mental, tentando trazer para o mundo real um estado estacionário, ou o tempo infinito.

É interessante notar como o período de 1980 a 1985 apresenta os menores tempos para absorção, o que é condizente com a predominância de um crescimento com altos valores do índice de espraiamento para esse período. A análise da evolução das médias do índice apresenta uma inflexão exatamente nesse período. Em todos os outros períodos, o tempo para absorção cresce com o passar do tempo. Podemos entender, então, que o ritmo de crescimento da área urbanizada vem caindo, pois o estado de equilíbrio de longo prazo vai ficando cada vez mais distante no tempo.

Os resultados das estimativas das matrizes de transição e dos tempos para absorção para cada um dos cinco períodos são muito diferentes entre si, e diferentes da estimativa para a amostra toda. Este pode ser um bom indicativo de que as matrizes estão mudando ao longo do tempo, ou seja, que o processo não é estacionário.

Para testar a estacionariedade das matrizes, utilizamos os testes propostos em Bickenbach e Bode (2003). Testamos a estacionariedade de cada linha correspondente aos estados transientes da matriz, pois o teste não é aplicável para o estado absorvente. As hipóteses nula e alternativa e a estatística de teste são:

$$H_0 : \forall t : p_{j|i}(t) = p_{j|i}(t = 1, \dots, T)$$

$$H_a : \exists t : p_{j|i}(t) \neq p_{j|i}$$

$$Q_i^{(T)} = \sum_{t \in D_i} \sum_{j \in B_i} n_i(t) \frac{(\hat{p}_{ij}(t) - \hat{p}_{ij})^2}{\hat{p}_{ij}} \sim asyX^2((d_i - 1)(b_i - 1))$$

Além disso, também testamos se a hipótese de homogeneidade no tempo vale para algum período específico, individualmente. A estatística de teste é a mesma, a diferença é que se estimam apenas duas matrizes de transição, a serem comparadas com a matriz de transição da amostra inteira. Uma matriz é estimada a partir das observações na amostra pertencentes ao período correspondente. A outra matriz é

estimada a partir de todas as observações dos outros períodos. As estatísticas calculadas de teste são as que se seguem, todas indicam rejeição da hipótese nula (estacionariedade) a 1% de significância.

TABELA 11
Estatísticas de teste para estacionariedade no tempo

	62	74	80	85	92	Amostra inteira
Estado 1	50.759,39	33.423,36	14.778,68	29.517,43	3.530,89	117.707,40
Estado 2	24.381,66	4.719,52	2.021,11	3.713,92	3.986,76	42.315,43
Estado 3	30,22	36,52	7.794,17	645,17	571,96	8.594,99

Fonte: Elaboração própria a partir do "Mapa da Expansão da Área Urbanizada da Região Metropolitana de São Paulo" da Emplasa.

Com este resultado segue-se que não é possível aplicar a metodologia das cadeias de Markov para a modelagem da evolução do espraiamento da área urbanizada. Isto invalida a distribuição de longo prazo em que toda a área da região metropolitana estaria completamente e compactamente urbanizada dentro de 100 períodos.

8 OS DETERMINANTES DO ESPRAIAMENTO

Neste exercício empírico a variável explicada, oriunda dos mapas de expansão da área urbanizada da Emplasa, é o índice de espraiamento já mencionado na seção 5. Utilizamos como variáveis explicativas as informações tanto das pesquisas OD do metrô quanto do Censo Demográfico de 2000. É nesta análise que vamos fazer uso da compatibilização espacial dessas bases de dados, descrita na seção sobre a metodologia. A junção das bases só foi possível porque as informações censitárias estavam disponíveis em nível geográfico de setores censitários, e o índice de espraiamento foi calculado para uma quadrícula de pontos em escala geográfica muito detalhada.

Passamos a analisar as variáveis utilizadas. A superposição do mapa de crescimento da mancha urbana entre 1998 e 2002 e o mapa de setores censitários indicaram os setores onde houve crescimento urbano, apenas 1,5% do total. É para esses setores que apresentamos, na tabela 12, as estatísticas descritivas das variáveis dependentes e independentes. Estes dados formam um bom retrato da porção da metrópole que estamos estudando.

A média do índice de espraiamento é inferior à média da totalidade da área urbanizada (131), indicando como a nova ocupação urbana é menos compacta que a consolidada. Com relação à variável distância até a Sé, cabe notar a distância mínima baixa, de 3,1 km, o que indica que o crescimento urbano preencheu vazios urbanos, uma vez que a fronteira da metrópole está muito além dessa distância. Notamos que o valor da média da densidade de empregos é bastante baixo. Como os empregos se concentram em apenas algumas zonas, muitas apresentam número nulo de empregos, ou número muito baixo. Isto explica por que a média dessa densidade é baixa. Com relação às viagens por modo, vale notar como em número as viagens por modo individual são inferiores às de modo coletivo e a pé. Assim como vale notar a superioridade do número de viagens a pé. Já com relação à média de automóveis por

domicílio, cabe notar como a média dessa variável e seu máximo são inferiores aos de toda a cidade, que apresenta média de 0,72 e máximo de 9 automóveis por domicílio.

TABELA 12
Estatísticas descritivas das variáveis dependentes e independentes

	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
Índice de espraiamento	225	92	8	400
Distância à Sé (km)	27,20	11,06	3,10	88,65
Densidade de empregos (km ²)	11,29	13,74	0,01	202.312
Viagens produzidas por modo coletivo	35.629	31.312	289	144.496
Viagens produzidas por modo individual	28.241	35.672	20	215.202
Viagens produzidas por modo a pé	55.982	61.006	57	272.776
Média de automóveis por domicílio	0,57	0,23	0,20	2,31
Renda média do responsável (reais de julho de 2000)	703	979	34	16.480
Densidade de domicílios (domicílios/km ²)	2.760	6.499	0	204.639
% de domicílios abastecidos com água da rede geral	82,0	31,6	0	100
% de domicílios com esgotamento sanitário via rede geral	49,8	40,3	0	100

Setores censitários subnormais: 9,55% do total

O bloco das variáveis seguintes na tabela é proveniente do Censo Demográfico de 2000. Com relação à renda média do responsável pelo domicílio notamos que a amplitude é maior que o valor dos desvios-padrão. Além disso, a mediana dessa variável (496) é bem menor que sua média (703). Já a renda do responsável para todos os setores censitários da RMSP apresenta média de 1.161, mediana 726 e máximo 18.876. Portanto, notamos como há indícios de concentração de renda nas classes de renda superiores, assim como se trata de uma população de menor renda que a média da RMSP.

Com relação à extensão da rede de água e esgoto, é curioso como a rede de esgoto cobre uma proporção muito menor de setores que a de água, além de ser muito inferior à média da RMSP, ao redor de 81%. Com relação à variável de setores censitários subnormais,¹⁷ cabe ressaltar que essa é uma variável *dummy* indicando se o setor é ou não subnormal, e que 9,55% dos setores em questão são subnormais, proporção muito semelhante à totalidade dos setores da RMSP, de 9,44%. Nelas encontramos a população de baixa renda: verificamos que a média da renda média mensal do responsável nos setores subnormais é de R\$ 332, bem menor que a da nossa amostra de setores (R\$ 703).

Enfim, este retrato é condizente com a descrição que fizemos previamente da periferia: um lugar muito denso, mas com poucos empregos e com infraestrutura

17. A definição de aglomerado subnormal do IBGE: "é o conjunto constituído por um mínimo de 51 domicílios, ocupando ou tendo ocupado, até período recente, terreno de propriedade alheia (pública ou particular), dispostos, em geral, de forma desordenada e densa, e carentes, em sua maioria, de serviços públicos essenciais".

urbana insuficiente. Viaja-se pouco de carro, pois a renda é abaixo da média. Mas a desigualdade de renda é grande, com alguns locais de alta renda (condomínios fechados).

Como estratégia de controle de endogeneidade optamos por seguir Burchfield *et al.* (2006), utilizando as medidas das características no período inicial como determinantes do índice de espraiamento do crescimento da área urbanizada. A escolha do período analisado foi feita com base na disponibilidade dos dados, pois somente tivemos acesso ao mapa de setores censitários do ano de 2000.¹⁸ Assim, utilizamos as informações das pesquisas OD de 1997 e do Censo Demográfico de 2000 como descritores do período inicial. Por outro lado, o período de crescimento da mancha urbana considerado foi o de 1998 a 2002. Devemos considerar o período de crescimento de 1998 a 2002 como suficientemente desconectado das condições iniciais do Censo de 2000. Isto enfraquece uma correlação direta entre o que aconteceu no período 1998-2002, com as características da área em 2000, viabilizando nossa estratégia de controle de endogeneidade.

Os resultados da regressão são apresentados na tabela 13. A escolha dos determinantes se confirmou como apropriada, pois somente duas variáveis não são estatisticamente significantes. Entre os determinantes foram encontrados aqueles que corroboram o modelo de cidade monocêntrica, e aqueles que não estão de acordo com as hipóteses desse modelo. Os determinantes em sintonia com o modelo de cidade monocêntrica podem ser divididos em dois blocos. O primeiro reunindo as variáveis mensurando a proximidade a centros ou subcentros (distância ao centro e as densidades). O segundo, relativo às variáveis de mobilidade urbana (aproximações dos custos de transporte). Já com relação a determinantes que não estão de acordo com as hipóteses do modelo de cidade monocêntrica temos um bloco de variáveis captando a heterogeneidade dos agentes (renda e característica subnormal do setor), além de um bloco de variáveis que captam a presença de infraestrutura (água e esgoto). Estas características não estão de acordo com a hipótese do modelo AMM que diz que o suporte físico da cidade deve ser espacialmente homogêneo em suas características. Em seguida comentamos os resultados de acordo com cada bloco de variáveis.

Com relação à proximidade de centros ou subcentros, a significância e o sinal do coeficiente da variável distância até a Sé confirmam o poder explicativo do modelo de cidade monocêntrica. Este é um resultado esperado, pois nosso índice de espraiamento é também uma medida de densidade que, segundo o modelo AMM, cai quanto maior a distância do centro de negócios. Além disso, esta regularidade empírica também é captada pela nossa estimação do gradiente de densidades apresentada anteriormente.

Já as variáveis densidade de empregos e densidade de população, com seus sinais positivos, podem ser interpretadas como indicando a coexistência da cidade monocêntrica com a policêntrica. O centro histórico permanece importante, mas existem outros subcentros também importantes. Por definição, centro é o local que possui maior concentração de empregos. Por sua atratividade, quanto menor a

18. Cujá fonte foi o centro de estudos da metrópole.

distância até ele, maior a densidade populacional. Assim, ambas as variáveis podem ser vistas como medindo a proximidade a subcentros, o que explica os impactos positivos no índice de espraiamento.

TABELA 13
Determinantes do índice de espraiamento do crescimento da mancha urbana entre 1998 e 2002

	Coefficiente	Estatística-t
Constante	183,63	24,94*
Distância à Sé	-1,98	-15,46*
Densidade de empregos	1,66	10,71*
Densidade de domicílios	1,20E-03	2,79*
Média de automóveis por domicílio	-15,30	-2,19**
Viagens produzidas por modo coletivo	-2,25E-04	-2,33*
Viagens produzidas por modo individual	-2,58E-05	-0,45
Viagens produzidas por modo a pé	2,20E-04	5,54*
Renda média do responsável	-1,94E-03	-1,58
Setor Censitário Subnormal	31,98	6,47*
% de domicílios abastecidos com água da rede geral	75,69	17,16*
% de domicílios com esgotamento sanitário via rede geral	29,38	7,54*
Número de observações	3.424	
$F(11, 3412)$	388,19	
Prob > F	0	
R^2	0,4985	

* Significante a 1%.

** Significante a 5%.

O bloco com variáveis relacionadas à mobilidade urbana das áreas com crescimento urbano também é analisado à luz do modelo AMM. Estas variáveis são fundamentais no contexto de nossa análise, pois o automóvel é causador de poluição atmosférica e congestionamentos, além de ser apontado como grande causador do espraiamento urbano em Glaeser e Kahn (2004), assim como em Burchfield *et al.* (2006).

No modelo AMM, mudanças nos custos de transportes têm impacto sobre a fronteira da cidade e a densidade. Ao se tratar do modelo de cidade fechada,¹⁹ um aumento nos custos marginais de transporte implica a fronteira da cidade mais próxima ao centro e rotação no sentido horário da função de densidade. Ou seja, no nosso caso, diminuiria o índice de espraiamento para o crescimento da mancha urbana.

19. Parece mais interessante considerar a metrópole de São Paulo como cidade fechada, pois pelo seu tamanho e importância a influência das demais cidades na utilidade de reserva dos seus habitantes pode ser desconsiderada.

Desta forma, é interessante que a variável “média de automóveis por domicílio” tenha um coeficiente negativo. Ela constata que de fato a possibilidade de se locomover em automóvel implica um crescimento urbano mais esparsa, como dizem as teorias em que o automóvel é o causador do espraiamento urbano. No contexto do modelo AMM, podemos considerar o modo de deslocamento via automóvel como mais custoso que os demais modos, justificando o impacto negativo no índice.

Em seguida, apresentamos os resultados para as variáveis que medem o total de viagens produzidas por modo de deslocamento. O total de viagens por modo individual não é significativo, apesar da significância da variável referente à média de automóveis por domicílio. Já as variáveis relativas aos deslocamentos via modo coletivo e a pé são significantes, passamos a interpretar seus coeficientes. Consideramos que o que diferencia o impacto desses modos de deslocamento é o custo de transporte. As viagens a pé são menos custosas, em termos monetários, que as viagens por modo coletivo. Portanto, justifica-se que o impacto dessa variável no índice de espraiamento seja positivo, enquanto a variável que mede o total de viagens do modo coletivo tem impacto negativo. Outra característica relativa às viagens por modo coletivo na RMSP é que as tarifas são únicas, não variam de acordo com o comprimento das viagens. Portanto, são um estímulo à ocupação de terras mais distantes, ainda atendidas por alguma linha de ônibus. Este fato ajuda a explicar que zonas onde se usa mais o transporte coletivo apresentem crescimento urbano menos compacto.

Deixamos de lado o arcabouço do modelo AMM, apresentando o impacto das variáveis que indicam a heterogeneidade dos habitantes na RMSP, quais sejam, a renda média do responsável e o fato de o setor ser subnormal ou não. A análise das estatísticas descritivas feita anteriormente nos mostra como estas variáveis indicam as duas possibilidades de ocupação da periferia identificadas na análise do histórico da cidade. Por um lado a população de menor renda, em busca de opções baratas de moradias, por outro a população de alta renda em busca de condomínios fechados. Devido às restrições orçamentárias, a ocupação da população de baixa renda é mais compacta que a da população de alta renda.

A *dummy* da subnormalidade indica o aumento de 32 unidades no índice de espraiamento. Esta variável sinaliza a ocupação do solo de forma ilegal, sem deixar espaçamentos mínimos entre as edificações. Favelas, por definição, são muito densas. O sinal da variável de renda é coerente com a hipótese de ocupação menos compacta (índice de espraiamento baixo) das populações de maior renda em condomínios fechados. No entanto, essa variável não é estatisticamente significativa, portanto, não podemos confirmar empiricamente a conexão entre alta renda e ocupação menos densa da área urbana.

Entrando na interpretação das variáveis que medem a rede de infraestrutura urbana de abastecimento de água e rede de esgoto, vemos que ambas variáveis possuem um impacto positivo no índice. Um aumento de 100% de domicílios atendidos por rede de água aumenta o índice em 75 pontos, enquanto um aumento de 100% na rede de esgoto aumenta o índice em 29 pontos. Como esse impacto ocorre a partir de condições iniciais sobre o crescimento urbano, isso significa que lugares com maior provisão de infraestrutura atraem crescimento mais compacto do

que lugares com menor infraestrutura. Como vimos na teoria, a urbanização de zonas mais afastadas da cidade implica custos de infraestrutura que serão bancados pelos contribuintes da cidade inteira. Este impacto também pode ser interpretado à luz dos resultados do modelo de Henderson e Mitra (1996), o qual também menciona que menores custos de infraestrutura estimulam a urbanização, no seu caso, sob a forma de novos centros de emprego.

9 CONCLUSÃO

A partir da nossa definição de espraiamento urbano – a área urbanizada cada vez menos concentrada, menos densa e com mais vazios urbanos –, elencamos os principais resultados da análise, para concluir se houve ou não espraiamento urbano na RMSP. Complementarmente, retomamos os principais esclarecimentos com relação aos seus determinantes, que nos permitem explorar os vínculos com os problemas urbanos que nos serviram de motivação: os congestionamentos, a vulnerabilidade ambiental e a desigualdade socioespacial.

Com relação à densidade média da totalidade da RMSP, verificamos que esta apresentou uma trajetória de alta, caindo somente no período de 1997 a 2002. A análise das densidades médias das zonas OD indica a queda da densidade populacional no período 1997 a 2007. Por outro lado, a análise dos gradientes de densidade indicou uma tendência à desconcentração tanto de população quanto de empregos. Não medimos a densidade média exclusivamente das franjas onde houve crescimento urbano, mas a análise da média dos índices de espraiamento urbano passa a cair somente a partir do período 1981 a 1985 e daí em diante. Portanto, podemos concluir que houve espraiamento urbano na RMSP, porém não em todo o período estudado (1962 a 2002), mas apenas no crescimento urbano mais recente.

Passando para as causas do espraiamento, encontramos mais uma vez fatores corroborando o modelo de cidade monocêntrica, com análises interessantes relativas aos custos de transporte de diferentes modalidades de deslocamento. Também se destaca a inserção das causas do espraiamento no contexto da periferização da população pobre e a opção das classes altas por condomínios fechados. Os determinantes encontrados e a análise de seu impacto indicam que esse fenômeno acontece principalmente a partir da ocupação do espaço urbano pelas classes de renda inferiores. A análise da provisão de infraestrutura para essa periferia de qualidade de vida precária coloca o poder público num círculo vicioso – pois quanto maior é a disponibilidade de infraestrutura, também maior é o “espalhamento” da área urbanizada.

Estas conclusões mostram a urgência de alternativas habitacionais populares na parte já consolidada da cidade. Nesses lugares os investimentos em equipamentos públicos e infraestrutura já estão feitos, há menos necessidade de automóveis, que causam congestionamentos, e assim evita-se o uso de áreas de cobertura vegetal nativa que deveriam ser preservadas.

REFERÊNCIAS

- ARNOTT, R. Economic Theory and Housing. In: MILLS, E. (Ed.). *Handbook of regional and urban economics: urban economics*. Amsterdam: North Holland, 1987. v. 2, cap. 24.
- ALONSO, W. *Location and land use*. Cambridge: Harvard University Press, 1964.
- ANAS, A.; ARNOTT, R.; SMALL, K. Urban spatial structure. *Journal of Economic Literature*, v. 36, p. 1426-1464, 1998.
- BICKENBACH, F.; BODE, E. Evaluating the Markov property in studies of economic convergence. *International Regional Science Review*, v. 26, n.3, p. 363-392, 2003.
- BIDERMAN, C. *Forças de atração e expulsão na Grande São Paulo*. Tese (Doutorado) – Escola de Administração de São Paulo (EAESP) da Fundação Getulio Vargas (FGV), São Paulo, 2001.
- BRUECKNER, J. The structure of urban equilibria: A unified treatment of the muth-mills model. In: MILLS, E. (Ed.). *Handbook of regional and urban economics: urban economics*. Amsterdam: North Holland, 1987. v. 2, cap. 20.
- _____. Urban sprawl: diagnosis and remedies. *International Regional Science Review*, v. 23, n. 2, p. 160-171, 2000.
- BURCHFIELD, M.; OVERMAN, H.; PUGA, D.; TURNER, M. Causes of sprawl: a portrait from space. *Quarterly Journal of Economics*, v. 121, n. 2, p. 587-633, 2006.
- CAPOZZA, D.; HELSLEY, R. The stochastic city. *Journal of Urban Economics*, v. 28, p. 187-208, 1990.
- DIPASQUALE, D.; WHEATON, W. *Urban economics and real estate*. New Jersey: Prentice Hall, 1996
- FUJITA, M. *Urban economic theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- _____.; OGAWA, H. Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations. *Regional Science and Urban Economics*, v. 12, p. 161-196, 1982.
- GALSTER, G.; HANSON, R.; RATCLIFFE, M.; WOLMAN, H.; COLEMAN, S.; FREIHAGE, J. Wrestling sprawl to the ground: defining and measuring an elusive concept. *Housing Policy Debate*, v. 12, n. 4, p. 681-717, 2001.
- GLAESER, E.; KAHN, M. Sprawl and urban growth. In: HENDERSON, H.; THISSE, J. (Ed.). *Handbook of regional and urban economics*. Amsterdam: North Holland, 2004. v. 4, cap. 56.
- HENDERSON, V.; Optimum city size: the external diseconomy question. *Journal of Political Economy*, v. 82, n. 2, p. 373-388, 1974.
- _____.; MITRA, A. The new urban landscape. *Regional Science and Urban Economics*, v. 26, p. 613-643, 1996.
- KNAAP, G.; TALEN, E. New urbanism and smart growth: a few words from the academy. *International Regional Science Review*, v. 28, n. 2, p. 107-118, 2005.

- MARICATO, E. Moradia social e meio ambiente. *Sinopses* (FAU-USP), n. 35, p. 54-69, 2001.
- MCMILLEN, D.; MCDONALD, F. A Markov chain model of zoning change. *Journal of Urban Economics*, v. 30, n. 2, p. 257-270, 1991.
- MEYER, R.; GROSTEIN, M.; BIDERMAN, C. *São Paulo metrópole*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo – Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004.
- MILLS, E. An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area. *American Economic Review*, v. 57, p. 197-210, 1967.
- _____. *Studies in the structure of the urban economy*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1972.
- MUTH, R. *Cities and housing*. Chicago: University of Chicago Press, 1969.
- PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. *Atlas Ambiental do Município de São Paulo*. São Paulo: Secretaria Municipal do Meio Ambiente Secretaria Municipal de Planejamento Urbano, 2002.
- QUAH, D. Empirics for economic growth and convergence. *European Economic Review*, v. 40, n. 6, p. 1353-1375, 1996.
- THEIL, H. *Statistical decomposition analysis*. Amsterdam: North Holland, 1972.
- TITMAN, S. Urban land prices under uncertainty. *American Economic Review*, v. 75, n. 3, p. 505-514, 1985.
- TURNER, W. A simple theory of smart growth and sprawl. *Journal of Urban Economics*, v. 61, p. 21-44, 2007.
- VON THÜNEN, J. H. *Der isolierte staat in beziehung auf landwirtschaft und nationalökonomie*. Hamburgo: F. Perthes, 1826.
- WENG, Q. Land use change analysis in the Zhukiang delta of China using satellite remote sensing GIS and stochastic modeling. *Journal of Environmental Management*, v. 64, p. 273-284, 2002.
- WHEATON, W. Commuting, congestion, and employment dispersal in cities with mixed land use. *Journal of Urban Economic*, v. 55, p. 417-438, 2004.

APÊNDICE

FIGURA A.1
Municípios da RMSP – 2000

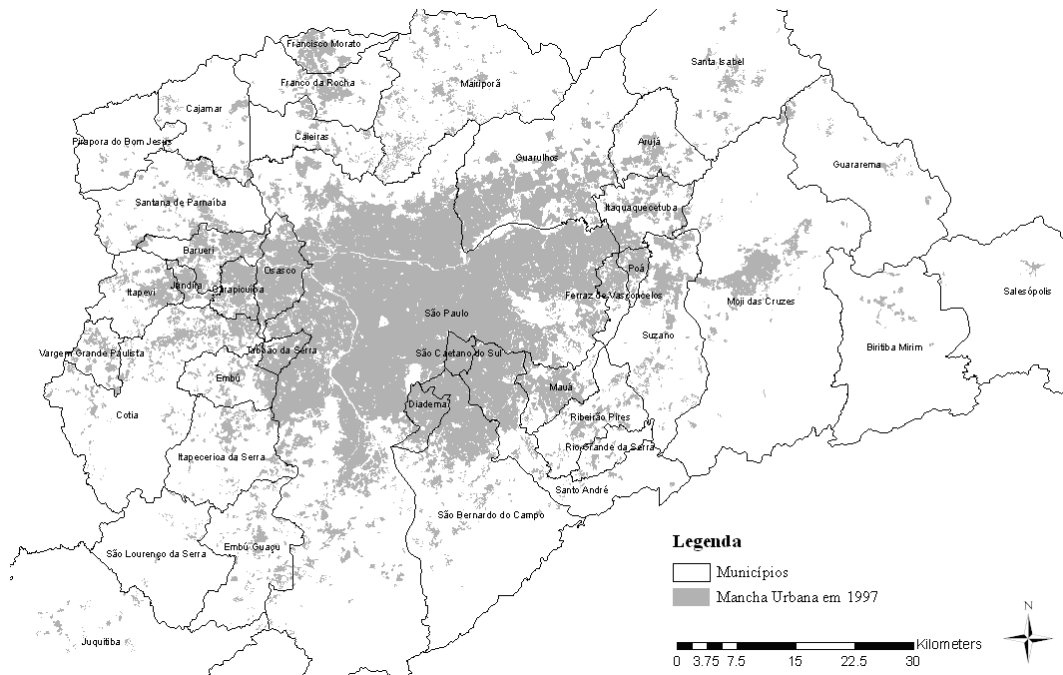
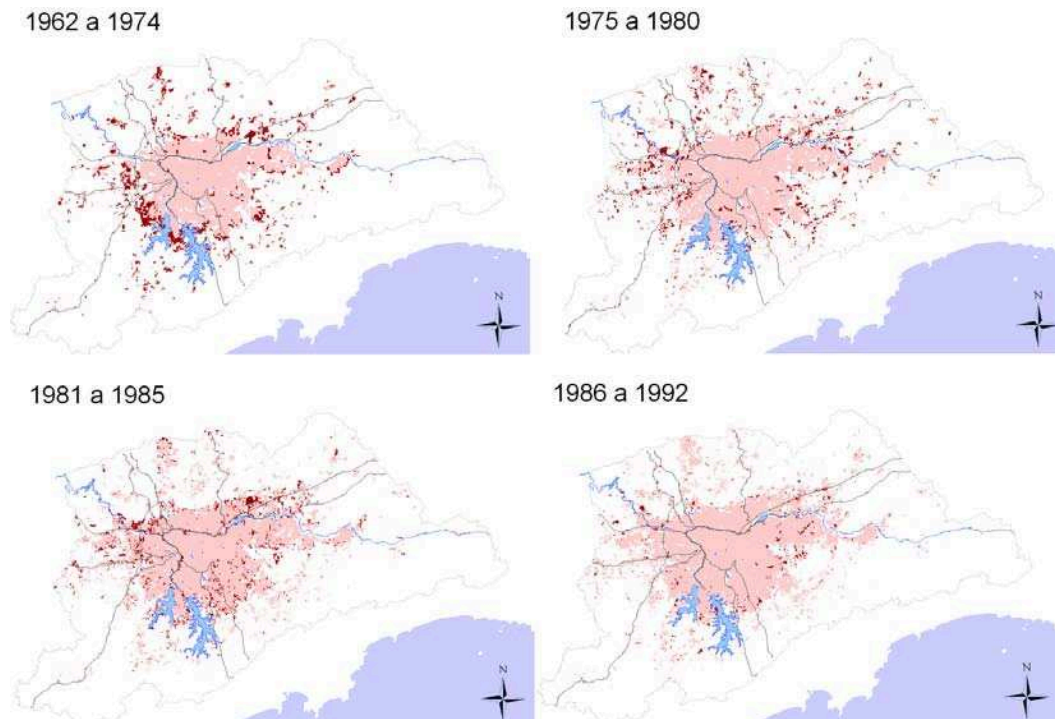


FIGURA A.2
Evolução da área urbanizada da RMSP



EDITORIAL

Coordenação

Iranilde Rego

Supervisão

Andrea Bossle de Abreu

Revisão

Lucia Duarte Moreira

Eliezer Moreira

Elisabete de Carvalho Soares

Fabiana da Silva Matos

Míriam Nunes da Fonseca

Roberta da Costa de Sousa

Editoração

Roberto das Chagas Campos

Aeromilson Mesquita

Camila Guimarães Simas

Carlos Henrique Santos Vianna

Aline Cristine Torres da Silva Martins (estagiária)

Livraria do Ipea

SBS – Quadra 1 – Bloco J – Ed. BNDES, Térreo

70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 3315-5336

Correio eletrônico: livraria@ipea.gov.br

Tiragem: 130 exemplares