

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS DE SÃO PAULO

FREDERICO ROMAN RAMOS

**TRÊS ENSAIOS SOBRE A ESTRUTURA ESPACIAL URBANA EM
CIDADES DO BRASIL CONTEMPORÂNEO:**
economia urbana e geoinformação na construção de novos olhares

SÃO PAULO
2014

FREDERICO ROMAN RAMOS

**TRÊS ENSAIOS SOBRE A ESTRUTURA ESPACIAL URBANA EM
CIDADES DO BRASIL CONTEMPORÂNEO:**
economia urbana e geoinformação na construção de novos olhares

Tese apresentada à Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, como requisito para obtenção do título de Doutor em Administração Pública e Governo.

Campo do conhecimento:
Economia Urbana e Urbanismo

Orientador: Prof. Dr. Ciro Biderman

SÃO PAULO
2014

Ramos, Frederico Roman.

Três ensaios sobre a estrutura espacial urbana em cidades do Brasil contemporâneo: economia urbana e geoinformação na construção de novos olhares / Frederico Roman Ramos – 2014.

177 f.

Orientador: Ciro Biderman

Tese (CDAPG) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo.

1. Economia urbana. 2. Segregação urbana. 3. Expansão territorial. 4. Concentração urbana. I. Biderman, Ciro. II. Tese (CDAPG) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo. III. Título.

CDU 711

FREDERICO ROMAN RAMOS

**TRÊS ENSAIOS SOBRE A ESTRUTURA ESPACIAL URBANA EM
CIDADES DO BRASIL CONTEMPORÂNEO:**
economia urbana e geoinformação na construção de novos olhares

Tese apresentada à Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, como requisito para obtenção do título de Doutor em Administração Pública e Governo.

Campo do conhecimento:
Economia Urbana e Urbanismo

Data de aprovação:
21/02/2014

Banca Examinadora

Prof. Dr. Ciro Biderman (Orientador)
FGV-EAESP

Prof. Dr. George Avelino Filho
FGV-EAESP

Prof. Dr. Sérgio Pinheiro Firpo
FGV-EESP

Prof. Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro
INPE

Profa. Dra. Ana Paula Vidal Bastos
UFPA

Este trabalho é dedicado à minha querida esposa, Femke, aos meus amados filhos, Xavier e Frida, e aos meus pais, Mari e Edson.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio incondicional durante o período em que estive envolvido com esta pesquisa. Saber que estavam ao meu lado, mesmo nos momentos mais solitários, me deu forças para seguir adiante. Em vocês, encontrei a maior das inspirações.

Agradeço ao meu orientador, Professor Ciro Biderman, que sempre acreditou no meu potencial e me apoiou em todos os momentos desta caminhada. Obrigado pela confiança e amizade.

Agradeço ao Professor Antônio Miguel, incentivador e amigo de todas as horas que não deixou de acreditar em mim em nenhum momento desta caminhada, e antes dela até, e por sempre me lembrar de que podemos fazer a diferença para nossas cidades. Nunca esquecerei o que fez por mim.

Agradeço a todos os colegas do CEPESP, em especial ao Léo e ao Marcos Lopes, sempre dispostos a ajudar. Agradeço também ao Professor George Avelino pelo apoio e respeito que sempre demonstrou ao meu trabalho.

Agradeço às brilhantes amigas do INPE, Flávia, Carol e Ana Paula por terem me recebido diversas vezes para compartilhar generosamente seus conhecimentos e inteligência. Agradeço especialmente à Isabel que, além da constante disposição em ajudar e orientar meu trabalho, ajudou a coordenar o trabalho com os dados das cidades Amazônicas junto ao CRA-INPE. Agradeço também à equipe do CRA-INPE, em especial ao Rafael Terra e a Alessandra, que ajudaram na recomposição dos dados TerraClass utilizados nesta pesquisa.

Agradeço às professoras Ana Cláudia e Paula Bastos da UFPA que me ajudaram na leitura dos processos nas cidades paraenses de Marabá e Santarém. Agradeço também ao professor José Benatti, a Luly e ao Conduru por dividirem comigo seus conhecimentos sobre o mercado de terras no Pará e pelos comentários construtivos que fizeram ao meu trabalho.

Por fim, não posso deixar de agradecer o apoio recebido pelas agências financiadoras GVPesquisa e Capes que cobriram os custos com as mensalidades escolares durante minha permanência na Escola de Administração de Empresas de São Paulo da FGV. Agradecer ao Instituto Tecnológico da Vale e a Fundação Vale, financiadores do projeto UrbisAmazônia e a FUNCATE que o administra, pelo fundamental apoio financeiro ao desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço ainda ao Lincoln Institute of Land Police pelo apoio financeiro concedido para a finalização deste trabalho.

É indispensável porque, seja qual for a especulação do conhecimento, não há outro objeto final, para ele, do que constituir a tranquilidade e a mais clara e monumental realização da habitabilidade do planeta, que envolve as suas circunstâncias todas enquanto cidade: escolas, hospitais, transporte público, etc. Para não falar só de necessidades, é só aí, na cidade enquanto cenário, lugar, que podemos exhibir maravilhas do conhecimento. Podemos exhibir uma situação absolutamente humana, onde o êxito da técnica adquire um imenso valor estético. É isso que nos interessa fundamentalmente, fazer brilhar a nossa engenhosidade. Viver, assim, já de uma forma densa, como é desejável no que é chamado cidade, por exemplo, torna indispensável para a existência de edifícios verticais essa singela máquina que é o elevador, de trens e transporte público, e coisas extraordinárias que fazem com que nós possamos nos ver com certa dignidade absoluta no sentido de que só vivemos para tornarmo-nos cada vez mais possivelmente viventes; portanto água, geomorfologia, são as formas que fundamentalmente caracterizam o objeto de arquitetura.

Paulo Mendes da Rocha no Programa de Pós-graduação em Arquitetura da UFRGS em 27 de setembro de 2006.

RESUMO

Esta tese apresenta novas possibilidades metodológicas no campo do urbanismo através da aplicação de técnicas derivadas da ciência da geoinformação a luz das teorias de economia urbana. O trabalho está organizado em torno de três ensaios. Cada ensaio se dedica a apresentação e análise de uma questão específica identificada como relevante dentro das teorias da economia urbana no contexto de cidades brasileiras. O primeiro ensaio tem como objetivo investigar as relações que possam existir entre os processos de expansão urbana e a segregação socioespacial na cidade de São Paulo. Situando a discussão dentro de uma perspectiva de economia urbana, o ensaio parte do pressuposto de que ambos os processos estão relacionados às forças de mercado habitacional, incluindo suas falhas inerentes, que acabam por definir a distribuição dos grupos populacionais de acordo com suas características socioeconômicas. O estudo se debruça sobre uma questão central ao debate urbanístico atual que é a ocupação contínua das áreas de fronteira urbana e na forma como este processo impacta a estrutura urbana. O segundo capítulo traz o ensaio onde tratamos de analisar as questões relativas à distribuição dos empregos na cidade de São Paulo e suas consequências para os modelos de economia urbana baseados em gradientes de renda e valor da terra. O terceiro capítulo traz o ensaio no qual retomamos a discussão sobre os processos de expansão urbana, porém situando a discussão a partir de uma perspectiva dinâmica em cidades médias em rápido crescimento demográfico. Neste contexto, há o reconhecimento de que a composição dos preços da terra nas áreas limítrofes da mancha urbana sofre uma forte influência de expectativas de retornos levando a uma sobrevalorização do preço gerada por processos de retenção de terras. Em uma análise aplicada às cidades amazônicas de Marabá e Santarém, buscamos caracterizar em uma perspectiva comparativa os processos de conversão da terra em usos urbanos nas últimas três décadas. Incorporando a informação sobre os usos do solo anteriores a conversão para uso urbano, criamos uma escala de potencial de conversão relativo a cada uso. Partindo do pressuposto de que é possível estabelecer representações matemático-computacionais da estrutura urbana em sistemas de informação geográfica, o trabalho espera contribuir para a constituição dos territórios digitais como expressões quantitativas de conceitos sobre os diferentes processos ambientais e socioeconômicos que acabam por definir o ambiente urbano. Através destas representações, buscar inserir o território no centro das decisões políticas e econômicas que seguem continuamente conformando essas cidades e as condições objetivas de vida que elas propiciam.

Palavras-chave: Economia urbana, dispersão urbana, segregação socioespacial, policentralidade.

ABSTRACT

This thesis presents new methodological possibilities within the field of urbanism through the application of techniques derived from the Geoinformation Science within the urban economics theories framework. The work is organized in three essays. Each of them presents and analyses one relevant question of the urban economics theories for the specific context of the Brazilian contemporary cities. The objective of the first essay is to investigate the relation between the processes of urban sprawl and spatial segregation in the city of São Paulo. Establishing the discussion in the theories of urban economics, the essay is based on the assumption that both processes result from the operation of housing market, including its inherent failures that drives the distribution of the population groups according to the different social characteristics. The work focuses on the central issue of the continuous occupation of the fringes of the city and the consequences for the spatial urban structure. The second essay is dedicated to the investigation of the distribution of employment subcenters in the city of São Paulo and their relation with the land rent gradients. In the third essay, we are again interested in the process of urban sprawl, but here we introduce a dynamic perspective having the Amazonian fast growing medium size cities as examples. The objective is to investigate the impact of the expectations for the future enhancement of land values among the landholders and the impact in conversion for different land use in the urban fringes. Using remote sensing data, we compare the uses and land covers previously to the urban conversion identifying a scale of urban land use potential. The thesis is based on the assumption that is possible to establish mathematical-computational representation of the spatial urban structure with the use of geographical information systems, and aims to contribute to the constitution of digital territories as quantitative expressions of environmental and social concepts that define the urban structure. Through these representations, this thesis aims to contribute to the insertion of the territorial dimension on the political and economic decision making processes that continuously interfere in our cities and in the life conditions that they propitiate.

Keywords: Urban economics, urban sprawl, spatial segregation, polycentric urban structures.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Gradiente de renda da terra em função da distância ao centro principal para uma cidade com dois grupos populacionais com rendas diferentes.	25
Figura 2.2 - Esquema de macrossegregação da Região Metropolitana de São Paulo.....	39
Figura 2.3 - Resultado espacializado da percentagem de pixels de classe urbano na vizinhança definida a partir de um raio de 500 metros de cada pixel da classe urbana na imagem LANDSAT (Junho/2000).....	43
Figura 2.4 - Distribuição da população da RMSP em grupo de escolaridade e rendimento dos responsáveis pelos domicílios.....	45
Figura 2.5 - Índices de dissimilaridade local para grupos de renda (acima) e grupos de escolaridade (abaixo) por setor censitário da RMSP.....	48
Figura 2.6 - Índices de isolamento local para grupos de baixa renda (acima) e grupos de baixa escolaridade (abaixo) por setor censitário da RMSP.....	49
Figura 2.7 - Índices de isolamento local para grupos de alta renda (acima) e grupos de alta escolaridade (abaixo) por setor censitário da RMSP.....	50
Figura 2.8 - Perspectiva em vista de pássaro sobre o modelo numérico de terreno da RMSP gerado a partir dos dados da SRTM/NASA e sobreposição a mancha urbana.....	51
Figura 2.9 - Conjunto de setores selecionados para compor as amostras utilizadas no modelo econométrico.....	52
Figura 3.1 - Esquema de gradientes de renda da terra urbana com influência de dois centros competidores.....	63
Figura 3.2 - Esquema de gradientes de renda da terra urbana com influência um centro principal e um subcentro complementar.....	63
Figura 3.3 - Esquema do diagrama de espalhamento de Moran.....	74
Figura 3.4. Gráfico de espalhamento entre a densidade de empregos e a proporção de empregos em cada zona OD em relação ao total da RMSP.....	79
Figura 3.5 - Mapas temáticos construídos com as variáveis densidade de empregos (a), razão entre emprego e população (b) e densidade populacional (c) por zonas OD – 2007.....	82
Figura 3.6 - Mapas de espalhamento de Moran para a variável densidade de empregos por hectare (<i>demp</i>). Nível de significância estatística por pseudo-distribuição aleatória (9999 permutações): a)95%; b)99%; c)99,9%.....	83
Figura 3.7 - Mapas de espalhamento de Moran para a variável total de empregos (<i>emp</i>). Nível de significância estatística por pseudo-distribuição aleatória (9999 permutações): a)95%; b)99%; c)99,9%.....	84
Figura 3.8 - Mapas de espalhamento de Moran para a variável emprego por população (<i>emp/pop</i>). Nível de significância estatística por pseudo-distribuição aleatória (9999 permutações): a)95%; b)99%; c)99,9%.....	85
Figura 3.9 - Semivariograma experimental calculado para a variável densidade de empregos.....	87
Figura 3.10 - Superfície tridimensional de densidade de empregos gerada por regressão localmente ponderada.....	89
Figura 3.11 - Potenciais subcentros identificados a partir da replicação do primeiro estágio da metodologia proposta em McMillen (2001).....	90
Figura 3.12 - Potenciais subcentros identificados a partir da metodologia proposta em único estágio com variável de perturbação incluída no modelo.....	92
Figura 4.1 - Renda da terra interna e externa a área urbana.....	100

Figura 4.2 - Preços da terra interna e externa a área urbana em perspectiva dinâmica.....	101
Figura 4.3 - Taxa média geométrica de crescimento demográfico anual entre 2000 e 2010.....	104
Figura 4.4. Ilustração sobre os contextos de classificação de pixels do tipo <i>construído</i> (cinza escuro).....	111
Figura 4.5. Grade regular em espaço cartesiano com origem no centro da aglomeração urbana.....	112
Figura 4.6 - Distribuição das classes de pixels "urbano" para Santarém.....	119
Figura 4.7 - Distribuição das classes de expansão urbana para Santarém.....	119
Figura 4.8 - Distribuição das classes de pixels "urbano" para Marabá.....	121
Figura 4.9 - Distribuição das classes de expansão urbana para Marabá.....	121
Figura 4.10 - Usos em áreas de expansão de Santarém.....	123
Figura 4.11 - Usos em áreas de expansão de Marabá.....	124
Figura 4.12 - Gradientes por área de classe calculados por usos e coberturas no espaço celular.....	125
Figura 4.13 - Gradientes por área de classe calculados por usos e coberturas no espaço celular.....	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Resultados obtidos para regressão por <i>OLS</i> para os diferentes conjuntos amostrais.....	54
Tabela 2.2 – Resultados obtidos no primeiro estágio da regressão <i>2SLS</i>	55
Tabela 2.3 – Resultados obtidos para regressão por <i>2SLS</i> para os diferentes conjuntos amostrais	56
Tabela 2.4 – Resultados obtidos para regressão por <i>2SLS</i> para os diferentes conjuntos amostrais com introdução de covariáveis.....	57
Tabela 3.1 - Quadro geral da Pesquisa OD de 2007 por Zonas Origem-Destino (ZOD) para a RMSP.....	78
Tabela 3.2 - Resultados obtidos na análise exploratória através dos indicadores de autocorrelação espacial global e local.....	87
Tabela 4.1 - Taxa média geométrica de crescimento demográfico anual de Marabá e Santarém.....	106
Tabela 4.2 - Descrição das imagens de satélite utilizadas no estudo de caso.....	115

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 DISPERSÃO URBANA E SEGREGAÇÃO SOCIOESPACIAL NA METRÓPOLE PAULISTANA.....	23
2.1 Dispersão urbana e segregação socioespacial: a estrutura urbana e seus processos constituintes.....	23
2.2 Medidas de dispersão urbana e segregação socioespacial.....	32
2.3 Dispersão urbana e segregação socioespacial na metrópole paulistana: uma abordagem empírica.....	37
2.3.1 Estratégia empírica.....	40
2.3.2 Materiais e métodos.....	40
2.3.3 Resultados obtidos.....	51
2.4 Conclusão.....	58
3 A ESTRUTURA ESPACIAL URBANA: IDENTIFICANDO SUBCENTROS DE EMPREGO NA RMSP.....	61
3.1 Subcentros de emprego: potenciais locais e consequências para a estrutura urbana.....	61
3.2 Estratégia empírica.....	72
3.2.1. Bases de dados utilizadas.....	77
3.2.2. Resultados.....	80
3.3. Conclusão.....	93
4 PERSPECTIVA DINÂMICA NA ANÁLISE DA ESTRUTURA ESPACIAL URBANA EM CIDADES DE RÁPIDO CRESCIMENTO.....	96
4.1 Crescimento urbano e valorização fundiária: uma perspectiva dinâmica.....	96
4.2 Estudo de caso: cidades médias em rápida expansão na Amazônia.....	103
4.2.1 Contextualização.....	103
4.2.2 Metodologia.....	108
4.2.3 Dados utilizados e procedimentos.....	114
4.2.4 Resultados.....	118
4.3. Conclusão.....	126
5 CONCLUSÃO.....	128
REFERÊNCIAS.....	132
APÊNDICE A – Imagens de satélite, espaços celulares e gradientes de paisagem processados para o estudo em Santarém e Marabá.....	141

APRESENTAÇÃO

Este trabalho nasce de uma inquietação que me acompanha desde os tempos em que eu frequentava as aulas de história do urbanismo e de planejamento urbano durante minha graduação em arquitetura e urbanismo na FAU. Reconheci naquele momento a importância das cidades como a mais relevante das invenções humanas. Passei a olhá-las com uma curiosidade constante. Buscava ultrapassar a visão que me acompanhava desde a infância, como urbanita nato, da cidade como uma mera paisagem megalográfica para a cidade como experiência vivenciada. Intrigava-me a enorme diversidade de tipos humanos habitando e interagindo na cidade e a maneira como o espaço natural havia sido transformado para dar abrigo a estas interações. Nas aulas de história, apresentavam-nos imagens de cidades antigas e tentava imaginar os tipos humanos que nelas viviam e como interagiam. Ocorriam-me questões como: quem eram aquelas pessoas e por que estavam reunidas naquelas cidades? Por que elas se localizavam naquele determinado local e não em outro qualquer? Por que as cidades foram construídas daquela maneira?

Nas aulas de planejamento urbano, aprendia a reconhecer as funções urbanas e suas espacialidades. Talvez partindo ainda de um referencial demasiadamente vinculado a Carta de Atenas¹, decompúnhamos a cidade em subsistemas de habitação, trabalho, lazer e circulação. Ensinavam-nos a "ler" o espaço. Debruçávamo-nos sobre cartas e mapas buscando compreender a estrutura espacial de cidades e bairros através de uma interminável sequência de esquemas traçados em papel translúcido sobreposto ao material cartográfico. Com isso desenvolvemos uma sensibilidade espacial. Da mesma forma como aprendemos a linguagem do desenho para expressar nossas ideias, aprendemos que o espaço era nosso campo de atuação, nossa matéria-prima. Apesar de todos os conhecimentos adquiridos naqueles anos, as mesmas perguntas seguiam sem respostas para mim.

Durante os primeiros anos de atuação profissional, não atuei no campo de urbanismo e planejamento urbano. Entretanto, meu interesse no campo permanecia inalterado. Queria contribuir profissionalmente na compreensão e melhoria do habitat urbano em que vivia, porém não tinha claro quais os canais e possibilidades me levariam a consecução deste

¹A Carta de Atenas é um manifesto assinado por arquitetos e urbanistas no início do séc. XX como conclusão do CIAM - Congresso Internacional de Arquitetos de 1931 e que influenciou a arquitetura e urbanismo modernista.

objetivo. Esta situação me levou a buscar outras possibilidades quando decidi cursar uma especialização em urbanismo de grande escala na Universidade Politécnica da Catalunha, na icônica cidade de Barcelona. A vivência cotidiana naquela cidade e o aprendizado obtido durante o curso levaram-me a conclusão de que seriam necessários outros instrumentos na atuação do urbanista para além daqueles apresentados e adquiridos durante minha graduação.

Quando retornei ao Brasil, a inquietude se intensificava na medida em que reconhecia mais claramente a crise urbana por aqui instalada. O cenário era de grandes cidades ambientalmente degradadas, profundamente cindidas entre territórios de exclusão e inclusão social. Complexas estruturas ambientais que se colocavam diante de nós desafiando nossa capacidade de análise. Seduzido pelas imagens de satélites que apresentavam estas fascinantes estruturas sob uma perspectiva inédita para mim, decidi me aprofundar no conhecimento técnico específico do sensoriamento remoto. Tinha a intuição de que ao olhar as cidades a partir destas imagens poderia entender melhor suas partes e seu todo transitando de uma perspectiva próxima a uma distante em um mesmo ambiente analítico.

Ingressei então no mestrado em sensoriamento remoto no INPE². Minha intuição era válida, porém imprecisa. Durante minha formação em sensoriamento remoto, aprendi que aquelas imagens que me seduziam eram apenas um produto acabado de um processo analítico muito mais abrangente e poderoso. Tratava-se de um amplo conjunto de conhecimento que nos apresentavam como a Ciência da Geoinformação. Incluíam-se reunidas sob esta definição diversas disciplinas que estruturavam os conhecimentos necessários para estabelecer representações computacionais do espaço geográfico. Profissionais de diversos campos disciplinares integravam nossa turma de pós-graduação. Tive o privilégio de interagir com geólogos, ecólogos, geógrafos, físicos, oceanógrafos, engenheiros agrônomos, engenheiros cartógrafos, engenheiros de computação, todos reunidos em torno do objetivo comum de representar o espaço em sistemas informatizados através de técnicas matemáticas e computacionais. O espaço geográfico tinha para cada um seu significado específico ao mesmo tempo em que era nosso denominador comum.

A formação adquirida neste período alterou profundamente minha forma de estabelecer estratégias analíticas sobre meu objeto de interesse: as cidades. Tinha agora um repertório de

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

técnicas de análise espacial que ampliava as possibilidades de utilização das informações geográficas para além do exercício baseado em interpretações de conjunto de materiais cartográficos no sentido mais tradicional como havíamos sido formados na graduação. A consciência da natureza matemática das representações computacionais do espaço permitia que modelássemos e operássemos as diversas camadas de informação geográfica gerando novos conjuntos de informação impossíveis de serem produzidos de outra forma.

O trabalho que ora apresento situa-se neste contexto que brevemente expus. Entretanto, este conhecimento instrumental adquirido, para ser vantajoso, deve necessariamente ser aplicado à luz de teorias e conceitos pertinentes ao objeto de análise em questão. Neste ponto, retomo minhas antigas e ainda válidas interrogações sobre as cidades. Se o papel do urbanista visa fundamentalmente à intervenção no espaço urbano, é preciso que ele reconheça os processos constituintes deste espaço. Entendo como necessário um exame aplicado sobre as teorias econômicas que fundamentam o debate sobre o mercado de terras urbanas dentro do campo do urbanismo.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta novas possibilidades metodológicas no campo do urbanismo através da aplicação de técnicas derivadas da ciência da geoinformação a luz das teorias de economia urbana. Tem, neste sentido, um caráter instrumental, na medida em que propõe e aplica métodos inovadores de investigação empírica de estruturas urbanas desenvolvidos na forma de três ensaios. Os estudos buscam apontar as atuais possibilidades de tratamento de informação espacial em sistemas de informação geográfica em aplicações desta natureza. Cada ensaio se dedica a apresentação e análise de uma questão específica identificada como relevante dentro das teorias da economia urbana no contexto de cidades brasileiras.

Na última década, observou-se no Brasil um forte movimento de valorização de terra urbana. Isto tem aprofundado a disputa por localizações no espaço urbano, e por consequência, promovido alterações nas estruturas espaciais intraurbanas nas cidades em diversas regiões do país. O entendimento de como estes movimentos se processam passa pela capacidade de formulação de hipóteses derivadas de um referencial conceitual que, sob meu ponto de vista, merece ser aprofundado na produção acadêmica brasileira.

O que se reconhece como padrão socialmente excludente de nossas cidades tem sua origem no modelo de mercado que não foi capaz de articular as lógicas da regulação urbanística e a lógica da necessidade que motivaram a organização e instrumentalização social que resultaram em formas de coordenação individual/coletiva de ocupação do solo urbano (ABRAMO, 2007). O mercado imobiliário é frequentemente tido como instrumento na conformação de vizinhanças e comunidades com significativo grau de homogeneidade interna, atuando diretamente nos processos de substituição de moradores através de transações atomizadas de imóveis usados ou na conversão de usos de solo em novas incorporações. Ainda que por justificativas diversas, tal reconhecimento se dá tanto nas abordagens econômicas neoclássicas quanto nas clássico-marxistas operando, por um lado, através da "soberania do consumidor" e, por outro, pela "lógica do capital" (SMOLKA, 1992). Observado sob uma perspectiva dinâmica, este processo de substituições, permanências e assentamentos implica em transformações na estrutura espacial das cidades que podem ser gradativas ou abruptas em função das condições macroeconômicas combinadas com circunstâncias locais. Qualquer que seja o modo, interferem nas regularidades e irregularidades das estruturas urbanas no que se refere especificamente ao grau de

concentração espacial da população urbana e seus empregos (ANAS; ARNOTT; SMALL, 1998). Estas irregularidades estão relacionadas à forma como a cidade se expande no processo de conversão de novos terrenos em usos urbanos com o desenvolvimento de edificações e infraestruturas. Além disso, internamente, está relacionada também ao padrão de segregação socioespacial resultante do processo de ocupação contínua, ou melhor, da forma como diferentes grupos sociais se assentam no espaço construído relativamente uns aos outros.

O modelo monocêntrico inicialmente formulado por Alonso (1964) e suas variações sequenciais introduzidas por Mills (1967) e Muth (1969) prevalece por décadas como a mais influente representação da estrutura espacial urbana dentro da literatura sobre economia urbana. O modelo se baseia em uma cidade hipotética, onde todos os empregos localizam-se em um ponto central da cidade, para o qual todos os moradores devem se deslocar cotidianamente. Assumindo que todos os moradores são racionais e buscam maximizar suas funções de utilidades face sua restrição orçamentária, decidirão suas localizações frente às despesas que terão com o custo do deslocamento ao trabalho e aos gastos com o consumo do imóvel. Esta relação pode ser esquematicamente representada através de uma função decrescente com origem no ponto central da cidade, na qual sua inclinação depende basicamente do custo marginal de deslocamento (transporte) e do tamanho do lote. Esta relação é usualmente apresentada na forma de um **gradiente de renda da terra**. A intuição fundamental contida nesta construção é que consumidores vivendo longe do centro terão maiores custos com transporte e devem ser compensados de alguma forma, pois do contrário todos viveriam próximo ao centro. Esta compensação se dá na forma de um preço menor por metro quadrado.

O arcabouço analítico propiciado por este modelo permite que sejam relacionados diversos aspectos da estrutura espacial intraurbana em uma perspectiva sistêmica, e não isolada como são comumente analisados os processos de expansão e dispersão urbana, segregação socioespacial, valorização do preço da terra e variações nas densidades populacionais. Este modelo é o fato estilizado mais simples e operacional da estrutura espacial urbana. Entretanto, a concepção baseada em um único centro de negócios pode ser rompida sem que haja prejuízo das relações estabelecidas entre renda da terra e custos de transporte como já demonstrado em diversos trabalhos (FUJITA; OGAWA, 1982).

Ainda que o modelo permaneça atual até os dias de hoje como um referencial de grande influência, trata-se basicamente de um modelo de equilíbrio geral, e como tal assume condições que simplesmente não aderem aos contextos espaciais que dominam a análise das cidades. Tal desacoplamento não chega a invalidar sua aplicabilidade na medida em que se podem atribuir razões distintas para seu mérito, entretanto, impõe àqueles que nele se apoiam, a necessidade de estabelecer claramente os limites e alcances das conclusões dele derivadas. Segundo Arnott (2012, p.67), as principais virtudes do modelo são: primeiro, ele propicia uma concepção geral integrada da estrutura urbana, incorporando e relacionando efeitos de políticas de uso do solo, transporte e habitação de forma sistêmica; segundo, o modelo tem derivado resultados extremamente ricos e diversificados na medida em que se situa no limite preciso entre a trivialidade e a intratabilidade, qualidade necessária aos bons modelos; terceiro, como um modelo de equilíbrio geral, permite simular efeitos de políticas sobre diferentes grupos populacionais considerando os canais sobre os quais cada iniciativa afeta as diferentes utilidades; e quarto, tem alcançado relativo sucesso em análises empíricas explicando diversos padrões observados em cidades reais.

Em relação às críticas e limitações do modelo, muitas derivam das condições altamente restritivas que ele assume. Porém, nas cidades reais, invariavelmente nos confrontamos com estas condições nada excepcionais. Entre as mais problemáticas estão a ausência de retornos incrementais de escala na produção, o que de certa forma coloca em xeque a própria noção derivada das forças de aglomeração que regem a concentração das atividades em cidades; a desconsideração do efeito de externalidades, porém não há como negar que em aglomerações urbanas não incidam externalidades negativas como congestionamentos e poluição; a incapacidade de tratamento dos bens públicos coletivos, presente em uma série de atributos que compõe o espaço urbano como serviços públicos e infraestrutura de comunicações. (ARNOTT, 2012, p.53). Para Richardson (1978), a falta de capacidade de superar estas condicionantes restritivas foi um dos motivos pelo qual a economia seguiu por décadas negligenciando este campo de estudo. Para ele, dificilmente a análise econômica convencional é capaz de revelar a complexidade da grande cidade, crivada de externalidades e “excrescências” que inviabilizam a abordagem a partir do marginalismo neoclássico. Tal visão é compartilhada por Krugman (1998) para o qual, a tardia introdução da dimensão espacial no *mainstream* da análise econômica é consequência da evolução de modelos hoje capazes de lidar com cenários de competição imperfeita tornando possível, portanto, analisar processos marcados pela presença de economias de escala com retornos crescentes. Nesta

perspectiva, a estrutura espacial intraurbana pode ser analisada como resultado da atuação de forças centrífugas e centrípetas, ou de *atração* e *repulsão* que acabam por definir a disputa por localizações de firmas e das residências através do espaço intraurbano (KRUGMAN, 1998; FUJITA; KRUGMAN; VENABLES, 1999).

No que se refere à aplicabilidade destes modelos para contextos urbanos nos chamados países em desenvolvimento, os modelos canônicos de economia urbana neoclássica assumem condições ainda mais restritivas. Dentre as mais problemáticas estão aquelas em que todos os proprietários observam as normas e regulações urbanísticas, requerem autorizações legal para alterações no uso da terra, pagam os encargos fiscais da propriedade e onde as transações são todas realizadas sob regimes contratuais formais. Ademais, esses modelos assumem que a terra urbana é totalmente servida de infraestrutura no momento em que são ocupadas e as construções estão finalizadas (SMOLKA; BIDERMAN, 2012). A questão então que se coloca é a aplicabilidade deste arcabouço teórico em contextos como o brasileiro. Neste sentido, apoio-me na visão preconizada por Smolka e Biderman (2012) na qual a massiva informalidade presente nas cidades destes países deve ser encarada não como um mero problema de pobreza urbana, os assentamentos informais coexistem lado a lado a assentamentos formais e há uma interdependência estrutural no funcionamento do mercado de terras que regem as transações em ambos os casos. Ao colocarmo-nos nesta perspectiva, entendemos como válida a aplicabilidade destes modelos. Eles contribuem para a compreensão das inter-relações existentes nos processos de ocupação e uso do solo com determinantes derivados de políticas públicas que ultrapassam o escopo tradicional da atuação do planejamento urbano de regulação de usos e coeficientes de aproveitamento. Níveis de acessibilidade, custos de transporte público e políticas de taxaço de uso da terra são exemplos de variáveis que devem ser consideradas de forma sistêmica quando da definição de estratégias de planejamento urbano e que podem ser incorporadas a estes modelos.

A discussão que se coloca não é quanto à aplicação ou não deste arcabouço teórico, mas em como usá-lo na construção das representações das estruturas urbanas e no processo analítico. Da mesma forma que a utilização das técnicas e metodologias derivadas do campo da Geoinformação, a delimitação criteriosa da aplicação no campo da economia regional e urbana é requisito fundamental para o sucesso ou fracasso do processo e das possíveis proposições dele derivadas na perspectiva do planejamento urbano. Se a atuação do urbanista

visa fundamentalmente a intervenção no espaço urbano, saber reconhecer estas possibilidades representa, a meu ver, um ganho significativo no repertório do urbanista.

Parte-se do pressuposto que é possível estabelecer representações matemático-computacionais destes conceitos através de estratégias de representação capazes de relacionar a parte e o todo urbano em sistemas de informação geográfica. Neste sentido, o trabalho espera contribuir para a constituição dos territórios digitais (RAMOS; CÂMARA; MONTEIRO, 2007), expressões quantitativas de conceitos sobre os diferentes processos ambientais e socioeconômicos que acabam por definir o ambiente urbano. Através destas representações, buscar inserir o território no centro das decisões políticas e econômicas que seguem continuamente conformando essas cidades e as condições objetivas de vida que elas propiciam.

A utilização de modelos quantitativos vem crescendo na mesma intensidade em que cresce a disponibilidade de dados georreferenciados em níveis cada vez mais próximos a escala do indivíduo. Acredito, como preconiza Michael Batty (2011), que estamos diante do desafio de construção de uma nova Ciência das Cidades, um novo campo de conhecimento onde convergirão diferentes campos disciplinares que serão operados a partir de teorias de sistemas complexos baseados em grandes conjuntos de dados e metodologias computacionalmente intensivas hoje acessíveis para seu tratamento. Assim, as teorias derivadas da economia urbana, planejamento de transportes, sociologia, entre outras serão as bases para a constituição desta nova abordagem verdadeiramente transdisciplinar. "Neste contexto, os modelos serão aplicados cada vez mais para 'informar' do que 'predizer' orientando as decisões no campo das políticas públicas" (BATTY, 2011 p.13).

O trabalho está organizado em torno de três ensaios apresentados em cada um dos próximos capítulos. Cada ensaio contém uma revisão sobre as referências mais relevantes identificadas na literatura para cada um dos temas abordados. Após situar cada proposta metodológica em relação aos objetivos específicos, cada ensaio apresenta uma proposta metodológica seguida de uma análise empírica aplicada em cidades brasileiras. Na medida do possível, apesar de centrados em torno de estudos de caso aplicados a cidades em particular, todos os ensaios buscam estabelecer propostas metodológicas de aplicabilidade ampla, baseando-se em dados e instrumentos possíveis de serem obtidos para outras cidades.

O próximo capítulo traz o primeiro ensaio que tem como objetivo investigar as relações que possam existir entre os processos de expansão urbana e a segregação socioespacial na cidade de São Paulo. Situando a discussão dentro de uma perspectiva de economia urbana, o ensaio parte do pressuposto de que ambos os processos estão relacionados às forças de mercado habitacional, incluindo suas falhas inerentes, que acabam por definir a distribuição dos grupos populacionais de acordo com suas características socioeconômicas. O estudo se debruça sobre uma questão central ao debate urbanístico atual que é a ocupação contínua das áreas de fronteira urbana e na forma como este processo impacta a estrutura urbana. Ao estabelecer uma abordagem empírica integrada que seja capaz de analisar através de representações quantitativas os processos de expansão e segregação, o estudo traz evidências de que existe uma relação direta entre os processos de expansão na segregação espacial. A metodologia possibilita também compreender que o impacto na segregação se dá maneira diferenciada para diferentes grupos sociais na cidade. Utilizando-se de técnicas de regressão com variáveis instrumentais obtidas através de sensoriamento remoto e processamento de imagens, os resultados podem informar o debate sobre o funcionamento do mercado de terras nas franjas das cidades e no papel que a decisão de política habitacional tem no padrão de segregação que domina nossas cidades.

O segundo capítulo traz o ensaio onde tratamos de analisar as questões relativas à distribuição dos empregos na cidade de São Paulo e suas consequências para os modelos de economia urbana baseados em gradientes de renda e valor da terra. No debate urbanístico, a cidade de São Paulo é frequentemente reconhecida por sua estrutura excessivamente monocêntrica e a esta característica associam-se os graves problemas de tráfego e circulação que a cidade apresenta. Essa percepção disseminada raramente é associada a estudos empíricos capazes de revelar o nível de concentração das atividades ou a identificação de seus subcentros. Inserindo este debate na perspectiva da economia urbana, o ensaio revisita algumas das metodologias aplicadas na literatura e propõe um método de identificação de subcentros baseado em regressão espacialmente ponderada e procedimentos de análise exploratória de dados espaciais. A metodologia incorpora a informação estrutural da densidade populacional como variável de perturbação no modelo em único estágio. Tal estratégia permitiu revelar as áreas onde havia as maiores pressões por ocupações residenciais do solo urbano em função das proximidades com as áreas de concentração de atividades. O que se concluí é que o zoneamento restritivo e discricionário, muitas vezes justificados por argumentos estéticos e de saúde pública, acaba muitas vezes atuando como instrumento de exclusão social reforçando os

processos de informalidade urbana e segregação socioespacial pela pressão que exerce nos preços do solo urbano.

O terceiro capítulo traz o ensaio no qual retomamos a discussão sobre os processos de expansão urbana, porém situando a discussão a partir de uma perspectiva dinâmica em cidades médias em rápido crescimento demográfico. Neste contexto, há o reconhecimento de que a composição dos preços da terra nas áreas limítrofes da mancha urbana sofre uma forte influência de expectativas de retornos levando a uma sobrevalorização do preço gerada por processos de retenção de terras. Neste ensaio propomos uma metodologia inédita de representação das características de expansão urbana através da utilização de imagens de sensoriamento remoto no desenvolvimento de métricas de expansão urbana. Em uma análise aplicada às cidades amazônicas de Marabá e Santarém, buscamos caracterizar em uma perspectiva comparada os processos de conversão da terra em usos urbanos nas últimas três décadas. Incorporando a informação sobre os usos do solo anteriores a conversão para uso urbano, criamos uma escala de potencial de conversão relativo a cada uso. A partir da aplicação das métricas de paisagem extraídas por processamento digital de imagens, geramos gradientes de potencial de conversão para cada cidade nos períodos analisados. Os resultados apontam diferenças nos padrões observados em cada cidade que experimentam atualmente surtos econômicos de natureza semelhante, porém em fases distintas de desenvolvimento.

O último capítulo apresenta uma conclusão geral do trabalho, retomando as premissas estabelecidas em cada ensaio frente aos resultados obtidos. Ademais, trata de indicar os pontos de articulação entre cada ensaio frente ao referencial teórico e instrumental comum adotado. Por fim, estabelece as limitações e perspectivas identificadas para desenvolvimento de trabalhos futuros.

2 DISPERSÃO URBANA E SEGREGAÇÃO SOCIOESPACIAL NA METRÓPOLE PAULISTANA

2.1 Dispersão urbana e segregação socioespacial: a estrutura urbana e seus processos constituintes

A forma como se dá expansão das áreas urbanas e a segregação socioespacial são pontos centrais do debate sobre economia urbana e seguem pautando a agenda atual de pesquisa. É comum na literatura ver estes tópicos analisados como processos isolados, tomados em perspectivas que extrapolam fronteiras disciplinares. No campo da nova economia urbana, as análises se apoiam no referencial teórico da economia neoclássica que embasa os modelos de uso do solo derivados das funções de renda da terra. Ainda que este referencial teórico apresente limitações relacionadas ao alcance do modelo no tratamento das chamadas *falhas de mercado* que povoam a economia espacial (ARNOTT, 2012), ele nos permite avaliar de forma integrada estes dois processos a partir de estratégias analíticas como aquelas baseadas em estática comparativa³.

Após a publicação do modelo de Alonso (1964) e as variações sequenciais introduzidas por Mills (1967) e Muth (1969), passaram-se alguns anos até que se aplicasse estática comparativa na análise da estrutura espacial urbana. O precursor desta abordagem foi Wheaton (1974) verificando a influência qualitativa dos diferentes parâmetros através da simulação de "choques" no sistema em equilíbrio. Ele demonstra os efeitos que alterações no tamanho da população, na renda e nos custos de transporte acarretam às estruturas urbanas no que se refere aos gradientes de renda da terra, nas densidades populacionais e na extensão territorial da cidade. As conclusões gerais, ainda que necessariamente analisadas dentro do alcance relativo do modelo simplificado, apontam para importantes inter-relações como o efeito direto do aumento dos custos marginais de transporte no encolhimento do limite urbano e no aumento da densidade nas áreas centrais, ou ainda, o efeito que o aumento generalizado de renda per capita exerce na tendência a expansão do limite da cidade e diminuição das densidades nas áreas centrais.

³ Estática comparativa é o estudo de como o preço de equilíbrio e a quantidade variam quando se alteram as condições básicas. Varian (2003) apresenta uma boa descrição do tema.

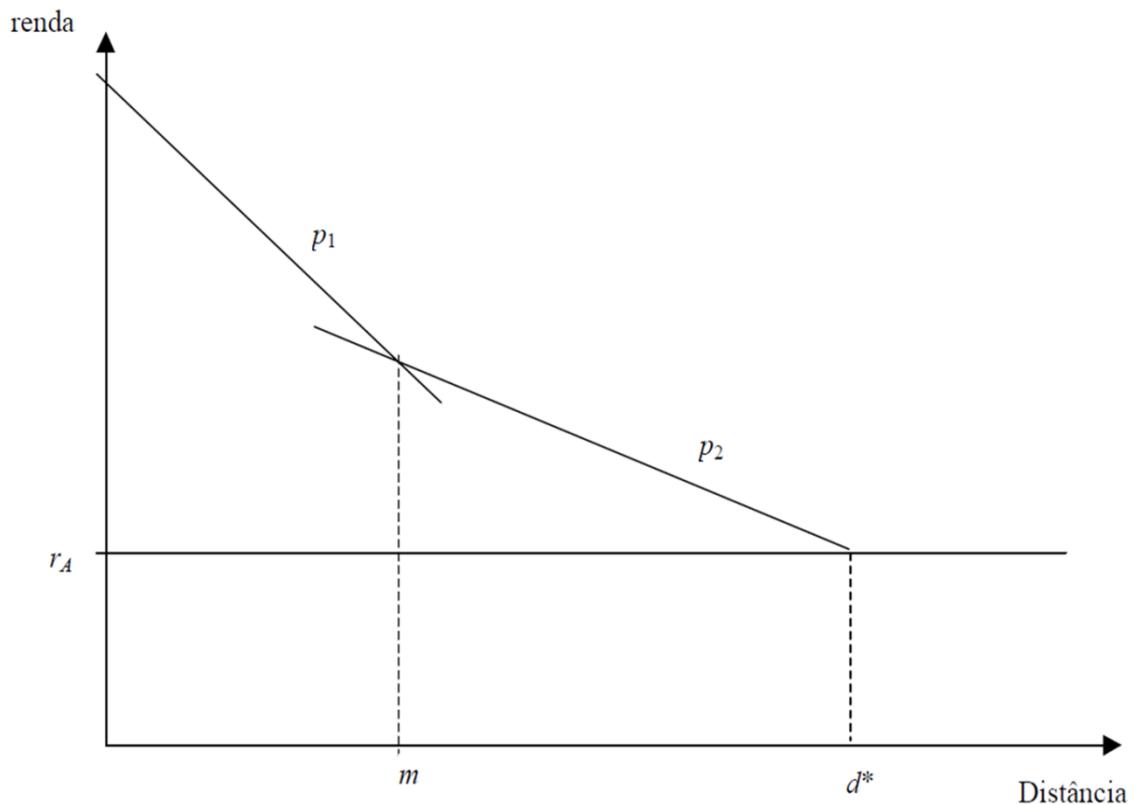
Logo após a publicação de seu trabalho precursor, Wheaton (1976) introduz uma variação ao exercício inaugural de estática comparativa através da segmentação da população em dois grupos de rendimento per capita. Pode-se dizer que este é o primeiro trabalho a aplicar esta abordagem na análise da distribuição espacial de grupos com diferentes perfis socioeconômicos. O objetivo do trabalho era avaliar se a existência de grupos heterogêneos dentro de uma mesma cidade aumentaria ou diminuiria o nível de bem-estar geral se comparada a cidades mais homogêneas. Naquele momento, como conclusão geral, o trabalho demonstrava que a maior heterogeneidade era preferida por ambos os grupos e tanto ricos como pobres se beneficiavam de uma cidade diversificada. Entretanto, logo após sua publicação, Arnott *et al.* (1978) publicam uma extensão daquele trabalho justificando que as condições assumidas naquele exercício eram muito generalistas. Entre elas estava a condição de que os custos de transporte não dependiam dos níveis de rendimento e eram iguais para os dois grupos. Ademais, as preferências do consumidor eram também iguais entre os grupos. Como resultado, foi demonstrado que a relação direta entre diversidade e maior nível de bem-estar para todos, nem sempre era verdadeira e dependia do padrão de localização (ricos no centro e pobres na periferia ou vice-versa) e da proporção de variação que o custo de transporte apresentava em função da renda.

O modelo simplificado construído para dois grupos de rendimentos se apoia na diferença potencial que possa existir entre as funções de bem-estar de cada grupo, ou em outras palavras, das preferências agregadas de seus indivíduos. Assim, haverá para cada grupo uma função de utilidade definida em termos de seu consumo de terra e o consumo de todos os outros bens agregados. A renda do imóvel obtida para cada grupo dependerá de suas respectivas restrições orçamentárias determinadas pelos custos do transporte em função de sua localização na cidade e pelo respectivo nível de rendimento de cada grupo.

Imaginando-se que, como no exercício desenvolvido por Wheaton (1976), a cidade é composta por dois grupos, teremos para cada grupo um gradiente de renda semelhante ao apresentado em Biderman (2001, p.63) (Figura 2.1). Onde, cada grupo populacional estará diferenciado no espaço urbano em relação à proximidade ao centro da cidade. No exemplo empregado no gráfico, o grupo populacional 1 (p_1) tem maior disponibilidade de renda para o consumo do imóvel do que o grupo 2 (p_2). Além disso, tem maior aversão ao deslocamento relativo ao tamanho do lote. Estas características implicam em uma inclinação negativa maior no gradiente de preços para o grupo 1 do que para o grupo 2. Tomado em seu nível de

simplificação, esta representação é coerente com os padrões de macrosegregação que usualmente encontramos nas cidades brasileiras. Entretanto, como o próprio autor aponta, seria perfeitamente possível um equilíbrio inverso onde os mais pobres se concentrariam nas áreas centrais da cidade, padrão recorrente em cidades norte-americanas.

Figura 2.1 - Gradiente de renda da terra em função da distância ao centro principal para uma cidade com dois grupos populacionais com rendas diferentes.



Fonte: Biderman (2001) onde r_A representa o valor da renda da terra agrícola, m a distância em relação ao centro onde há o ponto de intersecção entre os gradientes de renda dos dois grupos e d^* é o limite da mancha urbana.

Dentro do arcabouço representacional propiciado pelo modelo, a distribuição espacial dos grupos e o decorrente padrão de segregação socioespacial é função das diferentes funções de bem-estar de cada grupo e do custo proporcional do transporte (incluindo-se aí o tempo gasto no deslocamento) para cada grupo. LeRoy e Sonstelie (1983) estudaram a interferência que a utilização de diferentes modais de transporte por diferentes grupos de rendimento exercem nas escolhas de localização dos grupos de mais alta renda na estrutura urbana. A análise baseia-se na forma como a relação entre a quantidade demandada por habitação e

deslocamentos cotidianos reage à variação de rendimento dos indivíduos, ou seja, na relação entre a elasticidade-renda da demanda por habitação e a elasticidade-renda do custo marginal do transporte. No caso da primeira exceder a segunda, a localização dos grupos de maiores rendimentos per capita apresentariam o padrão suburbano (modelo norte-americano). Uma relação inversa entre as elasticidade-renda para habitação e transporte levaria o grupo de maior rendimento a procurar habitações em áreas mais centrais (modelo cidades brasileiras). Novamente aqui, apesar de simples, o modelo nos propicia um ambiente de reflexão que coloca de maneira não absoluta, mas relacional, as situações de equilíbrio possíveis nos processos de segregação decorrente da competição entre os diferentes grupos por localizações na cidade. Na medida em que parte importante dos custos relacionados ao transporte deriva da medida do tempo gasto no deslocamento em relação aos níveis de rendimento dos diferentes grupos populacionais, a própria medida de desigualdade entre os níveis de rendimento entre os diferentes grupos interfere nos padrões de segregação resultante.

Seguiram-se outros trabalhos que aplicaram estratégias similares para a análise da distribuição de diferentes grupos socioeconômicos nas cidades (SASAKI, 1990; GLAESER; KHAN; RAPPORT, 2000). Em todos estes trabalhos, há, ainda que não explicitamente, uma perspectiva simultânea de que os arranjos e rearranjos espaciais dos grupos sociais nas cidades também estavam relacionados aos processos de expansão das cidades. No horizonte destes estudos, estava em curso um intenso processo de suburbanização e descentralização de atividades que as cidades, sobretudo as norte-americanas, vinham experimentando desde o fim da segunda guerra mundial. O deslocamento massivo dos grupos de maior poder aquisitivo para os subúrbios, ao mesmo tempo em que ocupavam novas e extensas áreas residenciais de baixa densidade, exacerbavam os efeitos do isolamento de grupos de menor renda nas áreas mais centrais e antigas dos centros urbanos. Este movimento chegou a ser denominando de *white flight* (BOUSTAN, 2010) e é associado dentro da literatura a problemas de fundo social e fiscal além dos analisados no referencial de evolução natural das cidades nos modelos ortodoxos de economia urbana (MIESZKOWSKI; MILLS, 1993).

Ainda que a análise dos processos de crescimento e expansão urbana tenha entrado na agenda de pesquisa na segunda metade do século passado, o tema já suscitava discussões no início do século quando se constituíam as primeiras grandes cidades modernas na Europa e América do Norte. Em 1915, o escocês Patrick Geddes publica seu livro “*Cities in Evolution*” cujo conteúdo é o mais coerente apanhado de suas visões sobre as cidades e as regiões. Geddes foi

um visionário pouco compreendido em seu tempo, mas que inaugurou a noção de planejamento regional e cunhou termos como “conurbação” e “megalópole” até hoje aplicados na caracterização de processos urbanos contemporâneos. Naquele momento, Geddes antecipava os efeitos da revolução tecnológica e chamava a atenção para o fato de que as novas tecnologias – luz elétrica e o motor a combustão interna – causavam efeitos de dispersão e conglomeração nas grandes cidades. (HALL, 2002, p.153).

Em meados dos anos 1950, encontram-se os primeiros estudos que tratam do tema da expansão e dispersão de áreas urbanas. Havia então o reconhecimento de que as áreas urbanas apresentavam um crescimento intenso e desordenado frequentemente associado a ocupações suburbanas descontínuas e de baixa densidade populacional. Naquele momento, já se atribuía ao processo de expansão urbana excessiva impactos estéticos e econômicos negativos. No começo da década de sessenta, o urbanista William H. Whyte [1958] escreve o artigo intitulado “*Urban Sprawl*” onde cunha o termo e inaugura a discussão sobre o processo de suburbanização apontando de maneira enfática as consequências do que ele mesmo define como:

The problem of the pattern of growth - or rather, the lack of one. Because of the leapfrog nature of urban growth, even within the limits of most big cities there is to this day a surprising amount of empty land. But is scattered; a vacant lot here, a dump there - no one parcel big enough to be much of use. And it is with the same kind of sprawl that we are ruining the whole metropolitan area of the future. In townships just beyond today's suburbia there is little planning, and development is being left almost entirely in the hands of the speculative builder.(WHYTE, 1958, p.124-125).⁴

No plano urbanístico, a difusão do automóvel juntamente com a solução das vias expressas urbanas alterou definitivamente a evolução da estrutura espacial urbana no século XX e introduziu um novo paradigma no planejamento e desenho urbano que orientou o desenvolvimento em todas as grandes cidades do mundo. Um ícone sempre lembrado é o plano de *Parkways* desenvolvido na década de 1920 por Robert Moses. Este plano modificou irreversivelmente a configuração espacial da cidade de Nova York abrindo os caminhos para

⁴O problema do padrão de crescimento – ou melhor, da falta de um padrão. Devido à natureza descontínua do crescimento urbano, mesmo dentro dos limites da maioria das grandes cidades, há hoje em dia uma surpreendente quantidade de terra vaga. De forma pulverizada, um lote vazio aqui, um terreno baldio acolá - nenhuma parcela suficientemente grande para que se destine um uso. É o mesmo padrão de dispersão que está arruinando nossas futuras regiões metropolitanas. Nos municípios para além dos subúrbios atuais há pouco planejamento, e o desenvolvimento está sendo deixado totalmente na mão de incorporadores especulativos.

novas frentes de expansão suburbana baseada no automóvel. (HALL, 2002, p.298). Após a segunda guerra, em região então acessível pelo sistema de *Parkways*, mais de trezentos acres de terra agrária em *Long Island* fora convertido em subúrbios dando origem a emblemática Levittown, cujo nome recebeu em referência aos seus construtores Levitt e Sons. Surgia um dos primeiros empreendimentos urbanos produzido em massa nos EUA e que não tardou a ser replicado em diversas outras partes do país (GOTTDIENER, 2010). Este novo ciclo é marcado pelo desenvolvimento intenso de áreas de baixa densidade, polinucleação e dispersão de atividades comerciais. Na Europa, também estava em plena marcha o processo de reconstrução das cidades e, apesar das diferenças significativas na economia e no papel do estado no planejamento urbano, também se observava um decréscimo nas densidades populacionais urbanas na medida em que as habitações sociais eram construídas em áreas periféricas, extensões urbanas planejadas ou ainda em novas cidades. A demanda por habitações vinha de famílias proprietárias de automóveis que se dispunham morar a distâncias cada vez maiores dos centros de suas cidades históricas (COUCH; LEONTIDOU; PETSCHER-HELD, 2007).

As evidências de que as mudanças nas tecnologias e infraestruturas de transporte são uma condição necessária à expansão das áreas urbanas raramente são desconsideradas nos estudos sobre expansão e dispersão urbana. Alguns estudos buscaram demonstrar empiricamente esta associação através de métodos econométricos (BAUM-SNOW, 2007; HANDY, 2005). As conclusões em geral mostram que de fato há esta associação, mas que inúmeros outros fatores incidem nesta relação e que estes não podem ser desprezados quando se buscam estabelecer relações causais. Esta associação também é estabelecida quando se analisam a distribuição espacial dos grupos sociais na estrutura urbana, entretanto geralmente se estabelecem hipóteses sobre as diferentes capacidades de utilização das tecnologias e modos de transporte a partir dos custos associados a cada uma delas (entendendo que o fator tempo também é componente deste cálculo do custo). O próprio trabalho de LeRoy e Sonstelie (1983), citado anteriormente, estabelece seus cenários de segregação e expansão urbana a partir da evolução decrescente dos custos associados ao transporte individual na simulação dos processos de suburbanização e regentrificação. Hipóteses semelhantes foram estabelecidas em outros trabalhos. (KAIN, 1968; GOBILLON; SELOD; ZENOU, 2007).

A influência das tecnologias de transporte (e seus custos associados) que embasam o modelo canônico da economia urbana, apesar de preponderante, não é o único fator associado aos

processos de expansão e segregação socioespacial nas cidades. Vários outros aspectos são relacionados na literatura como potencializadores da expansão urbana excessiva e indutores de segregação. Destacam-se nesta discussão os problemas derivados dos processos especulativos no mercado de terras. Este comportamento opera sobre as expectativas de valorização da terra. Neste ponto há certo consenso entre os estudos de que a especulação, assim como as melhorias nas condições de acessibilidade, sempre está presente nos processos de expansão urbana (CLAWSON, 1962; HARVEY; CLARK, 1965; BAHL, 1968). Segundo Archer (1973), a especulação de terras e o conseqüente desenvolvimento descontínuo e extensivo da cidade em suas franjas são vistas como *falhas de mercado* provocadas, sobretudo, pelas políticas de preços das empresas públicas e privadas na especificação dos custos de serviços de infraestrutura urbana, pela aparente incapacidade dos compradores de estimar os custos diferenciais de deslocamento entre as diferentes localizações e as próprias incertezas inerentes ao mercado de terras. Há autores, entretanto, que não associam à especulação um efeito negativo nos processos econômicos das cidades entendendo que faltam comprovações empíricas e que, em teoria, podem existir benefícios associados à retenção de terras. (MUTH, 1975; MILLS; HAMILTON, 1993).

O referencial adotado pelos estudos até aqui citados são as cidades norte-americanas que exibem padrões específicos no que se refere à suburbanização e segregação socioespacial. No caso latino-americano, a grande expansão das áreas urbanas na segunda metade do século XX se deu de forma distinta, com processos sociais e econômicos subjacentes que em diversos aspectos se diferenciam daqueles observados nas cidades norte-americanas ou da Europa Ocidental. Na realidade, em muitos casos evita-se a utilização do termo *urban sprawl*, ou de sua tradução literal urbanização dispersa, na caracterização dos processos de expansão urbana de metrópoles latino-americanas pela associação direta ao padrão suburbano de segregação de alta renda e baixa densidade (OJIMA, 2007a). Aqui, associam-se aos processos de expansão urbana o que se convencionou chamar de *periferização*, expansões urbanas também segregadas, porém de baixa renda e nem sempre de baixa densidade. Muito da agenda de pesquisa sobre a urbanização latino-americana e, especificamente, a brasileira é dedicada a compreender este padrão de macrossegregação (VILLAÇA, 1998; MARICATO, 1996; KOWARICK, 1979; SANTOS, 1996). Em sua análise, é comum o reconhecimento dos mesmos processos indutores de segregação e expansão encontrado na literatura norte-americana e europeia. Predomina aqui também a visão de que os dois processos estão inter-relacionados e derivam de mudanças nas infraestruturas de transportes e nos comportamentos

especulativos do mercado. Um bom exemplo pode ser observado na descrição sintética que o geógrafo Milton Santos faz da organização interna das metrópoles brasileiras:

As cidades, e sobretudo as grandes, ocupam, de modo geral, vastas superfícies, entremeadas de vazios. Nessas cidades espraiadas, característica de uma urbanização corporativa, há interdependência do que chamo de categoriais espaciais relevantes desta época: tamanho urbano, modelo rodoviário, carência de infraestruturas, especulação fundiária e imobiliária, problemas de transporte, extroversão e periferação da população, gerando, graças às dimensões da pobreza e seu componente geográfico, um modelo específico de centro-periferia. Cada qual destas realidades sustenta e alimenta as demais e o crescimento urbano, é, também, o crescimento sistêmico dessas características. As cidades são grandes porque há especulação e vice-versa; há especulação porque há vazios e vice-versa; porque há vazios as cidades são grandes. O modelo rodoviário urbano é fator de crescimento disperso e do espraiamento da cidade. Havendo especulação, há criação mercantil da escassez e o problema do acesso à terra se acentua. Mas o déficit de residências leva à especulação e os dois juntos conduzem à periferação da população mais pobre e, de novo, ao aumento do tamanho urbano. As carências em serviços alimentam a especulação, pela valorização diferencial das diversas frações do território urbano. A organização dos transportes obedece a essa lógica e torna ainda mais pobres os que devem viver longe dos centros, não apenas porque devem pagar caro seus deslocamentos como porque os serviços e bens são mais dispendiosos nas periferias. E isso fortalece os centros em detrimento das periferias, num verdadeiro ciclo vicioso. (SANTOS, 1996, p.95-96)

A perspectiva dicotômica ainda predomina na análise das metrópoles brasileiras até porque não há suficientes evidências de que o padrão de macrossegregação centro-periferia não represente a realidade atual destas metrópoles. Entretanto, há um crescente reconhecimento de que no interior destes espaços de pobreza e riqueza, bem como nas suas intersecções espaciais, observam-se crescentes níveis de heterogeneidade (TORRES *ET AL*, 2002; CALDEIRA, 2000). Diferenciações internas introduzem maiores níveis de complexidade através do processo de segregação observada em escalas mais próximas. Estas transformações podem ser ilustradas pela narrativa que Tereza Caldeira faz sobre a evolução dos padrões de segregação da cidade de São Paulo:

Ao longo do século XX, a segregação social teve pelo menos três formas diferentes de expressão no espaço urbano de São Paulo. A primeira estendeu-se do final do século XIX até os anos 1940 e produziu uma cidade concentrada em que diferentes grupos sociais se comprimiam numa área urbana pequena e estavam segregados por tipos de moradia. A segunda forma urbana, a centro-periferia, dominou o desenvolvimento da cidade dos anos 40 até os anos 80. Nela, diferentes grupos sociais estão separados por grandes distâncias: as classes média e alta concentravam-se nos bairros centrais, com boa infraestrutura, e os pobres viviam nas precárias e distantes periferias. Embora os moradores e cientistas sociais ainda concebiam e discutam a cidade em termos do segundo padrão, uma terceira forma de vem se configurando desde os anos 80 e mudando consideravelmente a cidade e sua região

metropolitana. Sobrepostas ao padrão centro-periferia, as transformações recentes estão gerando espaços nos quais diferentes grupos sociais estão muitas vezes mais próximos, mas estão separados por muros e tecnologias de segurança, e tendem a não circular e interagir em áreas comuns. (CALDEIRA, 2000, p.211).

De modo geral, a tradição da sociologia urbana marxista que predomina na análise urbanística que tem dominado a discussão sobre os estudos das decisões de localização intraurbana no Brasil não concebe a possibilidade de abordagens microeconômicas. As principais críticas referem-se à excessiva simplificação espacial dos modelos adotados e à perspectiva do agente individual como protagonista da estruturação do espaço pela simples maximização de suas utilidades, sem considerar os processos de dominação e estruturas de poder que determinam os desequilíbrios de oportunidades de acesso à terra urbana. A falta de uma explicação microeconômica das decisões de localização residencial e da coordenação que produzem levou a proposição de abordagens heterodoxas dentro do campo da economia. O trabalho de Pedro Abramo (2007) contribui nesta perspectiva baseando-se no conceito de externalidade de vizinhança. Dele, deriva uma abordagem direta sobre o processo de segregação socioespacial como resultado de um comportamento intencional de famílias cuja decisão de localização residencial parte do desejo de estabelecer relações de vizinhança de famílias do mesmo perfil socioeconômico. Tal argumento já havia sido defendido pelo economista Thomas Schelling (1969) quando desenvolveu seu clássico trabalho onde propõe a utilização de modelos para descrever os processos de segregação derivados do que ele chamou de comportamentos individuais discriminatórios. O trabalho de Schelling foi pioneiro na proposição de modelos dinâmicos de segregação socioespacial e, a partir de seus experimentos, definiu estratégias metodológicas para tratar de aspectos como a escala de análise na definição e extensão da vizinhança, o tratamento de minorias populacionais nas configurações espaciais das áreas segregadas, as diferentes regras de preferência que determinam os movimentos espaciais dos diferentes grupos, e o papel da configuração inicial da distribuição espacial nos padrões espaciais que emergem em processos dinâmicos de segregação.

Ao que parece, os fatores até aqui considerados de natureza econômica, tecnológica e social são indutores de transformação da estrutura urbana e atuam conjuntamente nas tendências de expansão urbana e segregação socioespacial. Nos diversos campos disciplinares que dedicam estudos sobre a questão urbana, tanto altos níveis de segregação socioespacial quanto de dispersão urbana são entendidos como aspectos negativos com consequências perversas nos custos de implantação de infraestruturas urbanas, na oferta de serviços e equipamentos e nos

níveis de desigualdade social. Apesar de haver considerável acúmulo de estudos sobre o padrão disperso de crescimento urbano e segregação socioespacial, a perspectiva econômica que domina a discussão sobre o tema enfrenta o desafio de estabelecer representações empíricas e operacionalizáveis destes conceitos. Alguns trabalhos têm dedicado esforços na proposição de diferentes métricas de dispersão urbana e também de segregação socioespacial. Em geral, estes estudos enfocam apenas um destes processos e limitam-se a uma perspectiva descritiva das estruturas espaciais urbanas.

2.2 Medidas de dispersão urbana e segregação socioespacial

No que se refere à representação da dispersão e forma urbana, pode-se dizer que foi Colin Clark (1951) o precursor na abordagem da análise da estrutura urbana através de gradientes de densidade em seu clássico artigo sobre "densidades de populações urbanas". Nele, estabeleceu que a densidade populacional decresce de forma exponencial em função da distância em relação ao centro de negócios principal da cidade. Esta relação pode ser representada seguindo uma função na forma de $D(x) = Ae^{-bx}$ onde $D(x)$ é a densidade populacional em unidades de população por unidade de área e x é a distância ao centro de negócios. Clark se apoia em duas generalizações que para ele são tomadas como válidas e universalmente aceitas. A primeira afirma que para qualquer grande cidade, com exceção do distrito central de negócios, o qual possui poucos habitantes, encontram-se distritos mais densos no interior da estrutura urbana e que a densidade decresce progressivamente na medida em que nos afastamos para os distritos mais externos da cidade. A segunda generalização afirma que na maioria das cidades, na medida em que o tempo passa, a densidade diminui em todos os distritos internos mais populosos e aumenta nos distritos mais afastados. Assim, a cidade como um todo tende a se espalhar em distâncias cada vez maiores ao centro original neste movimento. Estas generalizações estão ilustradas no artigo com dados estimados para um conjunto de cidades europeias e americanas que parecem confirmar a teoria. Entretanto, além da riqueza de dados reunida sobre as cidades na primeira metade do século XX, o artigo pouco explora as causas para a ocorrência destes padrões. Esta mesma abordagem foi replicada em um trabalho recente desenvolvido por Cotelo e Rodrigues (2011) que estimaram com dados censitários georreferenciados os gradientes de densidade populacional e de renda para 12 regiões metropolitanas no Brasil. Com exceção de Brasília, todas as estruturas

intraurbanas apresentam empiricamente gradientes de densidade populacional decrescentes reafirmando a validade do modelo de Clark.

O trabalho de Galster *et al.* (2001) desenvolve a definição conceitual e operacional de oito dimensões de dispersão urbana. A primeira dimensão é a **densidade** populacional e densidade de empregos sendo esta a mais difundida medida de dispersão na literatura. A segunda é a **continuidade** da mancha urbana procurando medir a existência de vazios urbanos e sua extensão. A terceira é uma medida de **concentração** relacionada ao grau em que as unidades habitacionais ou empregos estão desproporcionalmente localizados em algumas poucas áreas ou espalhados de forma uniformemente através do espaço. A quarta medida é uma medida de **agrupamento** (*Clustering*) e tem relação direta com a medida anterior diferenciando-se na forma como espacialmente se organiza as áreas desenvolvidas. A quinta dimensão esta relacionada ao nível de **centralidade** da estrutura urbana medida em função das distâncias médias das áreas desenvolvidas ao Centro de Negócios identificado onde se localiza a Sede da Prefeitura do Município. A sexta dimensão é a **nuclearidade** que envolve a identificação de nós ou núcleos na estrutura urbana. A sétima e oitava dimensão, **usos mistos** e **proximidade**, estão basicamente relacionados ao arranjo espacial de diferentes usos na área urbana. O fato mais interessante dentro desta proposta de operacionalização das métricas de dispersão é a utilização de um suporte espacial único para todas as métricas baseado em uma grade regular de células de igual tamanho. A utilização deste espaço celular abre perspectivas interessantes no que se refere à possibilidade de integração de outras bases de dados.

Outra estratégia para a construção de métrica de dispersão urbana tem sido proposta em alguns estudos recentes e está baseada na utilização de imagens de satélites como fonte de dados primários. Tanto os trabalhos de Burchfield *et al* (2006) como o Angel *et al* (2011) se apoiam nesta fonte de informação na busca por representar a dimensão do arranjo espacial da estrutura urbana. O primeiro utiliza uma medida de dispersão urbana construída a partir dos dados do *National Land Cover Data* (NLCD) de 1992. O NLCD é uma base de dados construída a partir de imagens Landsat TM classificada em 21 classes de uso da terra em resolução espacial de 30X30 metros com recobrimento de toda a extensão territorial dos EUA. O trabalho também integrou as bases do *Land Use and Land Cover Digital Data* que é derivado em grande parte de imagens aéreas obtidas em torno do ano de 1976 e disponível no *U.S. Geological Survey*. A partir desta base de dados, os autores selecionaram as classes de uso residencial para construir uma medida simples na forma de percentual da terra não

desenvolvida (ou ocupada) no entorno imediato cobrindo 1Km² de cada célula de uso residencial. A partir desta medida local de dispersão urbana, os autores criaram uma medida global para cada região metropolitana calculando o percentual médio deste nível de desenvolvimento em torno das células de uso residencial. Esta medida global de dispersão urbana calculada para cada região metropolitana é utilizada pelos autores como variável dependente testando num modelo de regressão sua relação com uma série de outras variáveis que poderiam determinar maiores níveis de dispersão urbana. As variáveis independentes incluídas no modelo são de natureza demográfica, ambiental e econômica. A grande contribuição deste trabalho foi, além de propor um índice de dispersão urbana construído a partir das imagens de sensoriamento remoto, utilizar as variáveis físico-ambientais geralmente desconsideradas em análises similares.

O uso de imagens de satélite classificadas como as utilizadas no indicador de dispersão urbana proposto em Burchfield *et al* (2006) pode apresentar limitações especialmente quando se trata da identificação das áreas ocupadas de baixa densidade bem como da diferenciação dos usos urbanos. Em Irwing e Bockstael (2007) foram realizadas comparações entre os dados do NLCD com bases derivadas de levantamentos planimétricos para algumas das metrópoles estudadas em Burchfield *et al* (2006). Baseados nas matrizes de confusão encontradas, os autores refutam as conclusões de Burchfield *et al* (2006) que indicam que a extensão da dispersão urbana permaneceu praticamente inalterada no período entre 1976 e 1992 uma vez que os dados do NLCD tendem a subestimar a dispersão. Isso porque os dados do NLCD não identificam bem as áreas ocupadas de baixa densidade populacional. Segundo os autores, apenas 8% das áreas com estas características foram corretamente classificadas na base do NLCD. Alternativamente, o estudo de Irwing e Bockstael (2007) propõe a utilização de medidas de fragmentação derivadas das abordagens típicas da Ecologia da Paisagem⁵ como forma a capturar padrões espaciais de desenvolvimento urbano.

⁵O termo Ecologia da Paisagem foi inicialmente proposto pelo geógrafo alemão Carl Troll no ano de 1939 e nasceu de uma perspectiva interdisciplinar interessada no estudo das interações complexas entre as comunidades biológicas e o ambiente. Esta perspectiva analítica se colocava a partir do desenvolvimento dos estudos científicos que utilizavam as primeiras imagens aéreas então disponíveis (TROLL, 1971). Recentemente a ecologia da paisagem tem se renovado dentro da emergência de conceitos como sustentabilidade e também apoiada nos avanços das técnicas geocomputacionais. Muito desse movimento deve-se em grande parte aos desafios metodológicos que o estudo das mudanças climáticas induzidas por fatores antropogênicos fomentou e a um crescente reconhecimento de que são necessárias abordagens sensíveis aos padrões espaciais definidores das estruturas de paisagem (HOBBS, 1997).

O trabalho desenvolvido em Angel *et al* (2011) também deriva da tradição analítica da Ecologia da Paisagem quando propõe a utilização de imagens de satélite para construir métricas das cinco dimensões, que para os autores são necessárias à compreensão dos processos de dispersão urbana. A primeira é a própria medida da **extensão da terra urbanizada**, usualmente derivada da quantificação dos pixels classificados como superfície impermeabilizada (*impervious surface*), os autores propõem formas para diferenciação das áreas centrais, intermediárias e franjas da mancha urbana bem como a identificação das áreas abertas capturadas dentro das manchas urbanizadas contínuas. A segunda dimensão é a **densidade** medida como a relação média entre a população e a área urbanizada. A terceira dimensão é a **fragmentação** medida como a proporção de áreas abertas existentes entre as áreas já desenvolvidas e entre as novas áreas de expansão urbana. Nesta dimensão se diferenciam os padrões espaciais de expansão urbana em três tipos: desenvolvimentos internos a mancha urbana já consolidada (*infill*), novos desenvolvimentos contíguos à mancha urbana nas franjas da cidade (*extension*) e novos desenvolvimentos não contíguos à mancha urbana (*leapfrog*). A quarta dimensão é a **centralidade** calculada como a proporção da população que vive próxima ao centro de negócios. Por fim, a quinta dimensão é a **compacidade**, relacionada diretamente com a forma da mancha urbana e o grau em que ela se aproxima a uma forma circular ou a um padrão tentacular menos compacto. Para cada uma destas dimensões foi proposto uma série de métricas e indicadores com o objetivo específico de operacionalização destas dimensões para que se pudessem estabelecer estratégias analíticas capazes de estabelecer um quadro comparativo das 120 grandes aglomerações urbanas existentes ao redor do mundo.

No Brasil, poucos são os trabalhos que se dedicaram a construção de representações quantitativas de dispersão urbana. Entre estes, destaca-se o trabalho desenvolvido por Ojima (2007b) que em sua tese de doutorado propõe um indicador de dispersão urbana dentro de uma abordagem comparativa entre as metrópoles do país. O indicador inclui quatro dimensões: **densidade**, **fragmentação**, **orientação** e **centralidade**. As três primeiras dimensões seguem a lógica dos indicadores propostos na literatura internacional, com a diferença de utilizar exclusivamente as bases geográficas do censo demográfico. A quarta dimensão é bastante inovadora e utiliza dados de movimentos pendulares para identificar os padrões de mobilidade intra-metropolitano através das proporções de movimentos pendulares com destino ao centro principal ponderado pela intensidade do total de movimentos pendulares em relação à população total. Por fim, o autor aplica uma normalização nos

índices e calcula a posição relativa de cada aglomerado no contexto metropolitano nacional através no que se refere ao grau de dispersão urbana.

No que se refere à representação da segregação socioespacial, os primeiros estudos derivam da tradição norte-americana de focar o aspecto racial nos estudos de segregação que ganham força a partir dos anos 50 com os movimentos por direitos civis contra as leis segregacionistas (MASSEY; DENTON, 1987). Neste período, surgem alguns estudos propondo métricas de segregação socioespacial, sendo que o mais difundido neste tipo de análise é o **índice de dissimilaridade** proposto por Duncan e Duncan (1955). O tema da segregação seguiu na agenda de pesquisa incorporando outros aspectos relacionados não apenas com a questão étnica e racial, mas também a dimensão da segregação de natureza socioeconômica. Diferentemente das medidas de dispersão e expansão urbana que apenas recentemente se diversificaram dentro da agenda de pesquisa, diversas métricas de segregação socioespacial foram propostas na literatura. A dissertação de mestrado da arquiteta Flávia Feitosa (2005) faz uma ampla revisão do conjunto de iniciativas que tinham por finalidade a quantificação da estrutura de segregação socioespacial das cidades. Além do esforço de catalogação realizado pela pesquisadora, ela apresenta uma organização destas propostas dentro de três períodos: a primeira fase reúne as primeiras iniciativas com a proposição dos índices dicotômicos, onde apenas dois grupos populacionais eram considerados na medida, em geral dois grupos raciais. A segunda fase inclui as medidas de segregação para vários grupos. Este segundo conjunto de iniciativas decorria da constatação de que em muitos casos, para além da questão racial, havia também a segregação por critérios socioeconômicos para os quais a classificação em apenas dois grupos era insuficiente na descrição dos padrões de segregação. Por fim, em meados da década de 80, a terceira fase nascia do reconhecimento da falta de sensibilidade espacial dos índices propostos até aquele momento. Entendia-se que as medidas de segregação deveriam ser capazes de, além de representar o grau de separação e isolamento dos grupos, refletir o arranjo espacial da distribuição dos grupos sociais em questão. Este último conjunto de propostas crescia ao mesmo tempo em que os avanços em utilização de computadores na representação geográfica se popularizavam.

Em Feitosa *et al* (2007), propõe-se uma versão espacialmente sensível dos principais índices de segregação encontrados na literatura, quais sejam: o **índice de dissimilaridade**, o **índice de exposição** e o **índice de isolamento**. Da forma como foram propostos, os índices de segregação podem ser calculados a partir de dados em forma de contagens de população

associados a unidades de áreas como os tipicamente encontrados nos censos demográficos. A introdução da dimensão espacial aos índices se dá a partir de uma função de ponderação localmente definida através de uma função de vizinhança. Essa estratégia permite o cálculo dos índices para diferentes "escalas" de observação rompendo com a rigidez que muitas vezes o suporte zonal impõe às análises. Outra contribuição significativa do trabalho é a possibilidade de decomposição local de cada um dos índices. Isso permite que se examine não só as condições de segregação do arranjo global encontrado na cidade, como também a contribuição de cada parcela da cidade no índice global. Dessa forma, é possível inferir a distribuição espacial das medidas de dissimilaridade, exposição e isolamento através de cartogramas e mapas temáticos. Na próxima seção detalharemos os procedimentos de cálculo destes índices e sua utilização em uma análise empírica aplicada para Região Metropolitana de São Paulo.

2.3 Dispersão urbana e segregação socioespacial na metrópole paulistana: uma abordagem empírica

São Paulo é a grande metrópole nacional (IBGE, 2008) e a maior aglomeração urbana da América do Sul. Composta por 39 municípios, tinha em 2010 praticamente 20 milhões de habitantes, 1,8 milhões a mais do que no ano 2000. No município sede, em 2010 a população era de 11,2 milhões de habitantes superando em 820 mil a população no início da década. Concentra uma população eminentemente urbana. Em 2000, estimava-se que cerca de 4% da população viviam em áreas rurais, número que em 2010 caiu para pouco mais de 1% da população total da região. (IBGE, 2000, 2010).

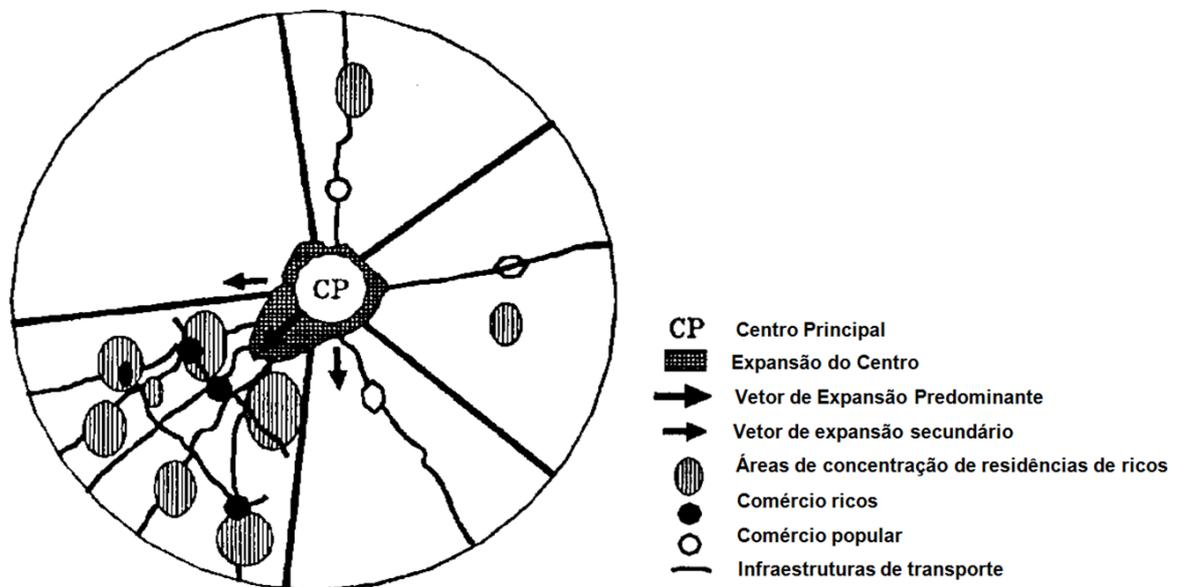
As características da estrutura urbana em relação ao seu porte e complexidade bem como sua importância na hierarquia urbana do país, fazem de São Paulo um espaço laboratório privilegiado para a aplicação da metodologia de análise empírica proposta neste ensaio. As análises foram aplicadas a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) para o ano 2000 como forma de verificar a viabilidade da aplicação da metodologia sugerida. Entretanto, os dados utilizados e a estratégia empírica desenvolvida permitem a replicação deste tipo de análise para outros contextos metropolitanos no país. Buscaremos agora apresentar uma breve caracterização de nosso objeto de análise ressaltando suas características mais relevantes no contexto da análise proposta.

Começamos com uma descrição resumida do que o geógrafo Aziz Ab'Saber chamou de "assoalho topográfico" sob o qual se assentou a metrópole em seu clássico trabalho "Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo" (AB'SABER, 2007). De início, o autor chama a atenção para o fato de que a cidade, mesmo em suas regiões periféricas e confins, apresenta formas de relevo caracterizada por uma "topografia modesta, tanto na movimentação geral do terreno quanto na variedade de aspectos morfológicos...uma topografia suave, onde dominam outeiros, morros baixos e ligeiros espigões amorreados de pequena expressão hipsométrica e medíocre saliência." (AB'SABER, 2007, p.18-19). Segundo o autor, São Paulo assenta-se na mais homogênea sub-unidade geomorfológica do Planalto Atlântico balizada extensivamente pela cota de 780-820 metros. Tanto na direção norte-sul como na leste-oeste o autor descreve o relevo "caracterizado pela presença de uma topografia de colinas e espigões tabuliformes, de níveis escalonados, e por extensas baixadas contendo terraços fluviais descontínuos e alongados e largas planícies de inundação." (AB'SABER, 2007, p.20). Estas características geomorfológicas não impuseram grandes obstáculos à rápida expansão que a cidade experimentou a partir da segunda metade do século XX. "Ao eleger as colinas tabuliformes para a expansão do casario imenso da Metrópole, a cidade soube orientar seu desenvolvimento e extraordinário crescimento pelas insinuações e diretrizes mais lógicas do meio geográfico regional." (AB'SABER, 2007, p.25). Neste sentido, o próprio processo de assentamento parece repercutir as origens do tipo de estabelecimento das vilas coloniais brasileiras que Sérgio Buarque de Holanda designou metaforicamente como obra de semeadores, em oposição à rigidez urbanística observada na América espanhola onde a regularidade de elementos e desenhos urbanos fora considerada pelo historiador obra de ladrilhadores. (HOLANDA, 1984).

Se por um lado a cidade soube se assentar e expandir de modo adaptativo a sua topografia, o processo de sua formação deve ser compreendido à luz das contradições socioeconômicas que estão na sua origem e se perpetuam até hoje. Em seu livro "A Cidade e a Lei", Rolnik (1997) traça uma minuciosa trajetória da formação da estrutura urbana da cidade de São Paulo ao longo do século XX. A riqueza de detalhes permite compreender os processos que levaram a formação da grande periferia da cidade que caracteriza seu dominante padrão urbanístico "baseado na expansão horizontal, no ônibus e no automóvel como meios de transporte, na autoconstrução dos assentamentos populares e numa quase total irregularidade perante as leis e códigos que determinavam o uso e ocupação do solo na cidade." (ROLNIK, 1997, p.165). Este padrão teve até a década de 70 seu período de expansão mais intenso, fomentado em

grande parte pela lógica da irregularidade tolerada por parte das autoridades governamentais, e também muitas vezes induzida pelos programas públicos de habitação como os desenvolvidos pelo Banco Nacional de Habitação (BNH) e a COHAB, companhia municipal de habitação que chegou a construir mais de 100 mil unidades habitacionais destinadas a baixa renda na primeira franja da zona rural em locais distantes de qualquer rede de infraestrutura urbana (ROLNIK, 1997, p.203). Apesar da diminuição de seu ritmo, a pressão pela ocupação das franjas da cidade continuou intensa até o final do século XX, quando os distritos mais afastados da cidade ainda cresciam com taxas médias anuais superiores aos 4%⁶.

Figura 2.2 - Esquema de macrossegregação da Região Metropolitana de São Paulo



Fonte: (VILLAÇA, 1998, p.340)

Em termos de seu padrão de macrossegregação, Villaça (1998) apresenta uma excelente descrição sintética a partir de seus esquemas de visualização (Figura 2.2). Nele, ele apresenta a distribuição espacial dos bairros segregados ocupados por camadas de alta renda. No caso de São Paulo, eles estão reunidos (mas não exclusivamente) em numa única região geral da metrópole, o chamado quadrante sudoeste. Este padrão de concentração é acompanhado pela distribuição privilegiada de infraestruturas urbanas, vias de acesso e pelo vetor preferencial de

⁶De acordo com o censo demográfico do IBGE/2000 (IBGE, 2000), na última década do século XX, nove distritos, em sua maioria periféricos, apresentaram taxas médias anuais de crescimento populacional superior a 4%. São eles os distritos de Pedreira (4,47%), Perus (4,81%), Jaraguá (5,11%), Iguatemi (6,08%), Grajaú (6,08%), Vila Andrade (6,28%), Parelheiros (7,07%), Cidade Tiradentes (7,89%) e Anhanguera (13,38%).

expansão do centro principal da cidade. Na visão de Villaça, esta coincidência espacial é resultado do que ele reconhece como a maior força atuando na estruturação urbana da cidade, qual seja, a disputa pela apropriação diferenciada das vantagens e desvantagens do espaço construído.

2.3.1 Estratégia empírica

O objetivo deste estudo é investigar as relações que possam existir entre os processos de expansão urbana e a segregação socioespacial. Como argumentado nas seções anteriores, ambos processos estão relacionados às forças de mercado, incluindo suas falhas inerentes, que acabam por definir a distribuição dos grupos populacionais de acordo com suas características socioeconômicas. Aqui, há o reconhecimento de que as técnicas de regressão aplicadas sobre dados onde não há garantias de aleatoriedade como os produzidos por experimentos controlados, podem levar a falsas interpretações de relações causais. Entretanto, através de técnicas estatísticas, com a introdução de controle por covariáveis e variáveis instrumentais, é possível assumir a independência condicional no experimento empírico e alcançar a interpretação desejada (ANGRIST;PISCHKE, 2009).

Na próxima seção, discutiremos a estratégia empírica adotada argumentando que o instrumento proposto respeita a restrição de exclusão dado que é construído a partir das configurações topográficas do terreno. Apresentaremos os resultados obtidos para estimação por quadrados mínimos ordinários (OLS⁷) bem como os encontrados pela estimação em quadrados mínimos em dois estágios (2SLS⁸) indicando as diferenças entre as duas estimações e demonstrando que a estimação OLS é enviesada.

2.3.2 Materiais e métodos

Estamos interessados no impacto que a dispersão urbana tem sobre a segregação socioespacial em diferentes partes de uma mesma cidade. Assim, considere que em um ponto no tempo, uma cidade ocupa uma determinada região A , e que esta região está subdividida em n sub-regiões A_i e que $i=1,2,\dots,n$. Cada uma das sub-regiões A_i pode ser caracterizada por seu grau de dispersão urbana, s_i . Esta medida de dispersão representa a proporção de usos de solo urbanos em A_i e seu entorno em relação a sua área total. Conhece-se também para cada A_i , o seu nível

⁷ Ordinary least square

⁸ Two stage least square

de segregação socioespacial, Y_i , calculado em relação à composição global da população em grupos sociais considerando-se também as características da composição populacional no entorno de A_i . A subdivisão da população em grupos é determinada por suas características socioeconômicas como nível de renda e escolaridade. Ademais, existe ainda uma medida R_i calculada para cada A_i associada a suas características geomorfológicas. Essa medida representa a configuração do suporte físico do terreno e está relacionada à aptidão natural para sua ocupação por usos de solo urbanos.

Procuramos conhecer a esperança condicional da segregação em A_i dado um determinado nível de dispersão. Formalmente, procuramos conhecer $E[Y_i|S_i = s]$. Neste caso, nosso tratamento é o nível de dispersão urbana e, nossa variável de resposta, o nível de segregação socioespacial em A_i . Como estamos trabalhando com dados empíricos e não experimentais, devemos procurar garantir uma situação de independência condicional através de seleção em observáveis introduzindo covariáveis de controle no modelo. Dado que as áreas geográficas das sub-regiões A_i são variáveis exógenas, um controle natural seria inserir a medida da área territorial (X_i) como covariável no modelo, ou mais formalmente, $E[Y_i|X_i, S_i = s]$.

Podemos ainda imaginar que atuam sobre meus resultados potenciais um vetor de variáveis de controle não observáveis que podemos assumir como a única razão para que os erros η_i estimados em uma regressão de Y_i em S_i estejam correlacionados com S_i . Um caso particular de variável que não deve estar correlacionado com o tratamento é aquela determinada previamente ao tratamento (*pre-tratament*). Assim, podemos considerar que a configuração geomorfológica do terreno capturada por uma medida de dispersão da elevação em uma determinada área possa ser utilizada como uma variável instrumental (*V.I.*). Uma variável instrumental (r) deve possuir certas propriedades relacionadas aos seus efeitos sobre as variáveis de interesse. A covariância entre r e o termo de erro (u) em uma regressão OLS entre as variáveis de interesse deve ser igual a zero, $Cov(r,u) = 0$, mas a covariância entre a variável independente (s) deve ser diferente de zero, $Cov(r,s) \neq 0$. Dessa forma, o efeito causal de interesse (ρ) pode ser estimado como uma razão de covariâncias na forma de $\rho = Cov(Y_i, R_i)/Cov(S_i, R_i)$. Assim, a *V.I.* deve ser correlacionada com a variável independente, mas com nenhum outro determinante da variável dependente. Em outras palavras, para que se possa assumir que a razão de covariâncias seja o efeito causal de interesse, temos que assumir que o instrumento tenha um claro efeito sobre s_i . Este é o primeiro estágio. Em segundo lugar,

a única razão para que exista uma relação entre Y_i e R_i é através do primeiro estágio (ANGRIST; PISCHKE, 2009, p.117).

Utilizando o método de variáveis instrumentais com regressão em dois estágios (2SLS), é possível calcular o efeito do tratamento (S_i) nos índices de segregação socioespacial observados. Assim, R_i é um instrumento que atua sobre s_i . Esse é o primeiro estágio. Segundo, assumimos a restrição de exclusão, ou seja, a única razão para a relação entre Y_i e R_i é o primeiro estágio. Dessa forma, o instrumento incide aleatoriamente e não tem efeito sobre os resultados para além daqueles capturados pelo primeiro estágio.

Formalmente:

$$\begin{aligned} \hat{s}_i &= X_i' \hat{b}_1 + \hat{b}_2 R_i && (1^\circ \text{ estágio}) \\ Y_i &= \alpha' X_i + \rho \hat{s}_i + [\eta_i + \rho(s_i - \hat{s}_i)] && (2^\circ \text{ estágio}) \end{aligned} \tag{2.1}$$

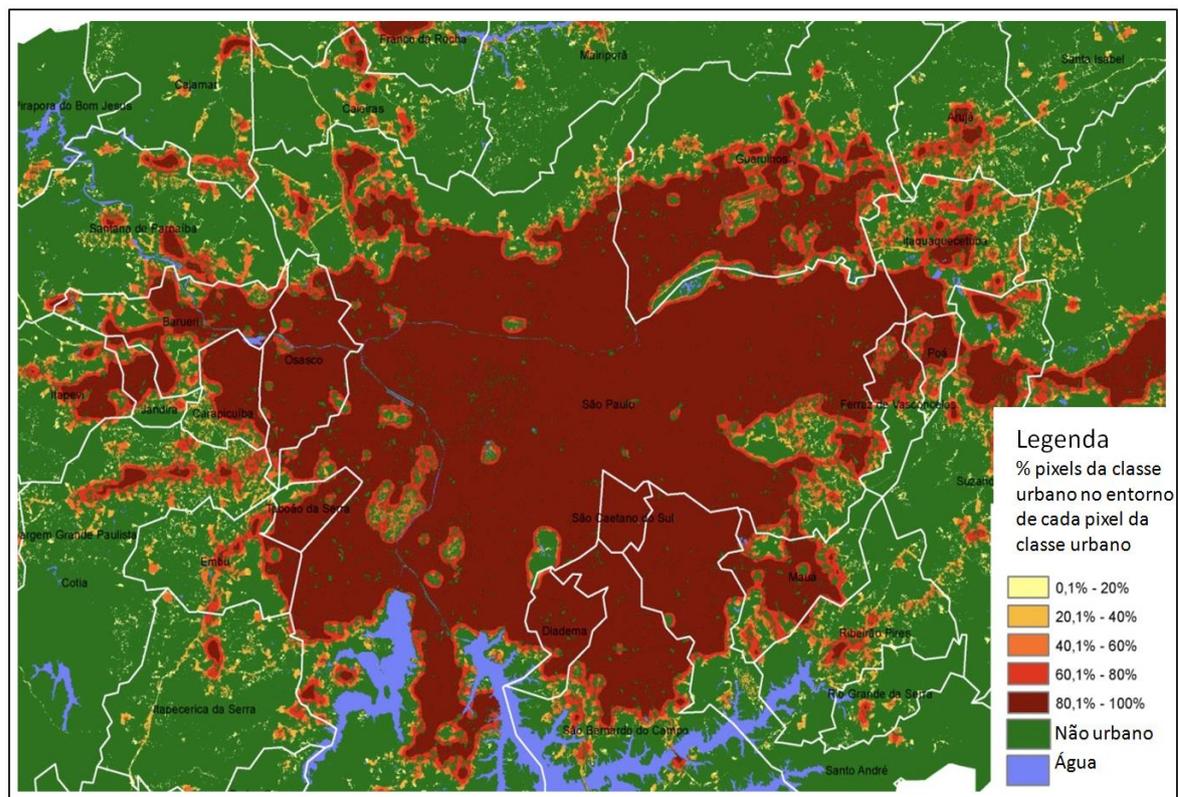
Onde,

\hat{s}_i é o valor estimado da variável tratamento (S_i) no 1º estágio;
 \hat{b}_1 e \hat{b}_2 são coeficientes estimados para covariáveis e a V.I. no primeiro estágio;
 R_i é o valor da variável instrumental que indica a configuração geomorfológica do terreno;
 Y_i é o nível de segregação socioespacial na unidade de área i ;
 ρ é o efeito esperado do tratamento (dispersão urbana);
 X_i é uma covariável relacionada com a conformação geométrica da unidade de área;
 η_i é o resíduo.

Os dados utilizados para a análise provêm de diferentes fontes e foram tratados em ambiente computacional georreferenciado. Os dados relativos aos índices de dispersão urbana foram construídos através de aplicação de técnicas de processamento digital de imagens do satélite *LANDSAT5* obtida para o ano de referência da análise. Os dados utilizados para o cálculo dos índices de rugosidade de terreno foram obtidos junto a *USGS – U.S. Geological Survey* que disponibiliza os modelos digitais de terreno gerados a partir da *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*. Todos os cálculos e compatibilizações necessárias para a montagem da base de dados foram processados nos sistemas de informação geográficas *ArcView 9.3*, *TerraView 4.1.0* e *SRING 5.1.5*. É importante ressaltar que os dados *LANDSAT* e *SRTM* apresentam resoluções espaciais diferentes. Enquanto as imagens *LANDSAT* são geradas com nível de resolução espacial de 30 metros, os dados de elevação do terreno obtidos pelo *SRMT* têm resolução espacial de 90 metros. Desta forma, os dados *SRTM* apresentam menor

sensibilidade a variações localizadas no relevo, ou seja, ele traz uma medida de elevação média no terreno em uma célula de 90 por 90 metros. Na forma como estamos aplicando esta medida como V.I., o problema que podemos encontrar em função desta diferença de resoluções é um efeito menos intenso na associação com a variável explicativa derivada da imagem LANDSAT. Entretanto, podemos medir esta intensidade no primeiro estágio do modelo 2SLS como veremos adiante.

Figura 2.3 - Resultado espacializado da porcentagem de pixels de classe urbano na vizinhança definida a partir de um raio de 500 metros de cada pixel da classe urbana na imagem LANDSAT (Junho/2000)



Fonte: Elaboração própria a partir da imagem LANDSAT TM classificada obtida junto ao LILP

A medida de dispersão urbana foi calculada a partir de uma imagem *TM-LANDSAT 5* (Junho de 2000) classificada em três classes de cobertura do solo: água, urbano (superfície impermeabilizada), e não-urbano. A imagem foi obtida diretamente da base de dados constituída para a elaboração do estudo comparativo sobre *urban sprawl* em 120 cidades financiada pelo *Lincoln Institute of Land Policy*⁹. A imagem classificada foi importada para o *SPRING 5.1.7* onde foi convertida para a categoria de grade regular atribuindo-se valor **nulo** aos pixels da categoria *água*, valor **zero** aos pixels *não-urbanos* e valor **um** aos pixels

⁹http://www.lincolnst.edu/pubs/2094_Planet-of-Cities

identificados como *urbanos*. Uma vez convertida em grade regular na forma descrita, aplicou-se uma rotina de análise de vizinhança desenvolvida em programação *LEGAL*¹⁰ onde cada pixel, que na imagem refere-se a uma área quadrangular equilátera com lados de 30 metros, recebeu o valor do total de pixels da classe urbano, U_p , considerando-se um raio de abrangência de 500 metros, ou 1 km de diâmetro em uma circunferência com o pixel em análise ao centro. Assim, pixels com valores altos de U_p indicam inserção em áreas altamente urbanizadas, enquanto que baixos valores de U_p indicam áreas com urbanização mais dispersa, ou seja, maior grau de dispersão urbana. O resultado desta operação pode ser visualizado através da figura 2.3. Este processamento resultou em uma grade regular que foi sobreposta ao conjunto de polígonos representando os setores censitários. A compatibilização dos dados em grade regular provenientes da imagem com o suporte zonal dos setores censitários se deu a partir de operações zonal onde foi atribuído a cada setor censitário A_i o valor médio de U_p dos pixels que estão nele contidos. Assim, pode-se formalizar o índice de dispersão utilizado, s_i , como:

$$s_i(d) = 1 - \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^I U_{pi} \quad (2.2)$$

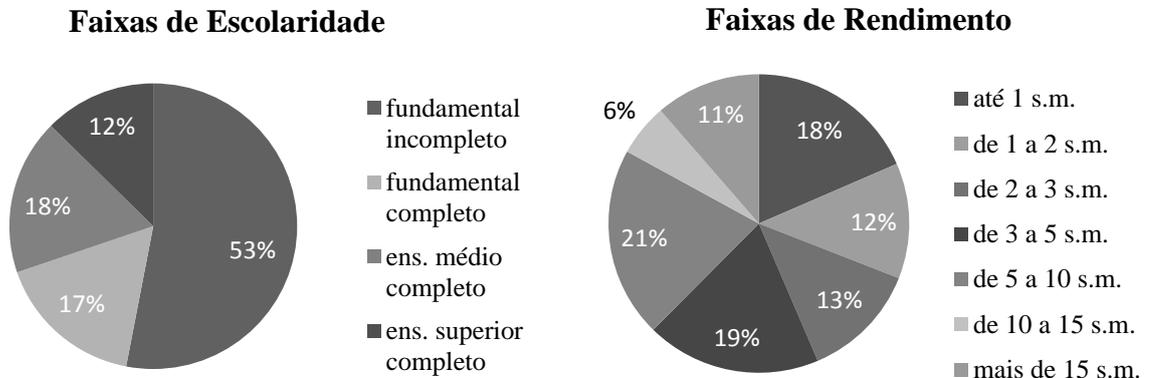
Onde,

$s_i(d)$ é o valor da dispersão urbana em A_i em função de uma vizinhança d
 N_p é o número de pixels contidos dentro de cada setor censitário A_i ;
 U_{pi} é a proporção de pixel urbanos na vizinhança d em cada pixel urbano contido em A_i .

Na forma como está especificada, a variável de dispersão urbana está diretamente relacionada à presença de espaços vazios e discontinuidades espaciais no tecido urbano. Entendemos que se trata de uma possível representação do fenômeno de dispersão urbana que não alcança outras definições apresentadas anteriormente. Entretanto, como estamos interessados em analisar as diferentes partes de uma mesma cidade, avaliamos como a mais adequada e metodologicamente acessível como uma medida local de dispersão urbana, capaz de associar a cada território da cidade diferentes níveis de densidades de usos urbanos em um alto nível de desagregação. Em geral, as métricas desenvolvidas na literatura permitem uma avaliação apenas global da dispersão urbana.

¹⁰Linguagem espacial para geoprocessamento algébrico

Figura 2.4 - Distribuição da população da RMSP em grupo de escolaridade e rendimento dos responsáveis pelos domicílios.



Fonte: Elaboração própria (Censo demográfico IBGE, 2000)

Os índices de segregação socioespacial foram calculados a partir dos dados do censo demográfico de 2000 (IBGE, 2000) em seu maior nível de desagregação possível, os setores censitários. Foram utilizadas duas medidas de segregação socioespacial propostas por Feitosa *et al*(2007), o índice local de dissimilaridade, $\check{d}_i(m)$ e o índice local de isolamento, $\check{q}_i(m)$. Foram definidos grupos populacionais a partir dos níveis de escolaridade e renda das pessoas responsáveis pelo domicílio no censo de 2000. Quatro grupos populacionais foram definidos em relação ao nível educacional: $e0$ – responsáveis com ensino fundamental incompleto; $e1$ – responsáveis com ensino fundamental completo; $e2$ – responsáveis com ensino médio completo e; $e3$ – responsáveis com ensino superior completo. Outros sete grupos foram definidos a partir do critério renda: $r0$ - responsáveis com renda de até 1 salário mínimo; $r1$ - responsáveis com renda entre 1 e 2 salários mínimos; $r2$ - responsáveis com renda entre 2 e 3 salários mínimos; $r3$ - responsáveis com renda entre 3 e 5 salários mínimos; $r4$ - responsáveis com renda entre 5 e 10 salários mínimos; $r5$ - responsáveis com renda entre 10 e 15 salários mínimos e; $r6$ - responsáveis com renda superior a 15 salários mínimos. Estes grupos foram utilizados para os cálculos dos índices de segregação local. Dessa forma, as variáveis contendo os índices calculados em função da renda estão indicados com o sufixo $_r$ e os calculados em função da escolaridade com o sufixo $_e$. A figura 2.4 apresenta a distribuição destes grupos na RMSP.

Inicialmente, calculam-se as intensidades populacionais locais, $\check{L}_i = \sum_{i=1}^I d(N_i)$ e as intensidades de grupos populacionais de $\check{L}_{mi} = \sum_{i=1}^I d(N_{mi})$ para cada sub-região A_i (correspondem aos setores censitários da RMSP). A intensidade populacional é uma somatória do número de indivíduos (N_i) em A_i e seu entorno definido por uma função decrescente em função da distância $d(\cdot)$. Esta distância é calculada entre os pontos centróides de cada A_i . Da mesma forma, é calculada a intensidade populacional para cada grupo de indivíduos m , assim N_{mi} é o número de indivíduos do grupo m em A_i e seu entorno definido pela mesma função distância $d(\cdot)$. É possível, então, calcular a proporção relativa, $\check{\tau}_{mi}$, da intensidade populacional do grupo m em cada sub-região i em relação intensidade populacional total na forma da razão $\check{\tau}_{mi} = \frac{L_{mi}}{L_i}$.

Os índices de dissimilaridade local $\check{d}_i(m)$ e de isolamento $\check{q}_i(m)$ podem ser calculados para cada sub-região A_i aplicando-se as equações abaixo:

$$\check{d}_i(m) = \sum_{m=1}^M \frac{N_i}{2NI} |\check{\tau}_{mi} - \tau_m| \quad (2.3)$$

Onde $I = \sum_{m=1}^M (\tau_m)(1 - \tau_m)$, e

$$\check{q}_i(m) = \frac{N_{mi}}{N_m} \left(\frac{\check{L}_{mj}}{\check{L}_j} \right) \quad (2.4)$$

Para o caso apresentado neste trabalho, foi aplicada uma função kernel de distância $d(\cdot)$ na forma de uma gaussiana com raio de alcance de 1000 metros¹¹. Os índices locais de segregação são calculados de forma a capturar a contribuição local a uma medida de segregação global. Desta forma, a partir da somatória de cada uma das contribuições locais é possível recompor os índices globais de segregação (FEITOSA *ET AL*, 2007). No caso da RMSP, temos para o ano de 2000 um total de 21.744 setores censitários cobrindo as áreas urbanas e rurais da região. Por este motivo, fez-se necessário uma adequação de escalas para a utilização dos índices locais para aplicações econométricas. Assim, os valores das

¹¹ A adoção deste raio de alcance busca compatibilizar as escalas dos índices de segregação com os índices de dispersão. Como as intensidades populacionais são calculadas em relação às distâncias dos centróides de cada setor censitário, foi preciso ampliar o raio de alcance da função kernel já que para os índices de dispersão, a medida deriva do raio de busca de 500 metros calculados para cada pixel contidos no setor. Assim, a medida de dispersão acaba considerando uma área de influência de 500 metros em relação a borda do setor enquanto que a medida de segregação uma área de influência de 1000 metros a partir do centro do setor.

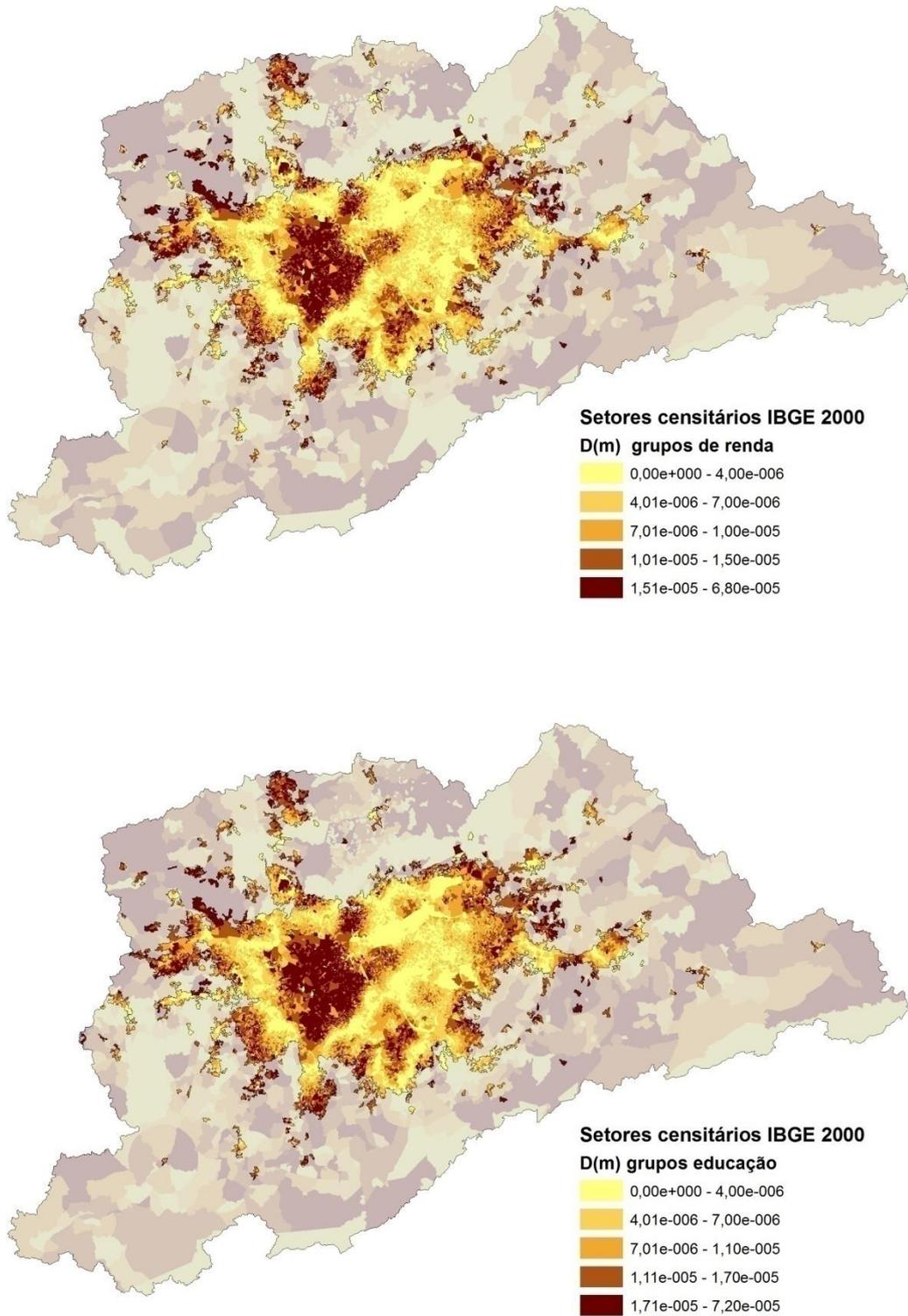
contribuições locais em cada setor censitário são muito pequenos, por este motivo foi aplicado um fator de multiplicação de 10^5 a fim de garantir maior inteligibilidade nas análises estatísticas multivariadas.

Os índices de isolamento foram calculados para os dois grupos extremos definidos em ambos os critérios. Para o caso da variável nível de escolaridade foi calculado o isolamento do grupo com ensino fundamental incompleto e do grupo com ensino superior completo, já para o critério de renda, calculou-se o isolamento do grupo com rendimento até 1 salário mínimo e, no outro extremo, com mais de 15 salários mínimos. Os indicadores revelam o padrão de macrosegregação da metrópole. Altos níveis de dissimilaridade local (Figura 2.5) foram identificados nas áreas periféricas da cidade, assim como no chamado quadrante sudoeste refletindo a concentração da camada de mais alta renda e escolaridade. Os índices de isolamento calculado para cada grupo reforça esta conclusão, revelando também nesta escala de análise certo nível de heterogeneidade presente nas áreas mais segregadas da cidade (Figuras 2.6 e 2.7). Em termos globais, foram encontrados índices de dissimilaridade igual a 0,19 para renda e 0,22 para escolaridade; isolamento global de 0,21 para o grupo com até 1 salário mínimo e 0,58 para grupo menos instruído; e isolamento global de 0,29 para os grupos com mais de 15 salários mínimos e ensino superior.

Finalmente, foi calculado o desvio padrão dos valores de elevação do terreno para cada setor censitário. Como a resolução espacial dos dados do SRTM (90 metros) é menor do que a apresentada pelas imagens LANDSAT (30 metros) (Figura 2.8), foi aplicado um processo de reamostragem por interpolação determinística a fim de garantir a mesma resolução espacial entre as duas camadas de informação. Dessa forma, foi possível compor uma camada com dados com elevação do terreno a cada 30x30 metros. A utilização do desvio padrão é uma adaptação ao índice de rugosidade de terreno proposto por Riley, De Gloria e Elliot (1999) e pode ser escrito como uma medida de dispersão entre os valores de elevação num dado ponto

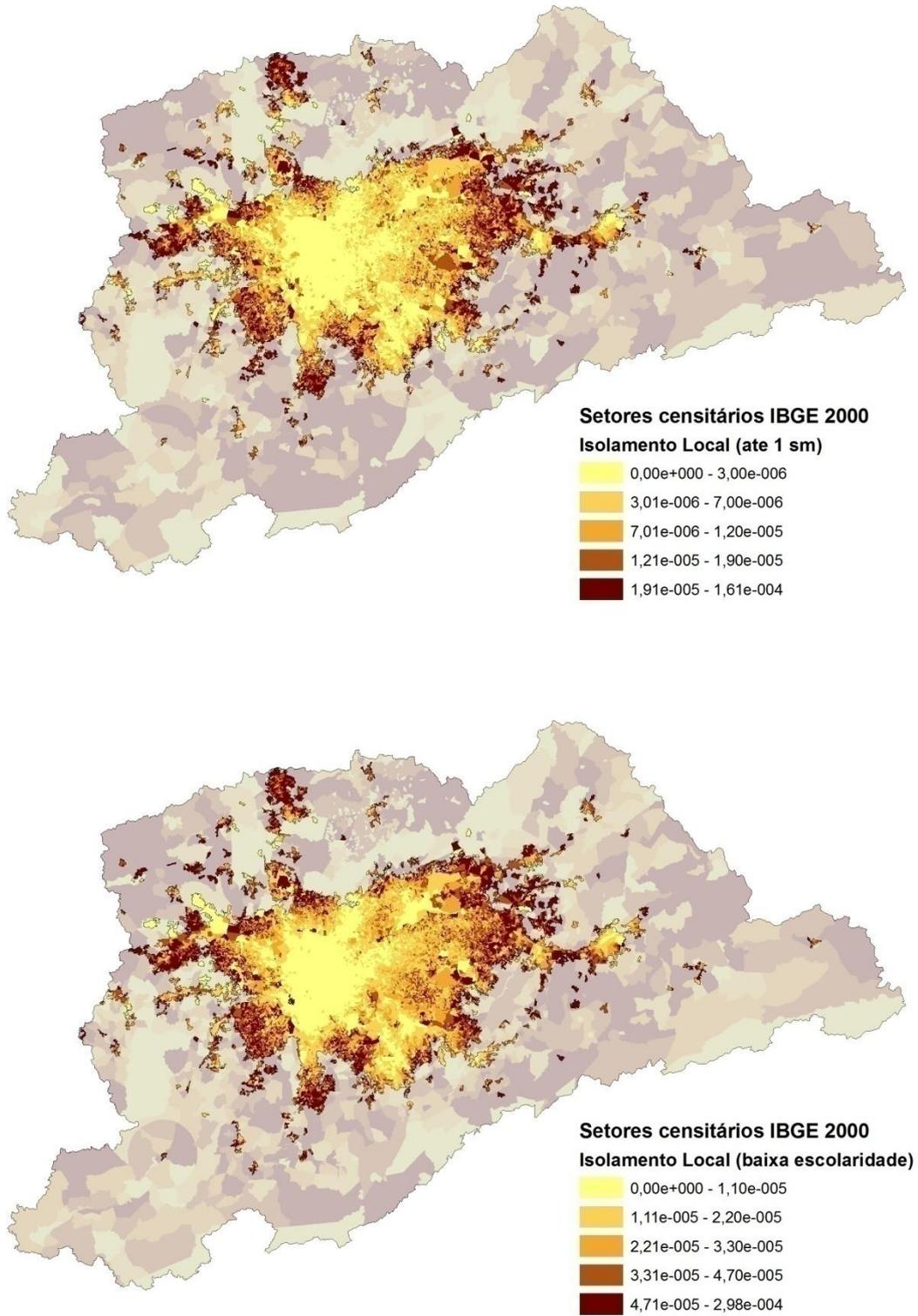
da forma $\sqrt{\sum_{i=r-1}^{r+1} \sum_{j=c-1}^{c+1} (e_{i,j} - e_{r,c})^2}$. Onde $e_{i,j}$ e $e_{r,c}$ são valores de elevação de um pixel na linha i e coluna j de uma grade e r e c são seus vizinhos.

Figura 2.5 - Índices de dissimilaridade local para grupos de renda (acima) e grupos de escolaridade (abaixo) por setor censitário da RMSP.



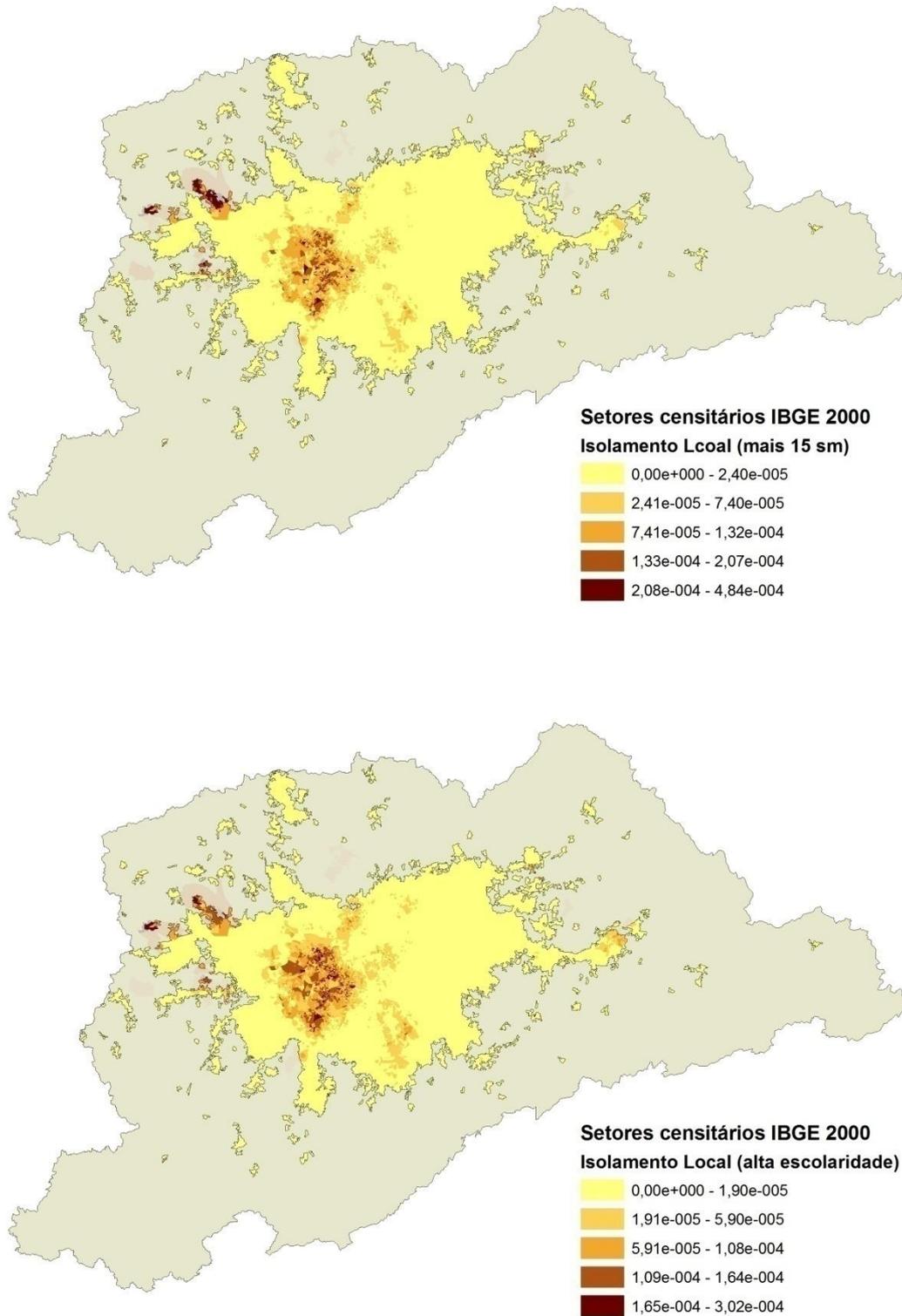
Fonte: elaboração própria a partir dos dados do censo 2000/IBGE

Figura 2.6 - Índices de isolamento local para grupos de baixa renda (acima) e grupos de baixa escolaridade (abaixo) por setor censitário da RMSP.



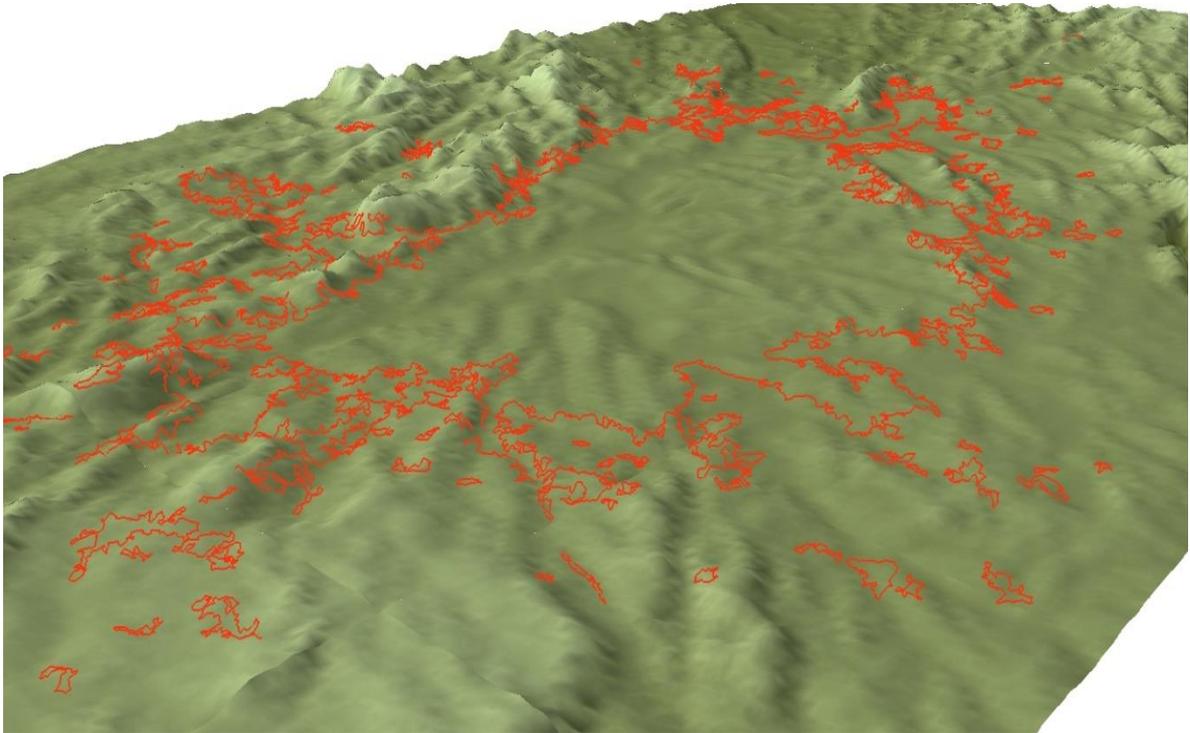
Fonte: elaboração própria a partir dos dados do censo 2000/IBGE

Figura 2.7 - Índices de isolamento local para grupos de alta renda (acima) e grupos de alta escolaridade (abaixo) por setor censitário da RMSP.



Fonte: elaboração própria a partir dos dados do censo 2000/IBGE

Figura 2.8 - Perspectiva em vista de pássaro sobre o modelo numérico de terreno da RMSP gerado a partir dos dados da SRTM/NASA e sobreposição a mancha urbana.



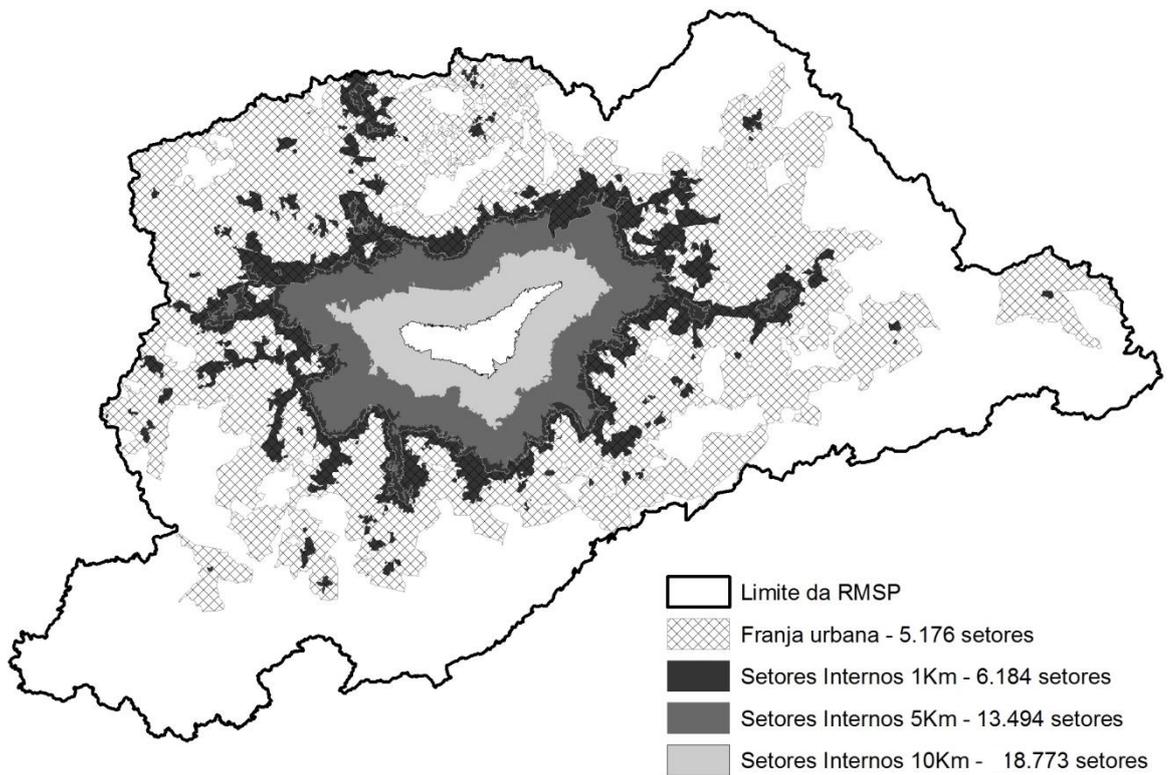
Fonte: elaboração própria a partir dos dados do SRTM / NASA

2.3.3 Resultados obtidos

As análises econométricas foram realizadas no *Stata11* utilizando o algoritmo *ivregress 2sls* para a estimação do modelo *2SLS*. Partiu-se da definição de subconjuntos amostrais definidos em função da distância com o limite da mancha urbana detectada pela imagem de satélite. Isso porque a proximidade com fronteira rural - urbana é o local de constituições mais recentes de assentamentos urbanos dentro da estrutura urbana, ou seja, é nesta região que se devem esperar áreas com maior mistura de usos urbanos e não-urbanos. Dessa forma, utilizamos quatro subconjuntos amostrais nas análises (Figura 2.9). O primeiro definido como franja urbana é composto por 5.176 setores censitários localizados a uma distância de até 500 metros do limite observado da mancha urbana tanto para o lado interno a mancha como para o lado externo, incluindo dessa forma setores censitários predominantemente ocupados por usos não urbanos. Muitas vezes esses setores apresentam grande extensão territorial e baixa densidade populacional. Os outros três subconjuntos foram definidos restringindo a seleção

apenas aos setores internos ao limite da mancha urbana. Foram selecionados 6.184 setores a uma distância de até 1 km do limite; um segundo subconjunto contendo os 13.494 setores a uma distância de até 5 km do limite e; o maior subconjunto analisado contendo 18.773 setores censitários a uma distância de até 10 km do limite da mancha urbana.

Figura 2.9 - Conjunto de setores selecionados para compor as amostras utilizadas no modelo econométrico.



Fonte: elaboração própria a partir dos dados do Censo Demográfico IBGE/2000

Iniciamos a análise com uma regressão OLS dos índices de segregação local em relação ao índice médio de dispersão urbana do setor censitário (*dispersão*) para os quatro subconjuntos selecionados. Os resultados (Tabela 2.1) apontaram para um modelo estatisticamente significativo com coeficientes também significativamente diferentes de zero em praticamente todas as regressões. As exceções foram encontradas nas análises realizadas no subconjunto da franja urbana em relação ao índice de dissimilaridade calculado em função da renda (*d_renda*), do isolamento calculado para o grupo de menor nível de escolaridade (*isol_e0*) e, para o subconjunto interno a mancha urbana com alcance de 1 km em relação ao isolamento

do grupo de alta renda (*isol_r6*). Entretanto, mesmo para os modelos estatisticamente significativos, os coeficientes estimados apresentam valores muito próximos à zero. Ainda assim, os coeficientes estimados para os índices de segregação calculados para os grupos de escolaridade apresentam valores maiores do que os calculados em relação aos níveis de renda. Esse efeito era esperado na medida em que os índices de segregação calculados com menos subconjuntos populacionais tendem apresentar valores maiores. Vale também ressaltar os baixíssimos valores de R^2 encontrados nas regressões OLS. Isto indica que ainda que o modelo, apesar de estatisticamente significativo, não pode ser considerado como bom preditor na relação dispersão – segregação.

A análise OLS permite estabelecer uma primeira leitura do comportamento da variável dependente em relação aos índices de segregação selecionados para a análise. Esta primeira aproximação analítica aponta para uma relação onde a direção dos sinais dos coeficientes encontrados pode-se dizer de acordo com as expectativas iniciais que estabeleciam que áreas com maior média no índice de dispersão, ou seja, áreas com urbanização mais esparsa seriam áreas com maiores índices de dissimilaridades locais. Entretanto, pode-se imaginar que existe nesta relação uma série de fatores não observados que possam atuar na relação de interesse. Como indicado por Wooldridge (2006, p.454), podemos estar diante de uma situação onde o estimador de um parâmetro positivo é viesado para zero e tenhamos constatado uma estimativa positiva estatisticamente significativa, ainda assim teremos descoberto alguma coisa: a variável explicativa tem efeito positivo sobre a variável dependente, e é provável que tenhamos subestimado o efeito.

Podemos imaginar que haja um viés de seleção na medida em que o indivíduo vivendo em áreas mais remotas tenha decidido se isolar em relação a outros grupos (sendo este o principal motivo pela sua localização). Partimos então para a aplicação da regressão em dois estágios (2SLS) com a utilização da variável instrumental. O primeiro ponto de interesse neste tipo de abordagem é o comportamento da variável instrumental em sua relação com a variável explicativa. Uma maneira de acessar a “força” de uma variável instrumental é avaliando os resultados obtidos no primeiro estágio. Neste caso, observamos os resultados obtidos no valor da estatística F do primeiro estágio. Segundo Angrist e Pischke (2009, p.208) o viés da abordagem 2SLS se aproxima do viés da OLS na medida em que a estatística F do primeiro estágio diminui. Em nosso caso, parece estarmos seguros em relação ao desempenho de nossa

variável instrumental ao analisarmos os valores da estatística F e R^2 obtidos nos primeiros estágios para os conjuntos amostrais analisados (tabela 2.2).

Tabela 2.1 – Resultados obtidos para regressão por OLS para os diferentes conjuntos amostrais

<i>Franja</i>						
	<i>d_renda</i>	<i>isol_r0</i>	<i>isol_r6</i>	<i>d_esc</i>	<i>isol_e0</i>	<i>isol_e3</i>
<i>dispersão</i>	0.001	0.004	-0.002	0.001	0.001	-0.002
	-1.74	(4.88)**	(2.10)*	(3.00)**	-0.76	(4.02)**
R^2	0	0	0	0	0	0
N	5,176	5,176	5,176	5,176	5,176	5,176
<i>Alcance 1Km</i>						
	<i>d_renda</i>	<i>isol_r0</i>	<i>isol_r6</i>	<i>d_esc</i>	<i>isol_e0</i>	<i>isol_e3</i>
<i>dispersão</i>	0.004	0.007	0	0.005	0.011	-0.002
	(10.18)**	(7.86)**	-0.25	(11.18)**	(6.94)**	(2.55)*
R^2	0.02	0.01	0	0.02	0.01	0
N	6,184	6,184	6,184	6,184	6,184	6,184
<i>Alcance 5Km</i>						
	<i>d_renda</i>	<i>isol_r0</i>	<i>isol_r6</i>	<i>d_esc</i>	<i>isol_e0</i>	<i>isol_e3</i>
<i>dispersão</i>	0.006	0.012	-0.003	0.008	0.023	-0.005
	(19.50)**	(18.37)**	(2.56)*	(21.24)**	(19.82)**	(6.33)**
R^2	0.04	0.04	0	0.04	0.04	0
N	13,494	13,494	13,494	13,494	13,494	13,494
<i>Alcance 10Km</i>						
	<i>d_renda</i>	<i>isol_r0</i>	<i>isol_r6</i>	<i>d_esc</i>	<i>isol_e0</i>	<i>isol_e3</i>
<i>dispersão</i>	0.005	0.016	-0.015	0.006	0.031	-0.017
	(15.14)**	(26.24)**	(12.61)**	(16.17)**	(28.31)**	(17.96)**
R^2	0.01	0.06	0.01	0.01	0.06	0.01
N	18,773	18,773	18,773	18,773	18,773	18,773

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

Os resultados obtidos com a aplicação da regressão em dois estágios (tabela 2.3) confirmam as expectativas de associação significativa entre a medida de dispersão urbana e as variáveis de segregação utilizadas. A magnitude dos coeficientes aumenta quando utilizamos a variável instrumental como esperado. Em todos os subconjuntos analisados há uma associação positiva

entre os índices de dissimilaridade local e a dispersão urbana, sendo que para os setores internos a mancha urbana este efeito é tão mais intenso quanto mais próximo ao limite da mancha urbana. Se observarmos o comportamento dos índices de isolamento verificamos que para os grupos com menor instrução e renda (*isol_r0* e *isol_e0*) a significância se mantém em todos os conjuntos amostrais indicando que a dispersão urbana é o isolamento dos grupos mais pobres e menos instruídos apresentam relação positiva mesmo em porções mais internas da estrutura espacial urbana. Finalmente, observando o comportamento dos índices de isolamento do grupo de maior renda e maior instrução (*isol_r6* e *isol_e3*), verificamos que sua associação é significativa apenas aos setores mais internos da estrutura urbana, entretanto, neste caso o sinal do coeficiente se inverte, indicando uma associação negativa entre a dispersão urbana e o isolamento do grupo mais rico da população que vive em áreas mais centrais da cidade.

Tabela 2.2 – Resultados obtidos no primeiro estágio da regressão 2SLS

	Franja	1 km	5 km	10 km
<i># observações</i>	5176	6184	13494	18773
<i>F</i>	468.48	889.09	2055.08	2611.0
<i>Prob > F</i>	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>R</i> ²	0.2398	0.1297	0.165	0.1722

Este resultado provavelmente reflete o conhecido processo de que os grupos mais pobres e menos instruídos ocupam áreas nas franjas da cidade onde a conversão de áreas periféricas em uso urbano se dá de maneira incompleta, sem a devida infraestrutura, serviços públicos e sequer serviços privados. Em outras palavras, estes grupos habitam áreas onde falta "cidade". Não parece ser uma decisão intencional mudar-se para estas áreas a menos que não haja outra possibilidade. Desta forma, a associação entre a dispersão urbana e o isolamento dos grupos mais pobres e menos instruídos tem consequências para as tradicionais políticas habitacionais que alocam grandes projetos de habitação social em periferias remotas na medida em que economizam no valor da terra para a construção de um número maior de unidades habitacionais. Ainda que este mecanismo possa potencializar a oferta de moradias para as famílias mais pobres, esta solução pode acabar reforçando sua condição econômica desprivilegiada constituindo nestes territórios armadilhas de ciclos viciosos de pobreza.

Tabela 2.3 – Resultados obtidos para regressão por 2SLS para os diferentes conjuntos amostrais

<i>Franja</i>						
	<i>d_renda</i>	<i>isol_r0</i>	<i>isol_r6</i>	<i>d_esc</i>	<i>isol_e0</i>	<i>isol_e3</i>
<i>dispersão</i>	0.006 (5.53)**	0.016 (6.45)**	0.005 -1.64	0.007 (5.97)**	0.023 (5.74)**	0.001 -0.44
<i>N</i>	5,176	5,176	5,176	5,176	5,176	5,176
<i>Alcance 1Km</i>						
	<i>d_renda</i>	<i>isol_r0</i>	<i>isol_r6</i>	<i>d_esc</i>	<i>isol_e0</i>	<i>isol_e3</i>
<i>dispersão</i>	0.020 (12.96)**	0.043 (12.19)**	0.005 -1.64	0.025 (13.96)**	0.095 (14.39)**	-0.002 -0.87
<i>N</i>	6,184	6,184	6,184	6,184	6,184	6,184
<i>Alcance 5Km</i>						
	<i>d_renda</i>	<i>isol_r0</i>	<i>isol_r6</i>	<i>d_esc</i>	<i>isol_e0</i>	<i>isol_e3</i>
<i>dispersão</i>	0.019 (19.79)**	0.041 (19.02)**	-0.003 -1.23	0.024 (21.12)**	0.097 (23.09)**	-0.009 (4.45)**
<i>N</i>	13,494	13,494	13,494	13,494	13,494	13,494
<i>Alcance 10Km</i>						
	<i>d_renda</i>	<i>isol_r0</i>	<i>isol_r6</i>	<i>d_esc</i>	<i>isol_e0</i>	<i>isol_e3</i>
<i>dispersão</i>	0.012 (14.04)**	0.048 (24.73)**	-0.038 (10.75)**	0.014 (13.28)**	0.113 (29.22)**	-0.047 (15.32)**
<i>N</i>	18,773	18,773	18,773	18,773	18,773	18,773

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

Ainda que não tenhamos conhecimento de nenhum outro trabalho indicando de maneira tão robusta esta relação, a maioria da literatura sobre políticas habitacionais considera os riscos de assentamento de população pobre em áreas remotas. Surpreendente em nossos resultados o fato de que talvez não haja relação causal entre o isolamento dos grupos mais ricos com a dispersão urbana. Tal resultado vai de encontro com o consenso de que a expansão de condomínios fechados são causadores de dispersão, pelo menos no caso da RMSP e na escala de análise que estamos observando. Se o viés não capturado pelo modelo OLS decorre do fato de que estes grupos intencionalmente se isolam em relação a outros grupos, a relação causal seria neste caso de outra natureza.

Tabela 2.4 – Resultados obtidos para regressão por 2SLS para os diferentes conjuntos amostrais com introdução de covariáveis

Franja						
	<i>d_renda</i>	<i>d_renda</i>	<i>d_renda</i>	<i>isol_r0</i>	<i>isol_r0</i>	<i>isol_r0</i>
<i>dispersão</i>	0.006 (5.53)**	-0.003 -0.88	-0.004 -1.15	0.016 (6.45)**	0.017 -1.87	0.014 -1.61
<i>ln_area</i>		0.097 (3.30)**	0.043 -0.88		-0.01 -0.13	-0.276 (2.22)*
<i>ln_perimeter</i>			0.116 (2.11)*			0.571 (4.45)**
<i>N</i>	5,176	5,176	5,176	5,176	5,176	5,176
Setores 1km						
	<i>d_renda</i>	<i>d_renda</i>	<i>d_renda</i>	<i>isol_r0</i>	<i>isol_r0</i>	<i>isol_r0</i>
<i>dispersão</i>	0.020 (12.96)**	0.013 (5.93)**	0.012 (5.79)**	0.043 (12.19)**	0.044 (8.36)**	0.04 (8.02)**
<i>ln_area</i>		0.084 (6.37)**	0.022 -0.83		-0.017 -0.56	-0.32 (5.14)**
<i>ln_perimeter</i>			0.125 (3.11)**			0.619 (6.53)**
<i>N</i>	6,184	6,184	6,184	6,184	6,184	6,184

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

Por fim, selecionamos os subconjuntos amostrais da franja e dos setores internos a mancha a 1Km da borda para introduzir covariáveis na tentativa de verificar a estabilidade do modelo. Introduzimos a extensão territorial do setor censitário e também a extensão linear do seu perímetro. Estas duas medidas informam sobre as características geométricas dos setores censitários. Como a definição dos limites dos setores censitários é uma decisão eminentemente operacional tomada em função da aplicação dos questionários pelo IBGE, é provável que estas características possam influenciar nas medidas de dispersão e segregação, sobretudo quando incluímos setores com predominância de usos não urbanos e com baixa densidade demográfica. Isto porque ambas as dimensões são calculadas em função das áreas de influência onde a dimensão espacial é incorporada explicitamente na sua construção algébrica a partir da definição de raios de alcance.

Os resultados (tabela 2.4) foram bem distintos entre os dois conjuntos amostrais. Para o subconjunto da franja urbana que inclui setores externos a mancha urbana a inclusão das covariáveis no modelo interferem na significância estatística. Assim, neste subconjunto, os coeficientes para as métricas de dissimilaridade e isolamento do grupo de menor renda e instrução que apresentavam valores positivos e estatisticamente significantes quando analisados isoladamente, deixam de ser significativos quando as covariáveis são introduzidas. Já para os setores internos a mancha urbana, a introdução das covariáveis não alterou a significância dos coeficientes que se mantiveram estáveis com apenas algumas alterações nas magnitudes.

2.4 Conclusão

A proposta aqui desenvolvida se apoiou em um experimento para a constituição de uma metodologia para a análise objetiva das relações entre níveis de dispersão urbana e segregação socioespacial que estão na base do entendimento das estruturas espaciais urbanas. Foi possível, através do esforço de construção de bases de dados e índices georreferenciados a constituição de uma base composta integralmente por dados de livre acesso, imagens de satélite, modelos digitais de terreno e malhas digitais de setores censitários, todos de livre acesso. Os resultados encontrados confirmaram a potencialidade de utilização de inferências indiretas com introdução de variáveis instrumentais em análises desta natureza. A aptidão topográfica ao uso urbano é uma variável exógena relacionada ao padrão de ocupação urbana. A medida de dispersão da elevação do terreno como uma alternativa ao Índice de Rugosidade do Terreno apresentou bons resultados na estimação do 1º estágio. Os índices de segregação utilizados geraram modelos estatisticamente significativos que acabaram por confirmar a expectativa de que áreas com urbanização mais dispersa são também áreas mais segregadas. Além disso, quanto mais próximas ao limite da área urbanizada, mais evidente é esta relação.

O exercício de modelagem permite concluir que há uma relação entre os níveis de dispersão urbana e os níveis de segregação socioespacial para o caso de São Paulo. Entretanto, os diferentes resultados para cada grupo populacional informam que esta relação é diferenciada indicando que a forma de ocupação se dá por processos distintos. As vastas periferias que abrigam as parcelas mais pobres e menos instruída se constituíram a partir dos anos 50 por processos de dispersão urbana em decorrência da *expansão centrífuga* da cidade. Um

crescimento que tem suas origens em um processo de estruturação do espaço de caráter fortemente monocêntrico. Nestes primórdios, não havia nestas parcelas dos territórios concentração de capitais suficientemente significativas para gerir um desenvolvimento local endógeno (LAGENBUCH, 1971, p.337). Se neste momento inicial já se caracterizava o surgimento de um "cinturão suburbano periférico" formado por uma área de expansão embrionária da futura metrópole, hoje constatamos sua consolidação em espaços heterogêneos, densamente ocupados em geral por populações segregadas com raízes na ilegalidade tolerada pelo Estado ou pela sua ação direta na produção de grandes conjuntos habitacionais (ROLNIK, 1997).

Os resultados alcançados reforçam, em parte, o que Pedro Abramo (2009, p.63) descreve como funcionamento do mercado informal, referindo-se especificamente ao que ele chama de submercado de loteamentos informais. Para ele, a produção da forma de ocupação do solo da cidade resulta da tendência a extensificação do uso do solo, produzindo uma forma difusa do território informal que tem sua origem na estratégia espacial dos loteadores informais que buscam glebas baratas e sem infraestrutura na franja da ocupação urbana. Como vimos pelos nossos resultados, há claras indicações que nas áreas mais externas da área ocupada, as áreas caracterizadas por ocupações mais dispersas e difusas são também mais segregadas em relação a sua composição social. Entretanto, se observamos os resultados encontrados com os setores censitários mais internos da cidade, as áreas mais dispersas são também as que apresentam maior isolamento das camadas mais pobres e menos instruídas da população. Esta constatação vai de encontro ao que o autor indica como funcionamento do submercado das áreas informais consolidadas no interior da estrutura urbana caracterizada por uma tendência de compactação e adensamento do território informal (ABRAMO, 2009, p.66). Nossos resultados mostram que mesmo em áreas mais internas, apesar de uma tendência a menor segregação (vide resultados dos coeficientes encontrados para a dissimilaridade), mantém-se significativa a tendência ao isolamento de grupos mais pobres e de menor instrução em áreas mais dispersas. Pelo contrário, se observamos o comportamento do isolamento do grupo mais rico e instruído, os resultados indicam que para este há uma tendência de segregação em território mais compactos.

A metodologia proposta pretende trazer novos dados e evidências ao debate sobre a consequência de políticas habitacionais e dos mercados formais e informais na estruturação do espaço urbano que promovem ao mesmo tempo a extensão da área urbanizada e a

diferenciação espacial por níveis socioeconômicos. Dos vastos territórios ocupados por loteamentos irregulares, passando pelos grandes conjuntos habitacionais construídos nas periferias da cidade nas décadas de 70 e 80, aos investimentos alavancados pela recente expansão do crédito imobiliário no país, pouco se discute sobre a forma como interferem na estrutura espacial urbana, ficando o debate centralizado sobre a questão habitacional apenas. Na medida em que é possível estabelecer relações diretas entre a forma urbana, ou melhor, sobre o espaço construído derivado das decisões individuais e coletivas e o tecido social resultante, rompemos com a perspectiva míope de que o espaço urbano é simples suporte para a sobreposição de políticas públicas aplicadas a partir de lógicas setoriais como uma sobreposição de camadas de presença/ausência de infraestruturas e serviços.

3 A ESTRUTURA ESPACIAL URBANA: IDENTIFICANDO SUBCENTROS DE EMPREGO NA RMSP

3.1 Subcentros de emprego: potenciais locais e consequências para a estrutura urbana.

Sob o ponto de vista da economia, a estrutura espacial intraurbana¹² está relacionada ao grau de concentração espacial da população e do emprego na área urbana. Em geral, pode-se fazer uma distinção entre dois tipos de concentração espacial: no nível geral da cidade, as atividades podem estar *centralizadas* ou *descentralizadas* a depender de como elas estão concentradas ao redor dos centros principais de negócios. Em um nível mais local, as atividades podem apresentar um padrão de *agrupamentos (clustered)* como numa distribuição policêntrica ou mais dispersas em um padrão mais regular. (ANAS; ARNOTT; SMALL, 1998). Estes arranjos espaciais são resultantes de forças de atração que ocorrem porque existe algum tipo de economia de escala, a proximidade entre fornecedores, produtores e consumidores faz com que se economize em custos de transporte além de criar sinergias positivas na circulação de informação e conhecimento em uma cidade. Entretanto, ao mesmo tempo em que são geradas essas externalidades positivas de aglomeração, surgem também as externalidades negativas relacionadas principalmente aos custos de congestionamento, preço da terra e degradação ambiental. (KRUGMAN, 1998; FUJITA; KRUGMAN; VENABLES, 1999). Na análise da estrutura espacial intraurbana, o surgimento de subcentros de emprego resulta da atuação de forças de atração e repulsão que acabam por definir a disputa por localizações de firmas e das residências através do espaço intraurbano. Este ponto é de interesse crucial na abordagem microeconômica da economia urbana, pois é a partir da identificação do centro principal e eventuais subcentros de empregos que se estabelecem os gradientes de renda da terra urbana que embasam os modelos de uso e valor da terra.

Na literatura norte-americana a tendência a policentralidade é muitas vezes entendida como uma característica negativa nas cidades atuais em função dos seus efeitos no esvaziamento e deterioração das áreas centrais, aumento dos custos de implantação de infraestruturas e congestionamentos. Mills e Hamilton (1993) analisam o processo de descentralização ocorrido nas cidades norte-americanas apontando que entre 1950 e 1980, a participação dos empregos localizados no distrito central em

¹²No contexto desta análise, seguimos a definição de estrutura espacial intraurbana como proposta em Villaça (1998) a qual é definida a partir das relações espaciais dos "elementos componentes" da estrutura. O autor aponta que não devemos confundir estrutura espacial intraurbana com as configurações físicas do ambiente construído. O uso do termo "estrutura" vincula-se às articulações funcionais estabelecidas por diferentes níveis de acessibilidade entre os elementos constituintes da estrutura, ou seja, o centro principal, subcentros de empregos, os bairros residenciais e sua distribuição no espaço em função das características agregadas de seus habitantes. Neste ensaio, focamos na análise da distribuição espacial dos subcentros de emprego.

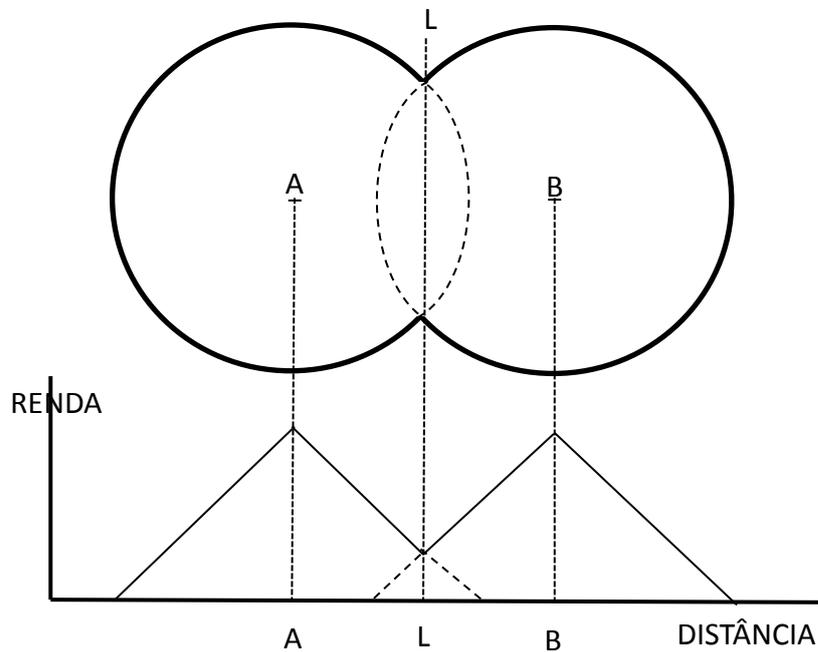
relação ao total de empregos na cidade caiu de 70% para 49%. Estes números ilustram bem o processo de reestruturação urbana ocorrida a partir da segunda metade do século passado, entretanto analisados isoladamente não são capazes de revelar se a distribuição espacial destes empregos se deu na forma de subcentros ou de maneira mais dispersa. Ainda assim, autores como Brueckner (2000) são mais cautelosos em relação a esta crítica e apontam também efeitos positivos dentro desta perspectiva. Para ele, a suburbanização dos empregos é antes decorrência do que causadora de um crescimento excessivo das estruturas urbanas.

Na realidade, para que se possa valorar se uma estrutura urbana policêntrica é mais eficiente que uma monocêntrica, é preciso levar em conta os custos de transportes envolvidos nos deslocamentos diários de pessoas e mercadorias e os custos da terra urbanizada em relação ao tamanho da aglomeração. Qualificar a tendência ao excessivo policentrismo como uma característica negativa, ou seja, com alocação ineficiente de recursos, geralmente deriva de uma observação a partir do modelo monocêntrico que não considera os custos de congestionamento, ou ao menos o subestima. (ANAS, 2012). Aliás, pode-se dizer que a sub-valorização dos custos de congestionamentos é importante componente dos problemas nas grandes cidades atuais onde muitas vezes o transporte individual acaba sendo incentivado por considerar apenas os custos individuais e não os custos sociais coletivos de seu uso agregado em relação à capacidade dos sistemas de vias de tráfego.

No que se refere aos aspectos metodológicos, a discussão sobre a limitação do modelo monocêntrico dentro da economia urbana tem ganhado força na medida em que as análises empíricas sobre a estrutura urbana têm revelado cidades com padrões policêntricos. (FUJITA; OGAWA, 1982; BENDER; HWANG, 1985; MCDONALD, 1987; ANAS; ARNOTT; SMALL, 1998). Já em seu trabalho seminal onde estabelece as bases formais do modelo monocêntrico, Alonso (1964) previu a possibilidade de existirem outros subcentros além do centro principal. Estes subcentros poderiam ser observados como competidores ou como complementares dentro da estrutura urbana. Alonso não chega a formalizar o efeito destes subcentros nos modelos de uso da terra, mas apresenta concepções geométricas destes efeitos nos gradientes de preço do solo discutindo a especificidade destes subcentros em função de suas características funcionais na estrutura urbana. Segundo Alonso:

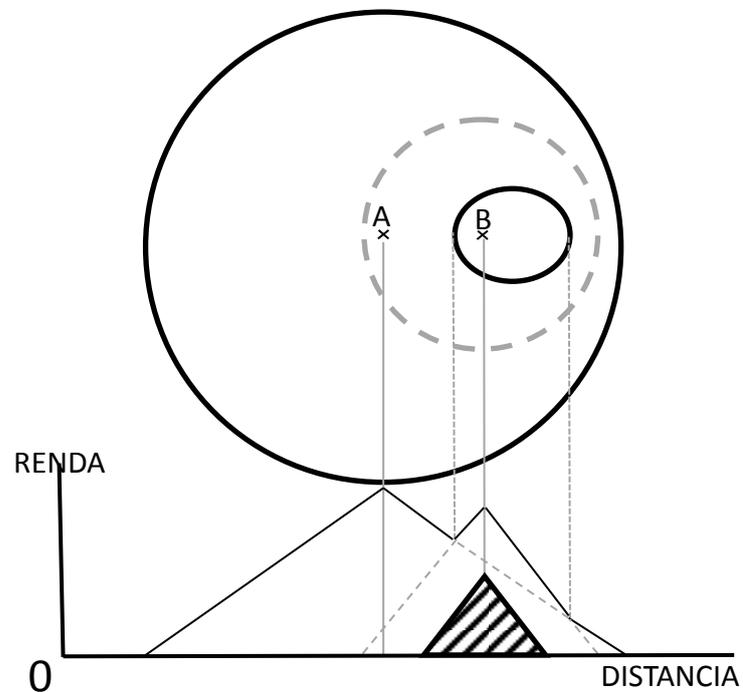
A concepção mais simples seria considerar a existência de dois centros independentes A e B na figura (3.1). Cada um servindo a sua própria população de influência. No caso destes centros serem próximos o suficiente, a solução se aproximaria ao esquema apresentado. A fronteira resultante entre as áreas de ocupação da população dos dois centros, no caso de suas superfícies de renda ser idênticas, seria a linha reta LL entre os dois centros. O preço pago pela terra é maior no ponto de intersecção como demonstrado pelas linhas pontilhadas na parte inferior do gráfico.

Figura 3.1 - Esquema de gradientes de renda da terra urbana com influência de dois centros competidores.



Fonte: Adaptado de Alonso (1964, p.135)

Figura 3.2 - Esquema de gradientes de renda da terra urbana com influência um centro principal e um subcentro complementar.



Fonte: Adaptado de Alonso (1964, p.136)

Outra situação seria considerar a existência de um centro dominante A e um subcentro de menor influência B (Figura 3.2). Quando a população localizada ao redor do subcentro B é totalmente envolvida pela população centrada em A. Os preços pagos pela população em B são maiores do

que no caso do subcentro ser independente de A, já que os preços marginais são determinados em competição com a população em A. Os preços pagos em B caso ele fosse um centro independente de A estão representados esquematicamente na área sombreada na parte inferior da figura, e sua densidade seria menor. (ALONSO, 1964, p.135)

Os efeitos de centros concorrentes e complementares apresentados por Alonso nos gradientes de renda limitam-se aos efeitos nas densidades mas nada indicam sobre o que poderia levar ao surgimento destes subcentros. A resposta a esta pergunta requer outro referencial, aquele que trata especificamente das forças de aglomeração. O clássico trabalho de Fujita e Ogawa (1982) desenvolve um modelo para tratamento de contextos urbanos não monocêntricos onde é introduzida a *função de potencial locacional*. Esta função busca capturar os efeitos de economia de aglomeração que rege a propensão das empresas a se agrupar espacialmente. Formalmente, a função de potencial pode ser especificada como:

$$F(x) = \int b(y)e^{-\alpha d(x,y)} dy \quad (3.1)$$

Onde $F(x)$ é o *potencial locacional* na localização x ; $b(y)$ é a densidade de firmas em y ; α é o parâmetro de potencial (≥ 0); e $d(x, y) = |x - y|$ é a distância entre firmas localizadas em x e y . A contribuição fundamental desta abordagem reside na possibilidade que o modelo traz na verificação do impacto da alteração dos parâmetros que definem o potencial locacional na estrutura espacial intraurbana. Neste sentido, o modelo prevê que quando estes parâmetros atingem valores críticos, a cidade deve experimentar uma transição estrutural catastrófica¹³, havendo então a predisposição para o surgimento de novas centralidades. Em função da durabilidade das edificações e da imperfeita possibilidade de substituição de usos residenciais em não residenciais é difícil encontrar evidências empíricas de mudanças catastróficas nas cidades atuais, assim, o estudo do fenômeno da mudança catastrófica raramente é investigado nas pesquisas de economia urbana. Esta perspectiva é detalhadamente desenvolvida em Fujita, Krugman e Venables (2001) onde se estabelece as bases formais entre a relação do total populacional (N), e a distância em relação ao centro da aglomeração urbana (r) através da função de potencial de mercado. Esta abordagem permite a determinação teórica das condições de equilíbrio para a manutenção de uma estrutura do tipo monocêntrica. Da mesma forma, dá indicações de como evoluiria a configuração policêntrica no caso do rompimento destas condições.

¹³tradução literal do termo original utilizado pelos autores *catastrophic structural transition*

Anas, Arnott e Small (1998) retomam esta perspectiva evidenciando as tendências a policentralidade como uma mudança qualitativa nos padrões de crescimento urbano nas últimas décadas do século passado. Através da análise de estudos empíricos baseados em gradientes de densidade introduzidos por Clark (1951) os autores afirmam que existem duas regularidades empíricas que podem ser concisamente constatadas: “A primeira é de que a densidade declina conforme se distancia do centro da cidade – o gradiente de densidade é positivo; a segunda é que praticamente todas as cidades vêm se descentralizando durante o último século – o gradiente vem declinando ao longo do tempo” (ANAS; ARNOTT; SMALL, 1998; p.1436).

Apesar de amplamente disseminadas, Anselin e Can (1986) apontam que certas precauções devem ser adotadas nas abordagens baseadas em gradientes de densidade. Seus resultados estão inexoravelmente associados a efeitos derivados de três aspectos metodológicos que muitas vezes são desconsiderados: (1) a influência da escala das unidades de análise; (2) os procedimentos de calibragem/estimação e; (3) a validação de alternativas de formulação. As unidades espaciais de análise em geral estão restritas ao conjunto de dados disponíveis para cada cidade. Os modelos de estimação em geral são baseados em regressões de mínimos quadrados ordinários aplicados em formas funcionais linearizadas usualmente com especificações exponenciais negativas. Segundo os autores, o risco de se obter estimativas viesadas em abordagens existe na medida em que não forem consideradas as estruturas de autocorrelação espacial que os resíduos possam exibir, rompendo com a condição necessária de independência dos erros. Uma maneira de superar tais riscos seria a utilização de regimes espaciais nos modelos de regressão.

Frente à rigidez do suporte espacial dos dados e às interferências que os diferentes modelos de estimação impõem, pode-se dizer que a identificação unívoca de subcentros de emprego sempre dependerá de certo grau de arbitrariedade na definição dos limiares de valores em relação à métrica utilizada para sua definição. Tomando como exemplo o caso onde o subcentro é definido a partir do gradiente de densidade de empregos em relação à distância ao centro principal, caberia a pergunta: Qual é densidade mínima de empregos para que uma região seja classificada como um subcentro? Qual seria a função de densidade que melhor estimaria o modelo estrutural das densidades de empregos na cidade? Além disso, não é difícil perceber que o nível de desagregação dos dados também influencia substancialmente esta

decisão. Dependendo do nível de desagregação dos dados, uma região pode deixar de ser identificada como um subcentro apenas devido ao fato de estar agrupada com áreas vizinhas com baixo número de empregos, diluindo sua intensidade por uma interferência de heterogeneidade interna a unidade de área às quais os dados estão associados. Um típico efeito de escala associado ao problema das unidades de área modificáveis (MAUP). (OPENSHAW, 1984).

Fora do campo mais estrito da economia urbana, a questão da definição de subcentros urbanos também suscita discussões. Quando situada em outros campos disciplinares como a geografia, a sociologia e o urbanismo, a ideia de centralidade urbana adquire matizes de ordem diversa das exclusivamente funcionais sobre as quais se apoiam as análises econômicas. Estas dimensões imateriais são difíceis de serem operacionalizadas em modelos formais e por isso não comparecem nos estudos mais relevantes da economia urbana. Ainda assim, constituem chaves importantes de interpretação destes espaços na medida em que remetem aos níveis simbólicos e hierárquicos que organizam os campos semânticos do aglomerado urbano. No campo do urbanismo, há o reconhecimento da importância de identificação dos subcentros para a compreensão da estrutura urbana. Villaça (1998) em seu trabalho sobre a estrutura urbana nas cidades brasileiras define subcentros como aglomerações diversificadas e equilibradas de comércio e serviços, que não o centro principal; ou ainda uma réplica, em tamanho menor, do centro principal, com o qual concorre em parte sem, entretanto, a ele se igualar. Segundo o autor, o poder polarizador e estruturador de um subcentro é função da complementaridade de atividades, uma vez que, quanto maior a variedade de comércio e serviços existentes num centro, menor o número de viagens que um consumidor necessita fazer para ter todas as suas necessidades atendidas. Além disso, na visão do autor, a influência do subcentro é restrita a uma parte da cidade, enquanto que o centro principal influencia toda a cidade.

Uma ampla revisão sobre as metodologias desenvolvidas para a identificação de subcentros urbanos nos diferentes campos conceituais pode ser encontrada em Kneib (2008). Dentre as principais abordagens metodológicas, a autora identifica cinco estratégias apresentando as respectivas referências bibliográficas. São elas: (1) sintaxe espacial aplicada aos aspectos morfológicos dos espaços públicos e sistemas viários; (2) uso do solo urbano e linhas de transporte público, (3) fluxos e movimentos pendulares, (4) grafos e métricas de rede e (5) estatística espacial. Esta última metodologia baseada em indicadores locais de autocorrelação

espacial (índice local de Moran) foi replicada pela autora para a Região Metropolitana de Manaus utilizando dados da Matriz Origem-Destino (OD) através do cálculo da densidade de viagens geradas por Zonas de Transporte. Em um trabalho mais recente, Pereira *et al* (2013) propõem um índice de policentralidade justificando ser mais produtivo na análise da estrutura urbana avaliar o nível de centralidade dentro de uma escala contínua entre a extrema monocentralidade e extrema policentralidade do que as classificações binárias usualmente aplicadas. De certa forma, é correto assumir que toda cidade deve apresentar certo nível de policentralidade. Por outro lado, no âmbito dos modelos da economia urbana, apesar de ajudar na compreensão do padrão estrutural da cidade, o diagnóstico de um alto nível de policentralidade através de um indicador sintético seria insuficiente para se estabelecer os modelos que fundamentam as abordagens. É importante também que se identifiquem espacialmente os locais de concentração bem como sua extensão de influência.

Estes estudos demonstram que a discussão tem ganhado força nos debates sobre política urbana no Brasil. Não por acaso, o recente debate entre os candidatos a prefeito nas últimas eleições municipais de São Paulo esteve em grande parte ocupado da necessidade de promoção da descentralização da cidade com propostas como aplicar estímulos fiscais e legais para o estabelecimento de subcentros de emprego em áreas periféricas da cidade. Segundo Biderman e Santanna (2011) a região metropolitana de São Paulo tem atualmente três centros de negócios bem estabelecidos: um no quadrante sudeste da RMSP ao redor do centro do município de Santo André; outro a oeste nos municípios de Barueri/Santana do Parnaíba; além do centro principal localizado no município de São Paulo. Os autores apontam ainda a existência de outros subcentros de influência mais restrita como os localizados nos municípios de Suzano, Mogi das Cruzes e Guarulhos. Ou seja, todos os subcentros metropolitanos estão fora dos limites do município sede. Eles concordam com o diagnóstico de que um dos problemas da RMSP é o nível relativamente baixo de policentralidade na estrutura espacial da cidade e que o fortalecimento dos subcentros seria fundamental para o equilíbrio da imensa área urbanizada. Entretanto, cabe aqui a pergunta: quais seriam os locais com potencialidade de serem tornarem efetivos subcentros urbanos em São Paulo?

Uma possível resposta a esta indagação seria, a partir de modelos teóricos como o concebido por Fujita e Ogawa (1982), reconhecer dentro da estrutura espacial urbana como a influência dos diversos parâmetros tais como porte populacional e custos de transporte afetam os diferentes potenciais locais em cada localização. McMillen e Smith (2003) partem

exatamente desta estratégia para investigar empiricamente a influência destes parâmetros do modelo de Fujita e Ogawa nas estruturas policêntricas de cidades norte-americanas. Os resultados encontrados reforçam as expectativas derivadas do modelo teórico que indicam duas variáveis fundamentais, o tamanho populacional e os custos de transporte explicando mais de 80% da quantidade de subcentros entre as cidades analisadas. Pelas estimativas, simulando-se um contexto metropolitano com baixos níveis de congestionamento, um primeiro subcentro surgiria quando a população alcançasse cerca de 3 milhões de habitantes, e um segundo quando este valor atingisse aproximadamente 7 milhões.

Por certo, ao observamos estas estimativas, diríamos que de fato a estrutura urbana da cidade de São Paulo é excessivamente monocêntrica em relação ao seu porte populacional. Entretanto, é preciso considerar que tanto o modelo como os exemplos empíricos correspondem a contextos urbanos muito diversos do que encontramos no Brasil e na América Latina. Além disso, é sempre importante ressaltar que estes modelos baseiam-se em presunções que não se sustentam quando os processos de coordenação de acesso e uso do solo urbano são marcados por mecanismos especulativos, apoiados, muitas vezes, em uma realidade dual onde convivem processos de hiper-regulação do uso do solo através de zoneamentos restritivos ao lado de uma grande informalidade consentida por parte das autoridades governamentais que incide nas extensas e espriadas periferias. Estas características acabam provocando descontinuidades empíricas nas regularidades teóricas previstas pelos modelos.

Há também que se reconhecer, como já foi colocado anteriormente, certo nível de arbitrariedade nos critérios de identificação de subcentros. Na análise empírica brevemente apresentada (MCMILLEN; SMITH, 2003), a quantidade de subcentros nas cidades analisadas resultaram da aplicação do método não paramétrico proposto em McMillen (2001) que se baseia em um procedimento em dois estágios. Este procedimento será detalhado adiante. Já em McMillen e McDonald (1997), os autores chamavam a atenção para o inevitável componente arbitrário presente nos métodos de identificação de subcentros. Este componente decorre de problemas de especificação dos modelos, de multicolinearidade e do fato de que os modelos propostos até então não restringiam localmente as áreas de influência dos respectivos subcentros, considerando que sua influência se estende ilimitadamente na estrutura espacial urbana. Como forma para minimizar os dois últimos problemas, os autores propõem a aplicação de modelos de regressão localmente ponderados (LWR - *Locally weighted*

regression). A vantagem da utilização do LWR em relação aos modelos OLS é a capacidade de se estimar formas funcionais que capturem os picos de densidade locais na concentração de emprego em relação a uma determinada vizinhança.

A estratégia de utilização de picos locais de densidade de empregos já havia sido proposta em McDonald (1987) onde analisa a existência de subcentros de emprego na cidade de Chicago nos anos 1970. O autor aplica uma comparação direta entre duas medidas: os níveis de densidade de empregos por acre e a razão empregos/população para cada zona da cidade em relação às zonas imediatamente adjacentes. Apesar de capturar os picos de emprego localmente, esta metodologia é muito sensível à escala de observação, ou em outras palavras, ao nível de desagregação dos dados. Giuliano e Small (1991) reconhecem as vantagens na utilização da densidade de empregos como a variável chave na identificação de subcentros urbanos, porém propõem superar as limitações de escala definindo um subcentro como um conjunto de zonas vizinhas (definidas a partir de um raio de abrangência de aproximadamente 400 metros), cada uma contendo uma densidade de empregos acima de um limiar estabelecido em 10 empregos/acre, e cujo conjunto devem totalizar um número de empregos superior a 10 mil postos de trabalho. Desta forma, os autores lograram superar as limitações de escala de análise presentes na metodologia de McDonald (1987), porém, seguiram-se críticas em relação ao grau de discricionariedade na definição dos limiares de densidade e total de empregos.

Dentro desta tradição analítica, a metodologia que ainda se mantém como uma referência que melhor enfrenta as questões de multicolinearidade, escala e objetividade de critérios de limiares é a apresentada em McMillen (2001). A proposta parte do cálculo da densidade de empregos para cada unidade de área dividindo-se o total de empregos pela extensão territorial de cada unidade. A metodologia requer também o estabelecimento da localização exata do centro de negócios principal da cidade (CBD) em termos de suas coordenadas geográficas e que, para cada unidade de área é possível determinar a distância euclidiana entre seu centroide e o CBD. O foco da estratégia analítica está baseado em um procedimento não-paramétrico em dois estágios. No primeiro estágio é utilizada uma regressão localmente ponderada (também conhecida como geograficamente ponderada ou GWR) (FOTHERINGHAM, A.S.; BRUNDSON, C.; CHARLTON, M., 2002) de modo a estimar uma superfície de densidade de empregos suavizada. A estimativa da superfície de densidade de emprego é obtida a partir de mínimos quadrados localmente ponderados, onde pesos maiores são atribuídos aos valores

encontrados nas localizações mais próximas. O alcance desta definição de vizinhança deve ser amplo o suficiente para que a cada observação, seja considerada uma amostra de 50% do total de unidades de áreas. Este nível de alcance deve-se a necessidade de geração de uma superfície suavizada para que os picos de densidade locais gerem resíduos positivos suficientemente grandes e estatisticamente positivos. Neste modelo, são utilizadas as distâncias euclidianas ao CDB como variáveis explicativas e o logaritmo natural da densidade de empregos como variável dependente.

A metodologia básica do GWR estende a abordagem tradicional da análise de regressão permitindo que, ao invés de se estimarem parâmetros globais, estimam-se os parâmetros localmente. Assim, o modelo geral poderia ser reescrito na seguinte forma:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i)x_{ik} + \varepsilon_i \quad (3.2)$$

Onde (u_i, v_i) são as coordenadas geográficas do i ésimo ponto no espaço e $\beta_k(u_i, v_i)$ é a realização da função contínua $\beta_k(u, v)$ no ponto i . Esta diferenciação entre próximos e distantes é determinada através de uma matriz simétrica de distância \mathbf{W} . Algebricamente, a estimativa dos parâmetros se dá na forma de uma operação matricial como:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}(u_i, v_i) = (\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{Y} \quad (3.3)$$

Onde as notações em negrito denotam matrizes, e $\hat{\boldsymbol{\beta}}$ representa a estimativa de $\boldsymbol{\beta}$, e $\mathbf{W}(u_i, v_i)$ é a matriz de n por n com os elementos da diagonal contendo a informação da ponderação de vizinhança de cada n observação para o ponto i do espaço. O importante para a aplicação pretendida na identificação de subcentros é a possibilidade de se estimar a variância dos parâmetros estimados localmente de forma a atribuir a significância estatística necessária para a identificação dos potenciais subcentros. McMillen (2001) define como potenciais subcentros locais aqueles onde os resíduos são maiores que zero a um nível de significância de 5%: $\frac{(y_i - \hat{y}_i)}{\hat{\sigma}_i} > 1,96$. Estes potenciais subcentros são os locais onde há um descolamento significativo da tendência local da densidade de empregos. Deste critério, indicam-se potenciais subcentros, entretanto, segundo o autor há ainda que se estimar se cada um destes tem um efeito estatisticamente significativo na forma global da densidade de empregos na cidade. Para isto, propõe-se a aplicação de um segundo estágio utilizando um procedimento

semiparamétrico. O problema fundamental aqui é como determinar a significância estatística de um conjunto de localizações quando não há conhecimento da forma estrutural da densidade de emprego nem a extensão espacial da influência de cada subcentro. A proposta é incluir a informação da distância ao centro principal de negócios de forma não-paramétrica no modelo reconhecendo que se trata de um fator de perturbação (*nuisance variable*) que interfere no modelo, mas sobre o qual não temos interesse. Assim, é proposto um segundo estágio na forma de:

$$y_i = g(DCBD_i) + \sum_{j=1}^S (\delta_{1j} D_{ij}^{-1} + \delta_{2j} D_{ij}) + \varepsilon_i \quad (3.4)$$

Onde:

δ_1 e δ_2 são os parâmetros de interesse para os quais se querem determinar o nível de significância e;
 D_{ij} é a distância entre o potencial subcentro j e a localização i .
 S é o número de potenciais subcentros

Na expressão acima, $g(DCBD_i)$ incorpora a função de densidade populacional definida a partir da distância ao centro principal através de uma função de interpolação na forma flexível de Fourier. Existe a possibilidade do número de candidatos a subcentros ser elevado, portanto é preciso se avaliar quais os potenciais subcentros apresentam efeitos estatísticos significativos no modelo. Isso se faz através de um procedimento de regressão em passos sucessivos descendentes (*backward stepwise regression*). Incluem-se no passo inicial do modelo todos os potenciais subcentros identificados no primeiro estágio. Estes subcentros entram no modelo através de uma medida D_j que indica a distância entre este potencial subcentro (j) e a localização (i). Esta medida entra tanto na forma inversa como em nível de modo a capturar tanto os efeitos locais como os globais nesta variável. Uma vez que se inicia o processo de regressões sucessivas, para cada passo, identificam-se os potenciais subcentros com menores valores de significância no modelo (*t-value*) e estes vão sendo retirados das regressões subsequentes até que se atinja um nível de significância de 20% para todas as variáveis de distância incluídas. A principal justificativa para a adoção destes critérios é a minimização da arbitrariedade na definição dos limiares de aceitação já que toda a metodologia se baseia em medidas de significância estatística para a decisão.

Este capítulo pretende contribuir com o debate buscando desenvolver e aplicar uma metodologia para a identificação de subcentros de emprego na RMSB. Para isso, se baseará nas metodologias propostas em trabalhos anteriores desenvolvidas em análises empíricas,

aplicando-as e comparando-as para RMSP e propondo uma nova abordagem para esta finalidade específica.

3.2Estratégia empírica

Neste trabalho estamos interessados em determinar quais áreas específicas da cidade devem ser classificadas como um subcentro de emprego de modo a considerá-las na determinação dos gradientes estruturais de renda da terra. Para a consecução deste objetivo, propomos a utilização de uma estratégia analítica nova, adaptada de McMillen (2001) a partir de um procedimento de regressão espacialmente ponderada em um único estágio, com a introdução de variável de regime estrutural global de densidade populacional linearizada atuando como a variável de perturbação, ou seja, uma variável que interfere no comportamento da variável de interesse (concentração de empregos), mas sobre a qual não temos interesse específico na aplicação. Também propomos a utilização de análise exploratória de dados espaciais baseados em indicadores locais de autocorrelação espacial como procedimento preliminar na identificação das variáveis de resposta a partir da compreensão dos regimes espaciais que operam na estrutura espacial urbana. Estas variáveis de resposta são aquelas que utilizaremos na representação do gradiente de densidade na análise de regressão. Serão avaliados os regimes espaciais de três variáveis: o total absoluto de empregos, a razão emprego e número de habitantes, e a densidade de empregos por unidade de área.

Iniciamos a análise replicando a metodologia desenvolvida em Ramos (2002) avaliando a estrutura de autocorrelação espacial presente nas variáveis de resposta. Nesta metodologia utilizamos a estatística espacial local para quantificar o grau de associação espacial a que cada localização do conjunto amostral está submetida em função de um modelo de vizinhança preestabelecido. Convencionou-se chamar de Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) os operadores estatísticos com esta finalidade. Anselin (1995) aponta que existe uma proporcionalidade direta entre o valor da autocorrelação global e os valores das autocorrelações locais, ele demonstra que os LISAs permitem a decomposição dos indicadores globais em contribuições individuais, indicando porções territoriais de não estacionariedade e identificando aglomerados (clusters) significativos de valores semelhantes em torno de determinadas localizações.

O índice local de Moran (I_i) calcula a autocorrelação espacial a partir do produto dos desvios em relação à média como uma medida de covariância, dessa forma, valores significativamente altos indicam altas probabilidades de que haja locais de associação espacial tanto de polígonos com altos valores associados como com baixos valores associados. A vizinhança será matematicamente incorporada ao modelo através de uma matriz de ponderação espacial \mathbf{W} . Esta matriz pode ser gerada através de diferentes métricas, tipicamente para os casos de dados associados a unidades de área adota-se um critério topológico de contiguidade simples¹⁴. O nível de significância estatística dependerá da suposição de alguma distribuição estatística ou da construção de uma pseudodistribuição empírica através de permutação (GETIS; ORD,1992). A técnica de permutação permite estabelecer significância estatística empírica do resultado a partir de uma distribuição gerada pela repetida substituição aleatória dos n valores pertencentes ao conjunto amostral nas i -ésimas localizações e calculando-se novos valores de LISA para cada novo arranjo. Assim, tem-se a possibilidade de comparação do resultado obtido sob o arranjo espacial original em relação à distribuição dos n resultados obtidos nos arranjos gerados aleatoriamente (CARVALHO ET AL,2002).

Formalmente o índice de local de Moran pode ser escrito como:

$$I_i(d) = \frac{(x_i - \bar{x})}{s^2} \sum_j w_{ij}(d)(x_j - \bar{x}) \text{ para } j \neq i \quad (3.5)$$

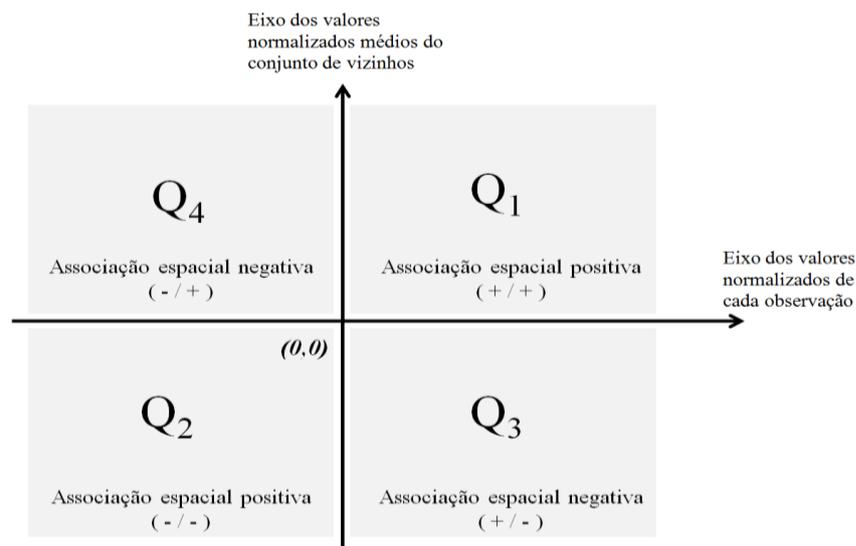
w_{ij} é o ponderador na matriz de vizinhança \mathbf{W} para o par i e j
 d é a medida de distância estabelecida pelo modelo de vizinhança
 x_i e x_j são valores encontrados na posição i e suas vizinhas j
 \bar{x} é a média amostral global
 s^2 é a variância amostral global

O mapa de espalhamento de Moran (*Moran Scatterplot Map*) permite explorar os padrões de associação espacial ao classificar as zonas segundo quatro regimes espaciais definidos sobre um gráfico de espalhamento bidimensional. A ideia é comparar os valores observados em cada localização com a média local de sua vizinhança através de seus valores normalizados, desta forma, com média global igual a zero. Quatro regimes espaciais podem ser tipificados: dois regimes de associação espacial positiva, Q1-valor positivo e médias locais positiva (alto-

¹⁴ A determinação do critério de vizinhança altera os resultados da autocorrelação espacial. No caso da análise exploratória proposta, a utilização de uma medida de vizinhança binária definida por critério de contiguidade simples entre as unidades de áreas permite que se avalie o comportamento da maneira mais localizada possível já que se baseia na vizinhança mais restritiva que se pode atribuir a dados associados a unidades de área.

alto) e Q₂-valor negativo e média local negativa (baixo-baixo); e dois outros regimes de associação espacial negativa, Q₃-valor positivo e média local negativa (alto-baixo) e Q₄-valor negativo e média local positiva (baixo-alto). (Figura 3.3). A identificação de centros e subcentros através da análise de autocorrelação espacial está associada às unidades de área com valores de autocorrelação espacial significativos para a concentração de empregos classificadas nos regimes Q₁ e Q₃. No primeiro caso, Q₁, são indicados o centro e os grandes subcentros associados a localizações de empregos em um conjunto de unidade unidades de áreas vizinhas. No segundo caso, Q₃, são indicados os subcentros menores, restritos a uma ou duas unidades de área que se destacariam como concentração significativa inserido em um contexto espacial de baixo número de empregos no seu entorno imediato.

Figura 3.3 - Esquema do diagrama de espalhamento de Moran



Fonte: Adaptado de Carvalho *et al.* (2004)

As análises exploratórias desenvolvidas com os LISAs permitem avaliar as *áreas de influência* do centro principal e dos possíveis subcentros, indicando a extensão, dentro de um conjunto de localizações, de padrões espaciais locais onde há uma tendência em se encontrar valores similares para a concentração de empregos. A estrutura de correlação espacial muitas vezes é ocultada pela excessiva fragmentação imposta pelo suporte zonal aos quais os dados estão associados. A análise através dos LISA contribuem para identificar expressões do desenho distributivo global da variável no espaço como zonas de *persistências* e *transições*. A possibilidade de identificação destes padrões traz uma expressão possível da topologia

intraurbana, relacionada às localizações relativas do centro e subcentros e de suas articulações espaço-funcionais.

Após as análises exploratórias realizadas através dos indicadores de autocorrelação espacial, partimos para a análise inferencial baseada na metodologia desenvolvida em McMillen (2001). Aplica-se uma regressão localmente ponderada tendo como variável dependente o logaritmo natural da densidade de empregos (y). Este procedimento estima uma superfície de densidade estrutural de empregos em função das distâncias euclidianas calculadas para cada observação em relação ao centro principal da aglomeração (variáveis independentes). A superfície estrutural estimada serve como referência para identificações das localizações que apresentam resíduos positivos e estatisticamente significantes dentro do espaço amostral considerado. A utilização da regressão espacialmente ponderada permitirá que picos de empregos, que neste caso caracterizariam subcentros, sejam considerados na estimação da superfície já que os parâmetros são estimados para cada localização do conjunto amostral. Da mesma forma, obtém-se para cada estimativa, a variância do erro observado entre a superfície de densidade e o valor observado permitindo atribuir-lhe a significância estatística necessária para a identificação desses picos. Entretanto, pode-se perceber que o primeiro estágio proposto em McMillen (2001) captura apenas a dimensão da concentração de atividades produtivas ao longo da estrutura intraurbana sem considerar o efeito desta concentração nos gradientes de densidade residencial. Segundo os modelos canônicos já apresentados, estes gradientes são diretamente influenciados pelo padrão de concentração das atividades produtivas até o ponto em que se pode afirmar que o padrão do arranjo espacial das atividades produtivas e das localizações residenciais estão intrinsecamente relacionados. Se por um lado, a concentração das atividades produtivas busca maximizar as externalidades positivas da economia de aglomeração, a distribuição das localizações residenciais está funcionalmente conectada ao padrão espacial resultante desta concentração através dos movimentos pendulares da população a estes centros. Deste modo, os custos de transporte medeiam as condições de equilíbrio entre as localizações da produção e as localizações para o uso residencial da terra (ODLAND, 1978).

Partindo-se do entendimento de que a localização relativa entre a distribuição das atividades produtivas e dos usos residenciais é determinante na análise da estrutura urbana, propomos uma metodologia para identificação de subcentros através de um modelo, em um único estágio, com termos localmente variáveis que incorpora as duas dimensões. Trata-se da

aplicação de um modelo de estimação localmente ponderado. O modelo pode ser formalizado como:

$$\text{Indemp}_i = \beta_0(u_i, v_i) + \beta_1(u_i, v_i)DCBD_i + \beta_2(u_i, v_i)\text{Indpop}_i + \varepsilon_i \quad (3.6)$$

Onde:

Indemp_i é o logaritmo natural da densidade de empregos na localização i
 (u_i, v_i) são as coordenadas geográficas do centroide da unidade de área i
 $\beta_{0,1,2}$ são os parâmetros estimados localmente em cada localização (u_i, v_i)
 $DCBD_i$ é a distância euclidiana da localização i ao centro principal da cidade
 Indpop_i é o logaritmo natural da densidade populacional da unidade de área i

A utilização de uma estimativa espacialmente ponderada leva a discussão sobre a definição da vizinhança a ser considerada na definição da matriz de ponderação espacial. A questão que se coloca então é como definir esta vizinhança de modo a não ignorar os efeitos da estrutura de autocorrelação espacial presente nas variáveis ao longo das diferentes localizações do conjunto amostral? Devemos buscar conhecer previamente esta estrutura para podermos definir um critério de ponderação consistente. Isto é fundamental pois, o alcance de um raio máximo é determinante para o grau de suavização resultante na estimativa GWR, e por conseguinte no nível de sensibilidade que haverá na identificação dos subcentros a partir da significância estatística dos resíduos como proposto em McMillen (2001).

Uma maneira factível de se inferir o alcance da estrutura de covariância nas diferentes localizações é calculando-se um semivariograma empírico para a variável de interesse, no nosso caso os valores de densidade de empregos. O semivariograma é definido como a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados por um vetor distância e permite, deste modo, representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço. O semivariograma empírico fornece a medida de alcance até a distância na qual não há evidências de autocorrelação espacial (BURROUGH; MCDONNELL, 1998). Propomos que esta distância limite seja utilizada como critério de estabelecimento do raio de busca na determinação da vizinhança de uma função kernel de ponderação espacial. No experimento desenvolvido em McMillen (2001), o autor utiliza um critério de vizinhança arbitrário com um raio de alcance que considera em

média 50% das unidades de área na ponderação sem, no entanto verificar previamente a estrutura espacial de covariância através de técnicas de análise exploratória.

Sumarizando a proposta metodológica: considere que em um momento no tempo, uma cidade ocupa uma determinada região A , e que esta região está subdividida em n sub-regiões A_i e que $i=1,2,\dots,n$. Cada uma das sub-regiões A_i apresenta um volume total de empregos, emp_i , e que a soma de todos emp_i é igual ao total de empregos na cidade. Cada uma das sub-regiões está definida como unidade de área com fronteiras claramente definidas para as quais também se conhecem sua extensão territorial em hectares e sua população residente, pop . Conhece-se também a localização do centro principal da cidade CDB em termos de suas coordenadas geográficas. Pode-se também definir para sub-região A_i a localização geográfica de seu centroide, de modo que é possível se calcular a distância euclidiana deste centroide ao centro principal da cidade gerando-se assim uma nova variável $DCDB$ para cada A_i . Através da razão da entre o total de empregos emp_i e a área em hectares é possível calcular a densidade bruta de empregos $demp_i$. Através do cálculo de um semivariograma experimental é possível avaliar a estrutura de autocorrelação espacial de $demp$ através de todas as localizações A_i , desta forma sabe-se também a distância média (d_{aut}) entre todas as localizações do conjunto amostral até a qual há evidência da existência de autocorrelação espacial. Definindo-se uma matriz de vizinhança \mathbf{W} através da aplicação de uma função kernel na forma de uma gaussiana com raio de busca de alcance máximo igual a d_{aut} , é possível aplicar uma regressão localmente ponderada como especificado em (3.5) estimando-se para cada localização uma densidade de empregos em função de $DCDB$ e da densidade populacional. Serão considerados subcentros de emprego, aquelas localizações para as quais os resíduos encontrados, ou seja, a diferença entre valor estimado e a observação empírica seja maior que zero a um nível de significância de 5%.

3.2.1. Bases de dados utilizadas

A base de dados a ser utilizada nesta etapa do trabalho provém da pesquisa Origem-Destino (OD) da Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô – de 2007. A pesquisa OD é realizada pelo Metrô desde 1967 a cada 10 anos. Seu objetivo é o levantamento de informações sobre as viagens realizadas pela população da RMSP em dias úteis típicos. Os dados coletados, além de propiciar um panorama geral das questões de mobilidade e

transporte na região, trazem também estimativas sobre o número de empregos por regiões da cidade em diferentes setores de atividade. A pesquisa OD foi realizada entre os meses de agosto de 2007 e abril de 2008 e entrevistou aproximadamente 92 mil pessoas, residentes de 30 mil domicílios da RMSP.

As informações da pesquisa OD foram estimadas de modo a permitir um nível de desagregação em 460 sub-unidades territoriais conhecidas como zonas OD (ZOD). As 460 zonas OD recobrem toda a RMSP e foram estabelecidas respeitando a compatibilidade com os limites de municípios e de distritos no município de São Paulo. Além disso, foram ainda considerados no zoneamento o sistema de transporte, os equipamentos urbanos, as barreiras físicas e as áreas vazias. Devido ao objetivo primário da pesquisa OD estar vinculado ao planejamento das infraestruturas de transporte, as zonas OD não seguem necessariamente uma lógica territorial específica de mapeamento de centralidades ou caracterização sociodemográfica. Apesar disso, representa um bom nível de desagregação da informação ainda que efeitos de escala e heterogeneidade sejam esperados nos resultados.

A base de dados está disponível em arquivo georreferenciado em formato *shapefile* integrada a um banco de dados geográfico contendo um conjunto de informações que permitem caracterizá-las quanto ao perfil socioeconômico de sua população, atividades econômicas lá desenvolvidas e ao volume de viagens diárias produzidas e atraídas em cada uma das 460 ZOD. A tabela 3.1 sintetiza alguns números gerais da base OD 2007.

Tabela 3.1 - Quadro geral da Pesquisa OD de 2007 por Zonas Origem-Destino (ZOD) para a RMSP.

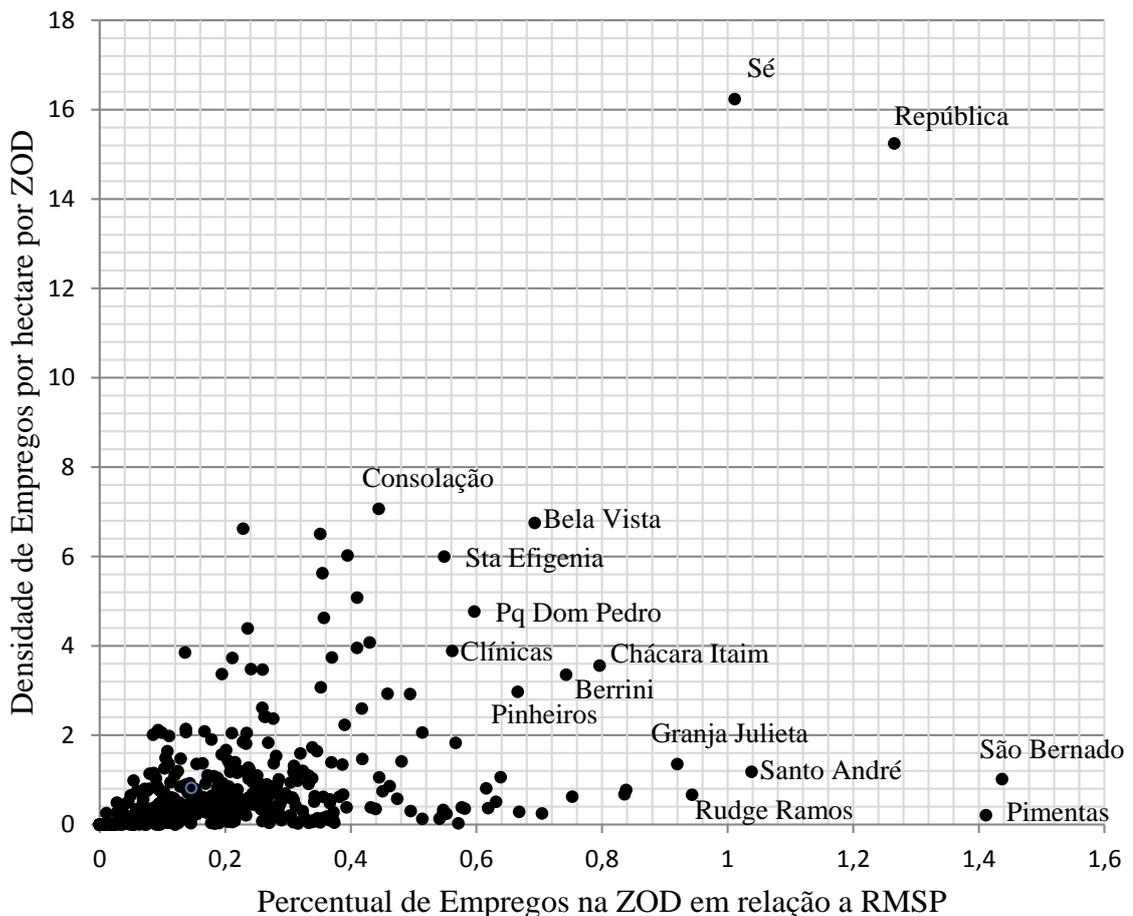
População Total	19.534.620
Empregos Totais	9.065.735
Número de ZOD	460
Número de ZOD com população	423
Número de ZOD com empregos	448
Área Total em hectares	796.578,1
Área média das ZOD em hectares	1.732,0

Fonte: Pesquisa OD do Metrô (2007).

Em uma primeira análise, pode-se observar que a distribuição espacial dos empregos tende a ser bastante concentrada no centro principal da RMSP, nas zonas centrais da Sé e República. A figura 3.4 permite avaliar a participação proporcional de cada zona OD no total de

empregos da RMSP e sua respectiva densidade de empregos. Percebe-se que as duas zonas OD correspondentes ao centro histórico da metrópole são *outliers* e que ainda em 2007 predominavam como o polo principal de empregos destacando-se tanto na participação percentual dos empregos totais da RMSP, como na alta densidade de empregos que concentram. Entretanto, no que se refere à identificação de potenciais subcentros, o gráfico não nos permite nenhuma conclusão definitiva. Se por um lado constatamos a grande contribuição ao total de empregos da RMSP que zonas como Pimentas (Guarulhos) e São Bernardo do Campo proporcionam, por outro, a densidade de empregos não parecem altas o suficiente uma concentração localizada para definir um subcentro. Além disso, há todo um conjunto de ZODs que se localizam posição intermediária no gráfico de espalhamento que certamente caracterizam centralidades localizadas, mas das quais pouco se podem inferir sobre seu efeito estrutural dentro da metrópole.

Figura 3.4. Gráfico de espalhamento entre a densidade de empregos e a proporção de empregos em cada zona OD em relação ao total da RMSP.



Fonte: Pesquisa OD do Metrô (2007).

As figuras 3.5a, 3.5b e 3.5c apresentam os mapas temáticos construídos a partir das variáveis utilizadas na análise proposta. Para melhor compreensão dos dados em relação à estrutura espacial da cidade, aplicamos uma máscara da mancha urbana¹⁵ sobre a malha poligonal de zonas OD, desta forma, destaca-se a extensão territorial efetivamente ocupada pela cidade. Percebe-se que enquanto o emprego tende a se concentrar nas áreas centrais quando medido em relação a sua densidade por área territorial (3.5a) e quanto em relação ao número de habitantes (3.5b), a densidade populacional (3.5c) não apresenta um gradiente tão claramente definido já que zonas OD distantes do centro apresentam valores próximos a densidades populacionais de áreas mais centrais. Ao que parece, há uma predominância da expansão contínua do centro na direção sudoeste ao lado de algumas concentrações localizadas em Guarulhos e na região do ABC.

3.2.2. Resultados

O primeiro aspecto explorado foi o comportamento da estrutura de autocorrelação espacial existente sobre as três variáveis de interesse na identificação de subcentros a partir das zonas OD: a densidade bruta de empregos, o total absoluto de empregos e a razão entre o total de empregos e a população residente. Para estas três variáveis foram calculados os índices de global e locais de Moran (I_i) e gerados mapas de espalhamento de Moran para três níveis de significância estatística: 95%, 99% e 99,9%. No cálculo desta etapa foi utilizada uma matriz de vizinhança binária determinada por contiguidade simples.

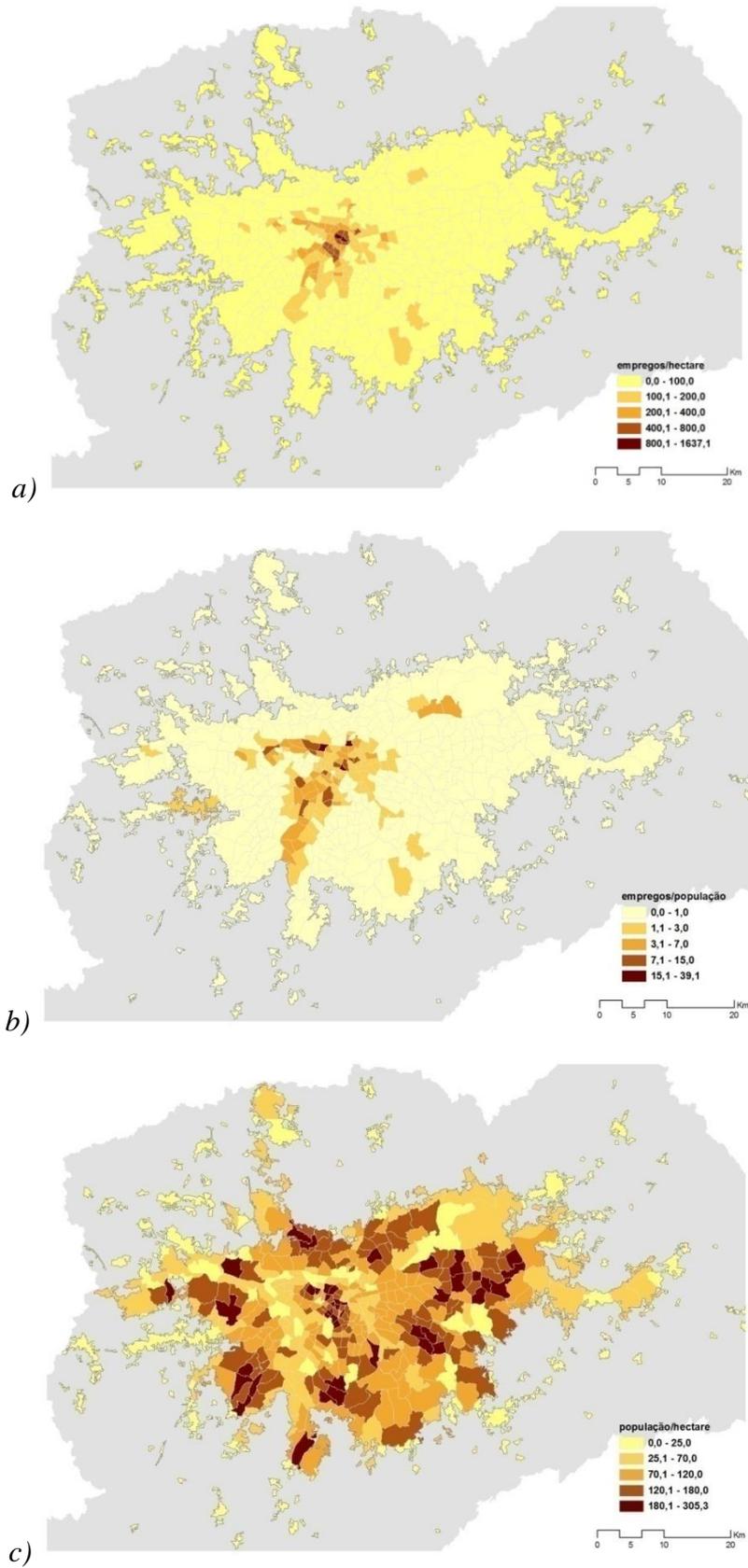
Observando-se o resultado obtido para a variável densidade de empregos, alcançamos um alto e significativo índice de associação positiva global de 0,64. Decompondo-se localmente este índice, pode-se concluir que a distribuição espacial exhibe claramente dois padrões de associação quando considerada a vizinhança imediata. Estes dois padrões podem ser visualizados a partir dos mapas de espalhamentos (Figura 3.6) onde se identifica um agrupamento de zonas OD com altos valores de densidade de emprego (Q1), uma região intermediária correspondente à área efetivamente urbanizada sem um padrão de autocorrelação significativa e uma segunda região de zonas agrupadas em vizinhanças de zonas com baixo valor de densidade de empregos localizadas nas áreas mais externas da RMSP. Sob o ponto de vista da densidade de empregos, este resultado reforça o caráter de um vigoroso padrão monocêntrico na estrutura espacial da metrópole. Não se identificam

¹⁵ A mancha urbana foi extraída por métodos de classificação supervisionada aplicada sobre imagem Landsat5 do ano de 2007.

inserções de zonas classificadas no quadrante 3 que poderiam indicar áreas de altas densidades inseridas em vizinhanças de baixa densidade de empregos. Os diferentes níveis de significância estatística calculada a partir das pseudodistribuições empíricas apenas reforçam ainda mais a importância do centro principal na estrutura espacial e revelam as tendências de expansão contínua do centro principal na direção sudoeste como já havia constatado Villaça (1998) em suas análises esquemáticas da metrópole. A 95% de significância, as zonas indicadas como agrupamento de associação positiva revela praticamente o centro expandido da cidade, abrangendo uma área contínua que vai da região da Luz ao norte, às zonas da Vila Olímpia e Hélio Pelegrini a sudoeste. Quando restringimos a significância, apenas o núcleo mais central deste agrupamento persiste em padrões de associação positiva de altos níveis de densidade. Neste caso, o agrupamento se estende da região de Santa Cecília ao norte à região da Avenida Paulista.

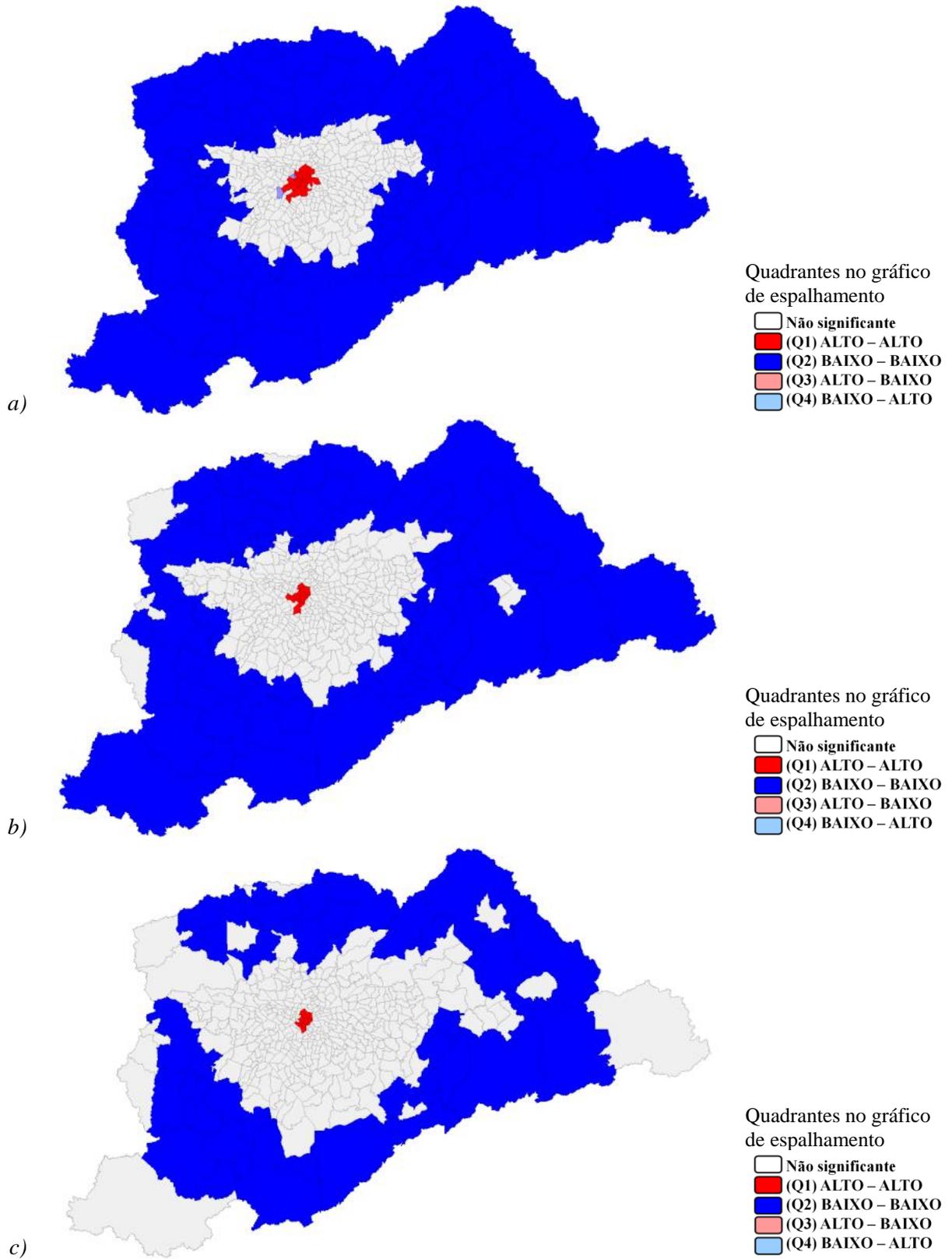
Aplicando-se a mesma análise para o número absoluto de empregos é possível perceber que surgem outros agrupamentos ainda que o nível global de autocorrelação espacial seja bem inferior, com índice de Moran global em 0,29. Tal decréscimo de certa forma é esperado, pois variáveis construídas a partir de valores absolutos tendem a apresentar uma alta variabilidade em decorrência dos efeitos de zoneamento e escala que o recorte zonal do espaço impõe. Este nível relativamente baixo de autocorrelação global acaba por configurar um cenário mais restritivo, no que se refere ao nível de significância estatística, quando se analisam as contribuições locais através a partir dos LISAs. Tal efeito é notado quando se constata que 38 zonas foram associadas a padrões de autocorrelação espacial positiva a um nível de significância de 95%, mas apenas 6 permaneceram nesta categoria sob um regime de significância de 99,9% (Figura 3.7). Dentre as 38 indicadas na primeira situação, observam-se cinco grandes agrupamentos, um primeiro localizado mais a oeste da cidade correspondendo aos complexos de escritórios localizados em Barueri/Alphaville, dois outros grupos localizados a noroeste sendo que um deles representa os polos de empregos localizados em Guarulhos/Aeroporto de Cumbica e outro ao centro do município de Itaquaquecetuba. Outro grande agrupamento que se destaca é o polo de serviços e indústrias do ABC na porção sul da cidade. Além de um último grupo localizado no sudoeste relativo ao polo de Santo Amaro. Trata-se de importantes polos de empregos para a cidade, mas ainda assim, não apresentam volume suficientemente grande para resistir a um nível de significância de 99,9%. Nesta situação, mantém-se no extremo da distribuição apenas as zonas mais centrais relacionadas ao centro principal, e o polo de empregos da região do ABC.

Figura 3.5 - Mapas temáticos construídos com as variáveis densidade de empregos (a), razão entre emprego e população (b) e densidade populacional (c) por zonas OD – 2007.



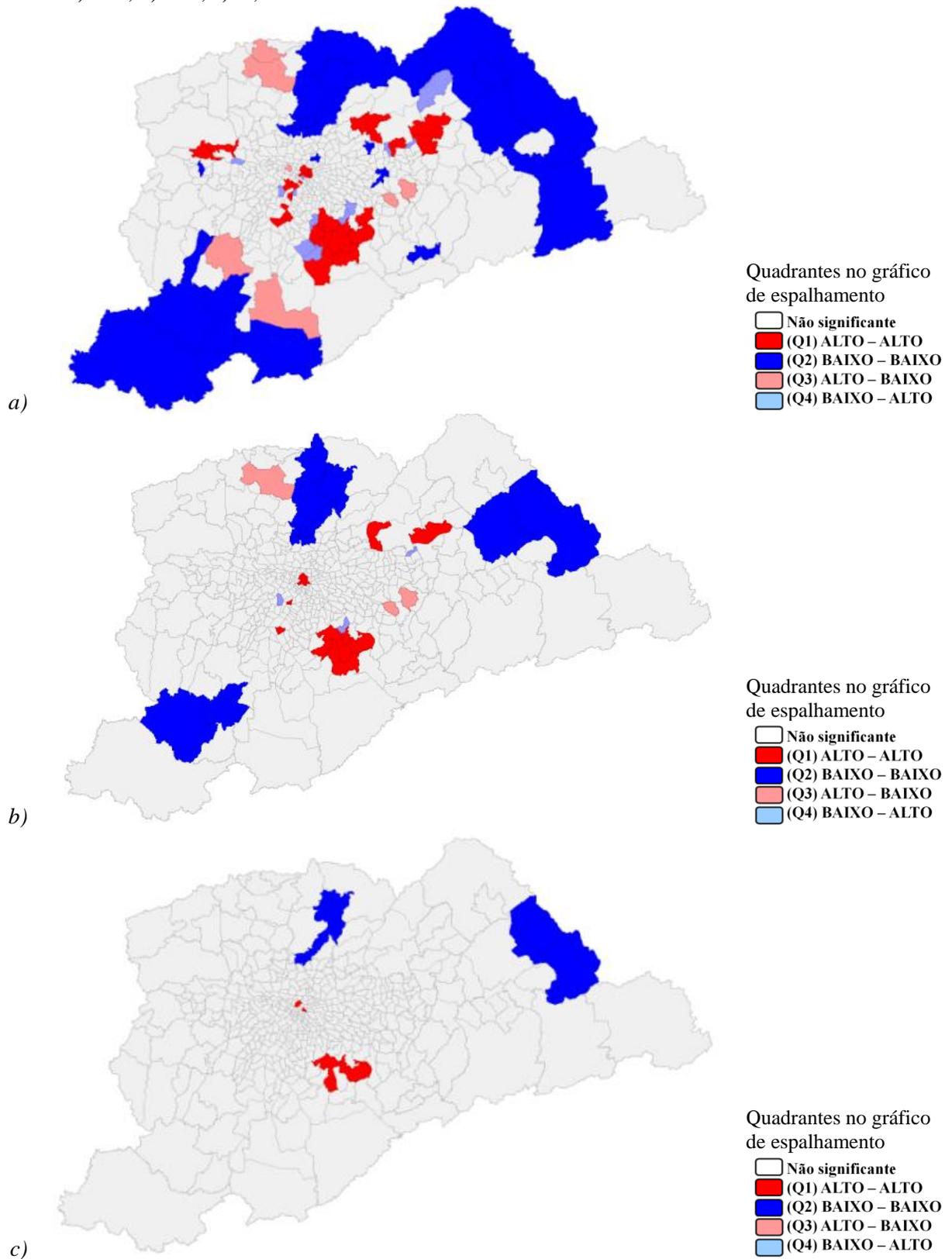
Fonte: Pesquisa OD do Metrô (2007). Nota: Elaboração própria

Figura 3.6 - Mapas de espalhamento de Moran para a variável densidade de empregos por hectare (*demp*). Nível de significância estatística por pseudo-distribuição aleatória (9999 permutações): a)95%; b)99%; c)99,9%



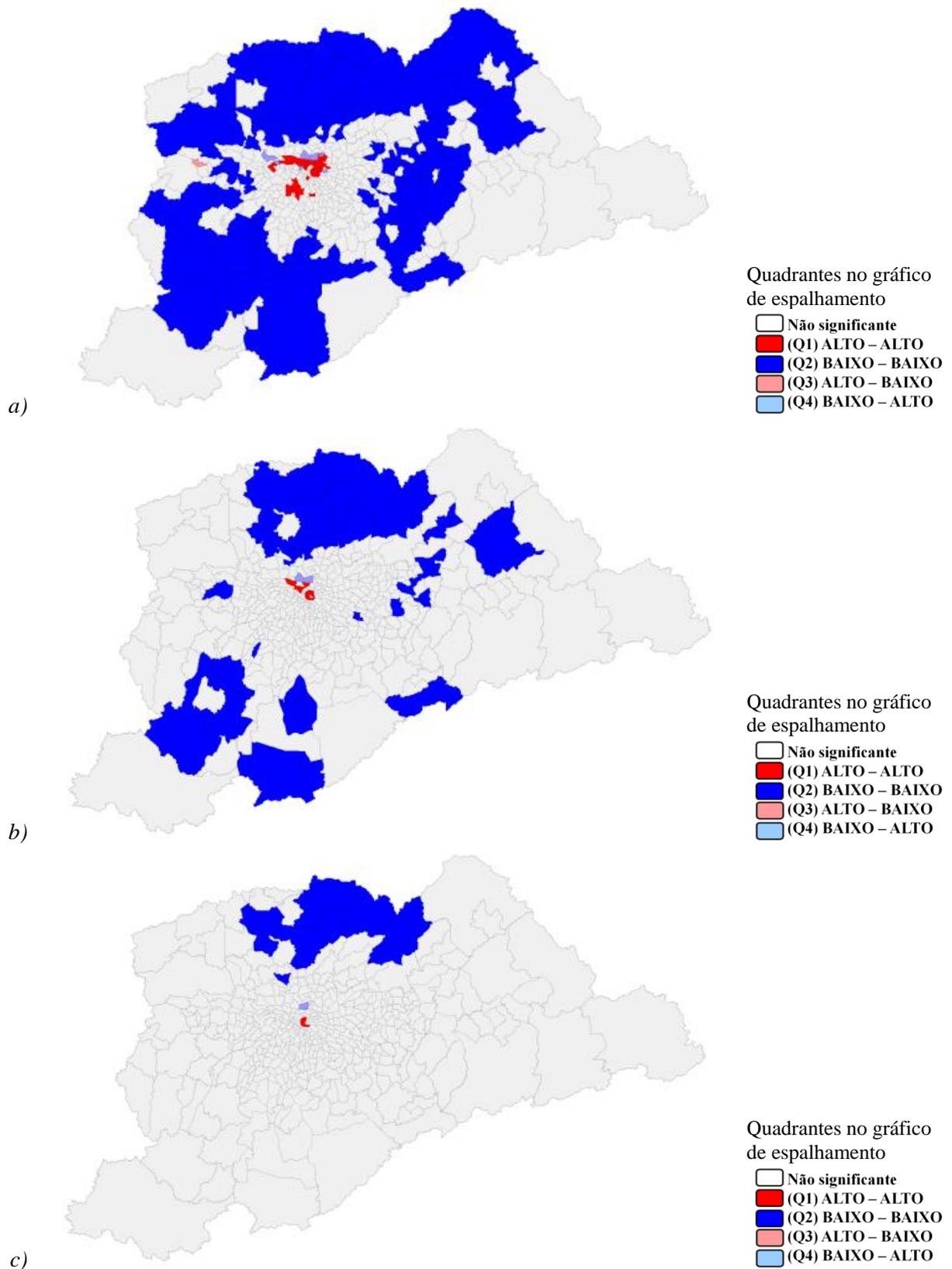
Fonte: Pesquisa OD do Metrô (2007). Elaboração própria

Figura 3.7 - Mapas de espalhamento de Moran para a variável total de empregos (*emp*).
Nível de significância estatística por pseudo-distribuição aleatória (9999 permutações):
a)95%; b)99%; c)99,9%.



Fonte: Pesquisa OD do Metrô (2007). Elaboração própria

Figura 3.8 - Mapas de espalhamento de Moran para a variável emprego por população (*emp/pop*). Nível de significância estatística por pseudo-distribuição aleatória (9999 permutações): a)95%; b)99%; c)99,9%.



Fonte: Pesquisa OD do Metrô (2007). Elaboração própria

Por fim, seguimos na análise exploratória com a variável definida pela razão entre o número de empregos e a população total de cada zona OD. Como encontrado na variável anterior, o nível global de autocorrelação espacial não é muito alto (Índice de Moran igual a 0,27). Isso indica que apesar de existir certo nível de associação espacial, em níveis de significância estatística mais restrigente, poucas áreas se destacarão. É isso que de fato se comprova nos mapas de espalhamento gerados para esta variável (Figura 3.8). Em nível de significância de 95%, destacam-se basicamente dois grupos de associação espacial positiva. O primeiro seguindo o eixo da várzea do rio Tietê ao norte do centro histórico, área tradicionalmente ocupada por indústrias e poucos habitantes, mas que vem passando por processo intenso de mudança de uso com esvaziamento de muitas das atividades produtivas industriais para usos comerciais, serviço e logística. O outro está localizado a sudoeste do centro principal e corresponde aos bairros valorizados de Vila Olímpia, Itaim Bibi, Jardim Europa e Vila Nova Conceição. Neste caso, a relativa concentração de postos de trabalho associada também a uma baixa densidade residencial, muitas vezes definida por um zoneamento restritivo ao adensamento, leva a configuração deste polo. Entretanto, se no caso anterior, um aumento da significância estatística levou a manutenção de apenas 6 zonas OD como agrupamentos positivos, neste a um nível de significância de 99,9%, apenas 4 zonas permanecem indicativas de uma centralidade, todas elas relacionadas ao centro principal da cidade.

A análise exploratória através das estruturas de autocorrelação espacial captadas pelos LISAs permitem uma ideia geral do sistema de localizações de polos e centralidades através do espaço urbano da metrópole. Diferentes intensidades em diferentes localizações revelam que há um predomínio de uma estrutura pouco descentralizada, onde a influência do centro principal é preponderante no arranjo espacial da cidade. Poucas são as regiões que se sustentam como centralidades relevantes quando observamos as correlações em níveis mais restritivos de significância estatística. A tabela 3.2 apresenta os resultados obtidos de forma sucinta. Por certo, este processo exploratório mostra que há polos localizados importantes que estão de acordo com o que se conhece na literatura e na vivência da cidade. Porém, para fins do objetivo específico deste estudo, buscamos indicações sobre quais destes polos identificados devem ser efetivamente considerados subcentros na perspectiva do desenvolvimento de análises baseadas nos referenciais teóricos introduzidos no início deste capítulo.

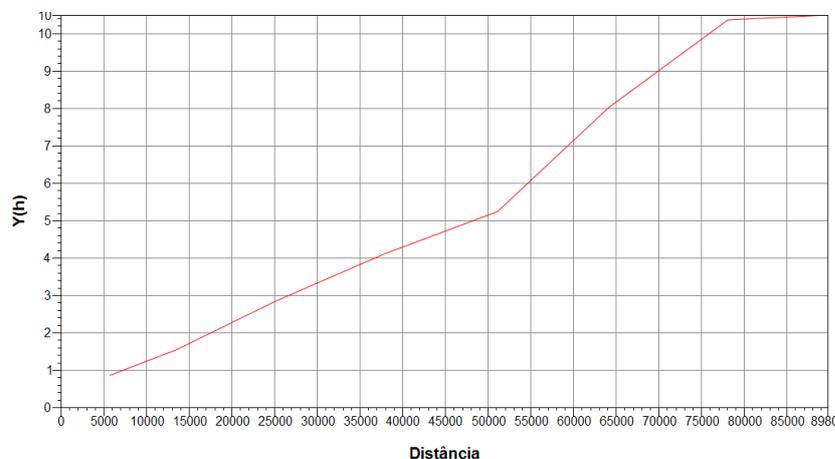
Tabela 3.2 - Resultados obtidos na análise exploratória através dos indicadores de autocorrelação espacial global e local.

	Densidade de empregos	Total de empregos	Emprego/população
Moran Global	0,643	0,287	0,272
(a) 95% sig.	39 zonas OD	38 zonas OD	37 zonas OD
(b) 99% sig.	22 zonas OD	18 zonas OD	9 zonas OD
(c) 99,9% sig.	17 zonas OD	6 zonas OD	4 zonas OD

Fonte: Elaboração própria

Seguimos na aplicação da metodologia proposta a partir da avaliação da estrutura de correlação espacial da variável densidade de empregos a partir do cálculo de seu semivariograma empírico. Para esta etapa do trabalho, foram utilizados os centroides das zonas OD para gerar um campo espacial de amostras associados aos respectivos valores de densidade de empregos. Este campo amostral foi utilizado para o cálculo do semivariograma dentro do software SPRING 5.2.4. Para o cálculo do semivariograma experimental, considerou-se uma única estrutura espacial isotrópica, e seu resultado pode ser observado na figura 3.9. É possível através do gráfico identificar que existe um padrão de correlação espacial revelado pelos valores crescentes de semivariograma em função das distâncias entre os pares de amostras considerados. Algebricamente, este padrão é resultado da diferença crescente entre os valores observados nas várias localizações em função da distância que as separam no espaço amostral. Esta diferença é crescente até uma distância de aproximadamente 80 quilômetros, ponto no qual se estabiliza e não há mais evidências de estruturas de dependência espacial. Este alcance é suficientemente grande para englobar praticamente toda a extensão leste-oeste da mancha urbana da metrópole. Assim, utilizaremos esta informação para a definição do raio de abrangência a ser considerado na definição da matriz de ponderação local a ser utilizada nas análises subseqüentes previstas na metodologia.

Figura 3.9 - Semivariograma experimental calculado para a variável densidade de empregos.



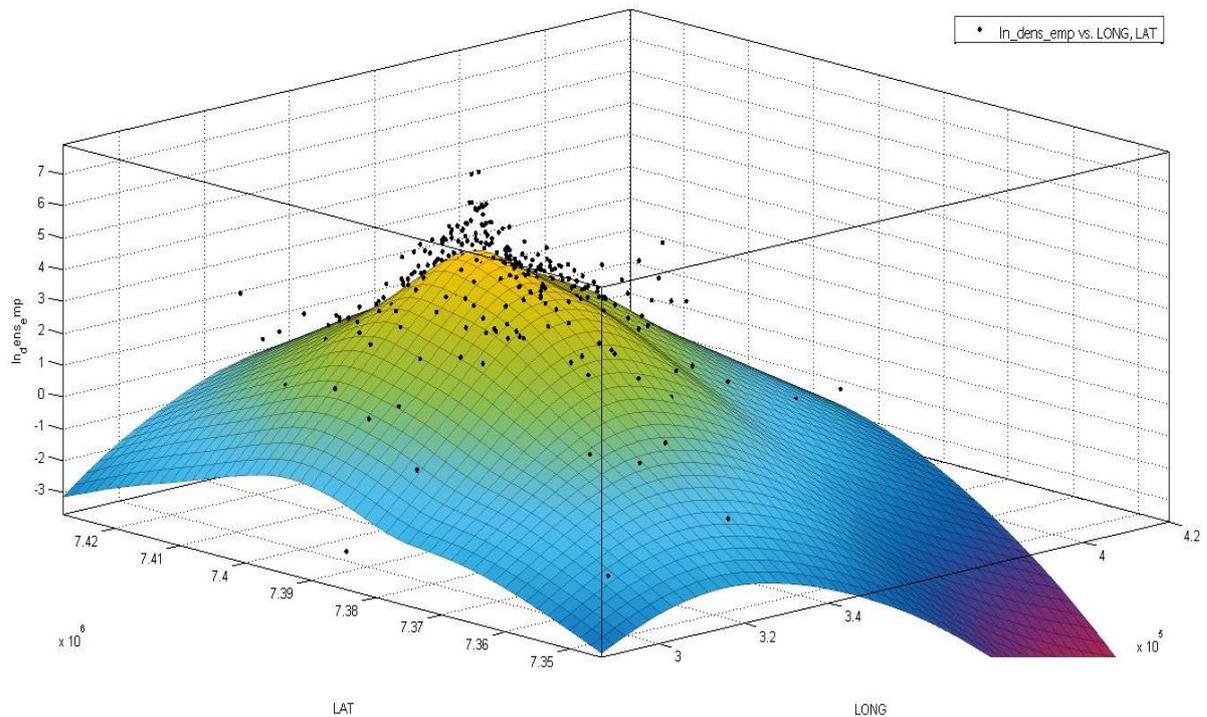
Fonte: Elaboração própria

Uma vez definido o raio de abrangência, partimos para a aplicação da metodologia baseada em regressão localmente ponderada para a identificação dos subcentros de empregos na RMSP. A fim de garantir uma perspectiva comparativa com a metodologia proposta em McMillen (2001), replicamos o primeiro estágio de sua análise que busca identificar os potenciais subcentros que posteriormente são avaliados em relação a sua significância no segundo estágio semiparamétrico como descrito anteriormente. Utilizando-se da informação obtida com o semivariograma empírico, aplicamos um modelo localmente ponderado cujos pesos estão definidos a partir de uma função kernel gaussiana com alcance máximo de 80 quilômetros. A utilização de uma função de ponderação com esta abrangência garantirá que a superfície de densidade seja suficientemente suavizada aumentando assim a probabilidade de que potenciais subcentros sejam associados a localizações específicas. Desta forma, estamos aderentes à proposta metodológica original.

A proposta de cálculo de semivariograma experimental na definição das matrizes de vizinhança a serem aplicadas na regressão espacialmente ponderada pode ainda ser mais eficiente se identificássemos comportamentos anisotrópicos nas estruturas de correlação espacial. Tal possibilidade poderia estabelecer critérios ainda mais ajustados, definindo pesos específicos para diferentes direções de vizinhança. Para o caso de São Paulo, não encontramos evidências muito fortes de processos anisotrópicos, porém, pode-se esperar tal efeito, sobretudo em cidades litorâneas cuja localização geométrica das áreas centrais é, em geral, próxima à orla e seu desenvolvimento tende a ocorrer em padrões lineares em paralelo a ela.

No exercício conduzido aqui, quando analisamos a superfície estimada (Figura 3.10), podemos constatar que ela apresenta um alto grau de suavização, ou seja, não se observam muitos picos de altos valores localizados como se poderia esperar caso os pesos fossem determinado em vizinhanças próximas com abrangências menores do que a aplicada. A suavização da superfície maximiza a chance de identificação de potenciais subcentros, pois haverá um nível menor de acoplamento entre possíveis picos de densidade observado nos dados e a superfície. A análise da superfície resultante nos permite verificar a predominância de uma estrutura monocêntrica para a RMSP.

Figura 3.10 - Superfície tridimensional de densidade de empregos gerada por regressão localmente ponderada.



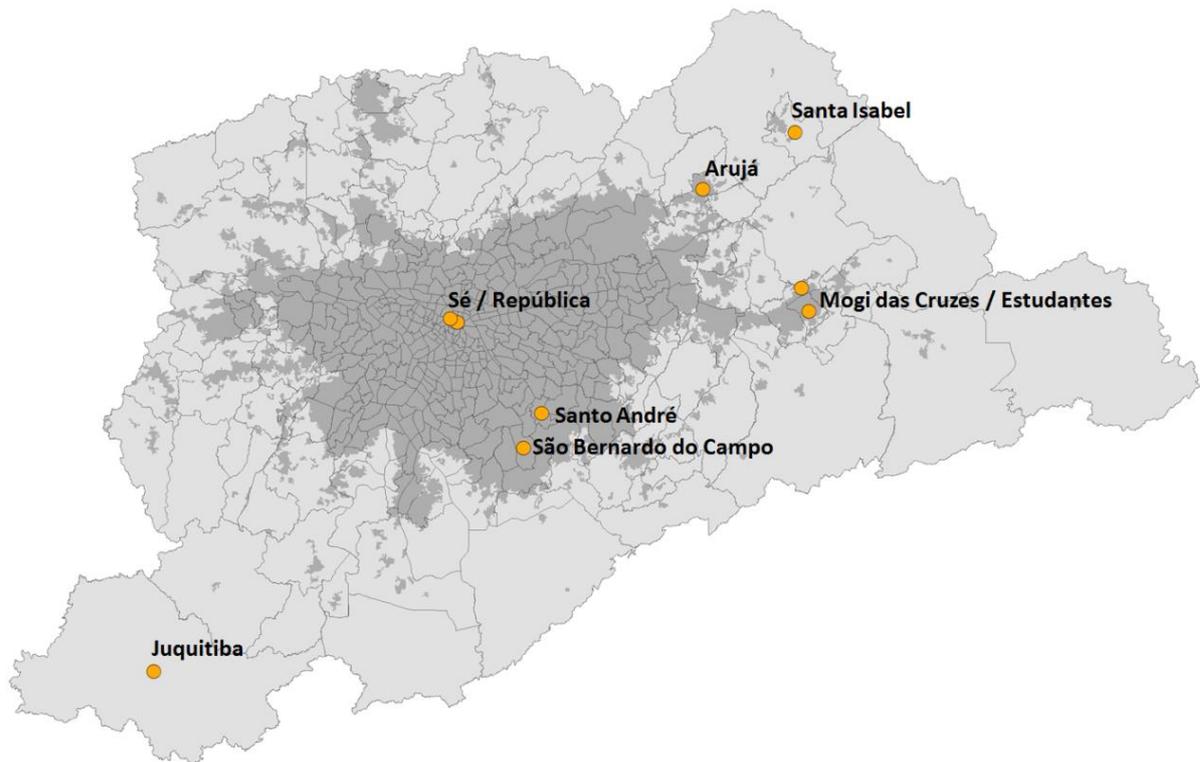
Fonte: Elaboração própria.

Nota: os pontos em preto indicam a localização dos valores observados em cada ZOD em relação à superfície estimada

Os resultados alcançados com a replicação do primeiro estágio proposto em McMillen (2001) resultaram em poucas localizações identificadas como subcentros de emprego. Apenas 9 ZODs apresentaram resíduos positivos em nível de significância superior a 95%. A figura 3.11 permite avaliar a distribuição espacial destes pontos. Nela, é possível observar que cinco destes subcentros correspondem a centralidades localizadas em áreas distantes do centro principal e até mesmo fora dos limites da mancha urbana. São elas as zonas de Juitiba, Arujá, Santa Isabel e as duas zonas contíguas de Mogi das Cruzes e Estudantes. Com exceção destas últimas, certamente a classificação das três primeiras se deve a distância em relação ao centro principal que impõe baixíssimos valores a estimativa nestas localizações. Pelo conhecimento que temos da metrópole, não se pode atribuir nenhuma função de centralidade relevante a estas localizações para além de sua influência localizada como sede de municípios periféricos da RMSP. O mesmo não se pode dizer de Mogi das Cruzes, município com população de aproximadamente 400 mil habitantes e que guarda importantes relações funcionais com a metrópole em diversos setores da economia. Além destas zonas localizadas

nas franjas da aglomeração, apenas dois subcentros resistiram ao critério de seleção: as zonas referentes ao centro do município de Santo André e São Bernardo do Campo. Estes resultados reforçam a sugestão de um caráter monocêntrico na estrutura espacial da metrópole. Entretanto, se nos apoiarmos nos resultados encontrados na análise exploratória já apresentada, poderíamos atribuir um cunho muito restritivo a metodologia. Se considerarmos que a metodologia ainda preconiza a aplicação de um segundo estágio para avaliar se estes potenciais subcentros apresentam suficiente poder explicativo da densidade estrutural da metrópole, ainda menos zonas subsistiriam como subcentros.

Figura 3.11 - Potenciais subcentros identificados a partir da replicação do primeiro estágio da metodologia proposta em McMillen (2001).



Fonte: Elaboração própria

Entendemos que o efeito restritivo imposto pela metodologia de McMillen (2001) faz sentido especialmente quando o nível de desagregação da informação for muito alto. Lembremos que nos experimentos realizados por este autor, foram utilizados níveis de desagregação muito superiores aos disponíveis para o caso aqui em análise¹⁶. O próprio autor reconhece que o nível de desagregação interfere substancialmente no número de potenciais subcentros, sendo

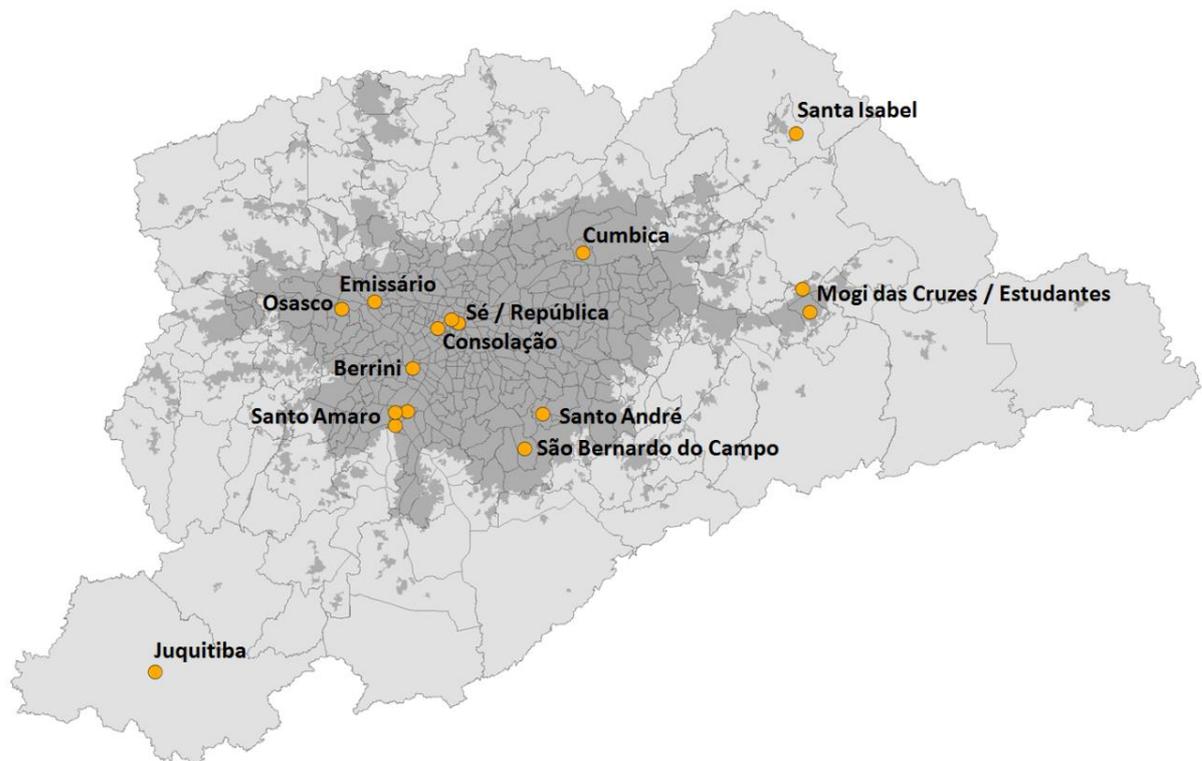
¹⁶ Nas seis cidades analisadas pelo autor, foram utilizadas zonas de análise de transporte (TAZ). Em média, estas zonas englobam populações que variam entre 700 a 4.000 habitantes.

esta a justificativa para a aplicação do segundo estágio baseado em procedimento não-paramétrico. Neste segundo estágio, ele incorpora a variável de densidade populacional como uma perturbação ao modelo para aferir a estabilidade destes potenciais subcentros no modelo. Entretanto, quando se tem o dado em alto nível de desagregação é trivial aplicar um processo de agregação. O inverso não é verdadeiro, quando se tem um elevado nível de agregação e se quer gerar sub-unidades em maior nível de desagregação, uma vez que, em geral, não se conhece a distribuição interna da variável em cada sub-unidade de análise.

Ao que parece, podemos estar diante de um quadro de elevada agregação dos dados que acaba impondo certa dificuldade à metodologia sugerida por McMillen (2001) na medida em que não é capaz de tratar os efeitos de escala impostos pelo suporte zonal. Entretanto, devido à falta de disponibilidade de outra fonte de informação semelhante, estamos irremediavelmente atrelados aos dados e ao nível de desagregação oferecido pela pesquisa OD no caso de São Paulo. Assim, parece que nosso problema é oposto ao enfrentado por McMillen (2001), onde o alto nível de desagregação do espaço acaba conduzindo a identificação de um número excessivo de potenciais subcentros. No nosso caso, o nível de agregação acaba por ocultar potenciais subcentros se os consideramos exclusivamente em função da densidade de empregos em relação à distância ao centro principal. Como já foi indicado, buscamos superar esta limitação ao incorporar a informação da densidade populacional em uma estimativa localmente ponderada em único estágio.

Aplicando a metodologia descrita na seção 2.2, incorporamos a variável densidade populacional no modelo em único estágio como descrito na equação 2.6. Esta variável entra no modelo espacialmente ponderado como uma variável de perturbação, assim, influenciará no ajuste local das estimativas da densidade do gradiente estrutural de empregos aumentando a probabilidade de obtenção de desvios positivos e estatisticamente significantes. Utilizamos na análise, a mesma função de ponderação espacial utilizada na replicação do primeiro estágio da metodologia de McMillen (2001). Igualmente, aplicamos o mesmo critério de definição de raio de abrangência estabelecido pela leitura do semivariograma experimental. Também mantivemos o critério para identificação dos subcentros locais nos locais onde os resíduos são maiores que zero a um nível de significância de 5%. O resultado pode ser observado na figura 3.12.

Figura 3.12 - Potenciais subcentros identificados a partir da metodologia proposta em único estágio com variável de perturbação incluída no modelo.



Fonte: Elaboração própria

O resultado obtido com a metodologia proposta ampliou o número de subcentros identificados quando comparamos com o resultado anterior. Além disso, com exceção de Arujá, todos os subcentros identificados anteriormente permaneceram estatisticamente significantes. Mantiveram-se identificados os subcentros de Juquitiba e Santa Isabel relacionados às localizações de pequenas centralidades fora da grande área urbanizada da cidade. Arujá, que era um desses casos, quando avaliada em conjunto com a informação estrutural da densidade populacional, deixa de ser significativa. Santo André e São Bernardo do Campo permanecem identificados como subcentros, assim como Mogi das Cruzes. As novidades ficam por conta da identificação do subcentro de Cumbica, relacionado ao conjunto de atividades na área do aeroporto internacional e seu entorno. Três subcentros foram encontrados no quadrante sudoeste, que segundo Villaça (1998) é a direção predominante de expansão de atividades centrais. O primeiro é o subcentro da Consolação, próximo ao centro principal e revela a importância estrutural da região da Avenida Paulista. Os outros dois estão localizados próximos ao Rio Pinheiros. Berrini é centralidade mais recente, configurada com o assentamento de grandes empreendimentos comerciais reunindo grande número de escritórios

e *shopping centers*. O outro subcentro é composto por três zonas contíguas mais ao sul da mancha urbana e está relacionado à região da Santo Amaro, importante centralidade histórica para região e que mantém ainda proeminente influencia para toda a populosa região sul da cidade. Por fim, outros dois subcentros se destacam na região noroeste da mancha urbana. Entre estes, inclui-se Osasco, região central com influência em toda a região oeste da cidade, e Emissário, zona próxima a confluência dos rios Tietê e Pinheiros que concentra algumas atividades industriais e de logística, mas não chega a configurar influencia relevante na região. Devido ao fato de praticamente não haver população residencial na zona, a instabilidade local no gradiente de densidade populacional acabou causando em desvio significativo na posição.

3.3. Conclusão

Analisando a estrutura espacial da RMSP a partir de suas centralidades, não é difícil constatar um alto nível de monocentralidade. Diversos trabalhos já haviam apontado esta característica. O excessivo predomínio do centro principal acaba potencializando problemas de congestionamentos e dificultando o desenvolvimento de áreas mais remotas da cidade. Nossos resultados reforçam esta percepção que, de certa forma, justifica as preocupações das autoridades e especialistas na necessidade de promoção de estratégias para a descentralização das atividades produtivas na cidade. Consideramos importante o desenvolvimento de estudos que contribuam para a construção de alternativas nesta direção, entretanto entendemos que a promoção de novas centralidades deve ser entendida não apenas como uma questão local, mas sob um enfoque estrutural. A revisão da literatura apresentada neste capítulo traz conceitos e elementos que devem ser apreciados quando da concepção de estratégias e políticas públicas que tem como objetivo a descentralização de atividades. Neste sentido, alguns pontos nos parecem imprescindíveis: primeiro, reconhecer os diferentes subcentros presentes na estrutura urbana e sua natureza no que se refere ao seu papel complementar e/ou competidor em relação ao centro principal e às outras subcentralidades; segundo, considerar os diferentes *potenciais locacionais* de cada território da cidade como requisito na determinação de estratégias de promoção de centralidades; e terceiro, ter em conta o efeito que uma centralidade exerce na conformação geral dos gradientes de valor da terra quando da determinação de políticas de regulação de uso e ocupação do solo.

No que se refere à necessidade de reconhecimento dos centros e subcentros da estrutura urbana, este capítulo espera ter contribuído com uma proposta metodológica abrangente que reconhece os efeitos do MAUP nas inferências baseadas em métodos de análise espacial. Incorpora estratégias de análise exploratória de dados espaciais como os LISAs e o semivariograma experimental para reconhecimento preliminar das estruturas de covariância espacial que determinam a sensibilidade do modelo localmente definido utilizado na identificação dos subcentros. A partir dos resultados obtidos, concluímos que a RMSPP é fortemente estruturada em torno de seu centro principal. Três outras localizações se destacam como subcentros de primeira magnitude: Santo André, São Bernardo do Campo e Mogi das Cruzes. Considerando-se seus efeitos locais, estes três centros podem ser categorizado como centros competidores ao centro principal na medida em que organizam suas áreas de influência com alto grau de independência funcional. Devido sua proximidade ao centro principal, o subcentro da Consolação deve ser entendido como uma extensão direta deste mais do que como uma centralidade autônoma. Os subcentros de Osasco, Berrini e Santo Amaro localizados a oeste do centro principal e, a leste, o subcentro de Cumbica exercem funções complementares a este organizando localmente as estruturas espaciais, porém com insuficiente autonomia para serem considerados centros competidores. Os três outros subcentros identificados Emissário, Juquitiba e Santa Isabel representam centralidades de pequena magnitude e exercem influência apenas dentro dos limites de suas localidades.

A configuração espacial das centralidades identificadas pode ser entendida como resultante dos diferentes potenciais locais existentes na estrutura urbana da metrópole. Neste conjunto, destaca-se como um grande vazio de centralidade a vasta e populosa região da zona leste da cidade. É justamente sobre esta região que vem se concentrando o debate sobre a necessidade de desenvolvimento de novas centralidades. Entretanto, é preciso reconhecer que a função de potencial locacional em uma perspectiva dinâmica, evolui segundo um ciclo de retro-alimentação positiva onde quanto maior a densidade de firmas, maior será este potencial. A rarefação de atividades produtivas associada às condições de acessibilidade da região acaba por inviabilizar este efeito na função de potencial locacional da zona leste. A reversão deste quadro passa pelo reconhecimento da influência do componente custo de transporte associado às condições de acessibilidade. É preciso também que haja a promoção de atividades produtivas com densidade suficiente para gerar ciclos positivos de atração de novas atividades. No caso em que se atinjam estes requisitos, deve-se esperar o que Fujita e Ogawa (1982) chamaram de transição estrutural de configuração urbana.

Por fim, é importante reconhecer que estas chamadas transições estruturais que muitas vezes são perseguidas por urbanistas e planejadores, afetam a cidade de forma sistêmica e não podem ser analisadas apenas pelo viés da concentração das atividades produtivas, mas, sobretudo em relação aos efeitos que estas centralidades exercem nos gradientes de valor da terra e, como decorrência, nas pressões por ocupação residencial do solo urbano. Muitas vezes, as leis que regulam usos e adensamentos do tecido urbano acabam criando restrições a usos mais intensivos de áreas próximas a centralidades acarretando pressões nos preços do solo urbano e tendências a expansão urbana em áreas cada vez mais distantes. Como colocado por Smolka e Biderman (2012, p. 823), um zoneamento discricionário e artificial/elitista muitas vezes justificados através de argumentos estéticos ou de saúde pública acaba atuando como instrumento de exclusão social reforçando os processos de informalidade urbana e segregação socioespacial.

4 PERSPECTIVA DINÂMICA NA ANÁLISE DA ESTRUTURA ESPACIAL URBANA EM CIDADES DE RÁPIDO CRESCIMENTO

4.1 Crescimento urbano e valorização fundiária: uma perspectiva dinâmica

No caso específico deste ensaio, interessa-nos compreender de que forma a estrutura espacial de cidades em rápido processo de crescimento na Amazônia vem se desenvolvendo sob o enfoque de suas características de expansão urbana interpretadas a partir de seu contexto geográfico específico. Neste sentido, propomos a adoção de um referencial teórico baseado em uma perspectiva dinâmica na análise das estruturas urbanas. Diferentemente do modelo monocêntrico estático que fundamenta a abordagem da economia urbana, considerar a perspectiva dinâmica abre possibilidades para a compreensão de características comuns em diversas estruturas urbanas, mas que, a princípio, são anomalias se consideradas apenas a partir do referencial estático. Estas situações englobam aspectos como padrões não decrescentes de densidades em função da distância ao centro e rendas da terra maiores em localizações mais distantes ao centro e que podem ser explicadas por condições macroeconômicas específicas quando no momento da conversão da terra para uso urbano.

Ao introduzir a perspectiva dinâmica na análise da estrutura urbana, abre-se a possibilidade de incorporação, ainda que parcial, do processo que levou a consolidação das aglomerações seja na sua configuração espacial resultante, seja nas expectativas futuras sobre seus novos desenvolvimentos. Neste sentido, devem ser incorporados aos modelos dinâmicos aspectos como a durabilidade dos ambientes construídos e os custos inerentes aos processos de reconversão de usos e renovação, as dinâmicas intertemporais nos mercados de investimento, assim como as decisões de localização que os habitantes tomam ao longo do tempo (ANAS, 1978). Essas características levam a alterações significativas em pressupostos estabelecidos pelos modelos estáticos. Talvez, a mais evidente seja o fato de que em uma perspectiva dinâmica, o valor da terra e o produto marginal da terra em novas construções não seja sempre igual. Isso porque apenas uma parte da cidade opera na arena de competição de mercado, sendo que outras partes são ocupadas por estruturas duráveis desenvolvidas em circunstâncias econômicas específicas. Segundo Capozza e Helsley (1989) os modelos dinâmicos na análise do desenvolvimento de estruturas urbanas são aplicados em estudos dos processos de

abandono de áreas residenciais, nos processos de deterioração e conversão de usos em áreas urbanas, na configuração de localizações com usos mistos e, principalmente, em processos de expansão urbana em padrões espaciais descontínuos ou dispersos. Neste último caso, os autores apontam que em perspectiva dinâmica, este tipo de desenvolvimento pode ser eficiente ao contrário do que estabelecido em modelos estáticos. Entretanto, em geral, este padrão espacial de desenvolvimento é associado à falha de mercado derivada de comportamentos especulativos.

Já nos finais do século XIX, Henry George em seu clássico trabalho *Progresso e Pobreza* estabelecia em linhas gerais os mecanismos de retenção e valorização da terra localizadas nas margens das cidades e suas implicações nos processos de exacerbação da pobreza e da desigualdade social.

But there is a cause, not yet adverted to, which must be taken into consideration fully to explain the influence of material progress upon the distribution of wealth.

That cause is the confident expectation of the future enhancement of land values, which arises in all progressive countries from the steady increase of rent, and which leads to speculation, or the holding of land for a higher price than it would then otherwise bring.

We have hitherto assumed, as is generally assumed in elucidations of the theory of rent, that the actual margin of cultivation always coincides with what may be termed the necessary margin of cultivation—that is to say, we have assumed that cultivation extends to less productive points only as it becomes necessary from the fact that natural opportunities are at the more productive points fully utilized.

This, probably, is the case in stationary or very slowly progressing communities, but in rapidly progressing communities, where the swift and steady increase of rent gives confidence to calculations of further increase, it is not the case. In such communities, the confident expectation of increased prices produces, to a greater or less extent, the effects of a combination among land holders, and tends to the withholding of land from use, in expectation of higher prices, thus forcing the margin of cultivation farther than required by the necessities of production. (GEORGE. 1920. Book IV, Chapter 4).¹⁷

¹⁷ Mas há uma causa, ainda não reportada, que deve ser considerada por completo para explicar a influência do progresso material sobre a distribuição de riqueza. Esta causa é a certeza de aumentos futuros no valor da terra, que surge em todos os países progressistas a partir do rápido crescimento da renda, e que leva a especulação, ou a retenção de terra na perspectiva de obtenção de preços maiores do que aqueles que deveriam ser cobrados. Até aqui havíamos assumido, como em geral se assumem nas teorias de renda, que o limite da terra cultivada sempre coincide com a extensão necessária em um determinado momento - ou seja, assumimos que as áreas cultivadas se estenderiam para terrenos menos férteis apenas se isso fosse necessário a partir da plena utilização das terras mais produtivas. Este talvez seja o caso em comunidades de lento crescimento ou estagnadas, mas em comunidades de rápido progresso, onde o brusco e rápido aumento da renda gera confiança para se prever futuros aumentos, isso não é o caso. Nestas comunidades, a certeza de aumento de preços produz, em maior ou menor grau, o efeito de combinação entre os proprietários de terras que tendem a reter suas terras sem usos, na expectativa de preços maiores, forçando, desta forma, que as fronteiras produtivas se localizem em terras mais distantes do que as necessárias.

Em 1965, Harvey e Clark em seu estudo denominado “*The nature and economics of Urban Sprawl*” se dedicaram a identificar as causas e catalisadores dos processos de expansão de áreas urbanas. Para eles, além das relações com as infraestruturas e avanços nas tecnologias de transporte, uma das causas dos processos de expansão e dispersão de áreas urbanas é a independência das decisões entre competidores monopolísticos. Este efeito é mais sentido em mercados imobiliários em rápida expansão, onde, quanto mais rápida a expansão e maior o número de firmas atuantes, maior será o desenvolvimento de empreendimentos desconexos e fragmentados espacialmente. A especulação é referida como uma segunda causa desses processos. Entretanto, para os autores, é a falta de coordenação no processo de especulação que causaria uma expansão descontínua e exagerada, e não a especulação por si só. Neste ponto, há certo consenso entre os estudos de que a especulação, assim como as melhorias nas condições de acessibilidade, sempre está presente nos processos de expansão urbana (CLAWSON, 1962). A especulação dos valores da terra seria neste sentido a principal das ineficiências econômicas destes processos sendo caracterizada pela retenção de terra por proprietários buscando a maximização de lucros por decisões individuais (BAHL, 1968). Como já colocado em nosso primeiro ensaio, para Archer (1973), a especulação de terras e o consequente desenvolvimento descontínuo e extensivo da cidade em suas franjas são falhas de mercado provocadas, sobretudo pelas políticas de preços das empresas públicas e privadas na especificação dos custos de serviços de infraestrutura urbana, pela aparente incapacidade dos compradores de estimar os custos diferenciais de deslocamento entre as diferentes localizações e as próprias incertezas inerentes ao mercado de terras. Estes estudos pioneiros buscavam compreender os processos sob o ponto de vista do mercado que levaram à massiva suburbanização norte-americana já reconhecendo os custos e impactos negativos que este padrão dominante acarretaria.

O tema da especulação imobiliária como indutora da expansão urbana não é consensual entre os estudiosos. Em seu livro, *Urban Economic Problems*, Richard Muth (1975) discute a questão do *Suburban Sprawl* quando analisa a estrutura interna das cidades argumentando que apesar da figura do especulador ser frequentemente lembrada como um dos grandes vilões dos problemas econômicos das cidades, há poucos estudos que comprovem que existam ganhos superiores a outros investimentos quando decidem reter extensões de terras para conversão urbana. Já Mills e Hamilton (1993), apesar de apontar os custos sociais associados à expansão descontínua provocada pela retenção de terras para desenvolvimento urbano, contraditoriamente reconhecem “importantes” benefícios associados à especulação. Para eles,

a existência de um desenvolvimento urbano descontínuo num determinado momento da estruturação urbana garantiria um desenho eficiente em um momento posterior já que lhes parece necessário considerar o *trade-off* entre os usos atuais e futuros de uma área em relação aos custos de conversão de áreas já consolidadas.

O efeito das características duráveis das habitações nos modelos de economia urbana foi foco de estudos como o de Brueckner e Rabenau (1981) e Arnott (1980). Eles trazem contribuições para o entendimento de situações que derivam fundamentalmente dos efeitos de uma mudança exógena no contingente populacional da cidade quando esta é antecipada pelos investidores. Dentre os potenciais efeitos derivados, encontram-se as estruturas de densidade populacional com gradientes irregulares e as expansões urbanas descontínuas, ambos os padrões frequentemente observados em cidades reais e que violam as expectativas estabelecidas pelos modelos estáticos. No conjunto de estudos sobre os efeitos do crescimento populacional na estrutura espacial urbana, destaca-se o trabalho de Capozza e Helsley (1989) que demonstra haver implicações profundas na relação existente entre crescimento urbano e valor da terra em modelos dinâmicos. A linha de argumentação é construída a partir da constatação de que, se considerada apenas numa perspectiva estática, o valor da terra deve ser proporcional à renda da terra, a qual na fronteira urbana é definida pela renda da terra agrícola. Entretanto, se analisada sob um enfoque dinâmico, pode-se incluir quatro elementos aditivos na composição do valor da terra. São eles: o valor da renda da terra agrícola, o custo de conversão em terra urbanizada, o valor da acessibilidade, e o valor da expectativa de incremento de renda futura. Este último componente é definido como uma função determinada exponencialmente pela taxa de crescimento populacional e, inversamente, pela taxa de desconto vigente. Este modelo simples traz luz sobre uma situação recorrente em cidades em diferentes países e regiões: a diferença entre o valor da terra agrícola próxima a fronteira urbana e a terra recém-convertida em urbana.

Formalmente, o modelo simples pode ser apresentado como:

$$AP^d(t) = A/r + C + (T/(3r\bar{L}))\bar{z}(t) + (T/\bar{L})\frac{g/2}{r(r-g/2)}\bar{z}(t) \quad (4.1)$$

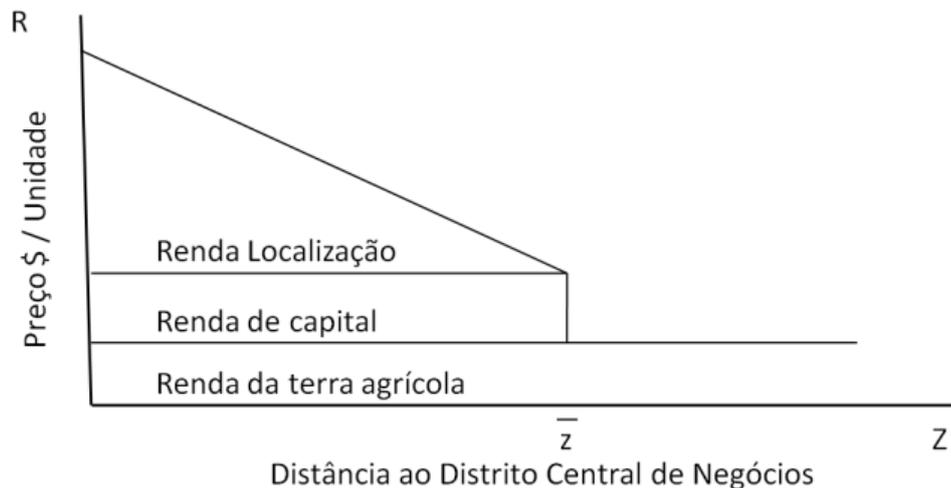
Onde:

- $AP^d(t)$ é o preço médio da terra urbanizada no momento t ;
- A/r é o valor da renda da terra agricultável ajustada pela taxa de desconto r ;
- C é o custo de capital para conversão da terra em uso urbano;

- $(T/(3r\bar{L}))\bar{z}(t)$ é o valor da acessibilidade definido pelo custo de transporte T , o total de terra ocupada \bar{L} , e da distância a fronteira urbana \bar{z} no momento t ; e
- $(T/\bar{L})\frac{g/2}{r(r-g/2)}\bar{z}(t)$ é o prêmio pelo crescimento associado a expectativa de incremento de renda definido em função da taxa de crescimento populacional g .

A figura 4.1 representa esquematicamente o modelo proposto, onde a renda da terra localizada fora da área urbana é igual à renda obtida pelo uso agrícola. Na fronteira da área urbana, a renda tem um salto em função do custo de capital aplicado para a conversão da terra para uso urbano. Internamente a área urbana, há um incremento da renda da terra definido pelos custos de transporte por unidade de distância ao centro principal da aglomeração.

Figura 4.1 - Renda da terra interna e externa a área urbana



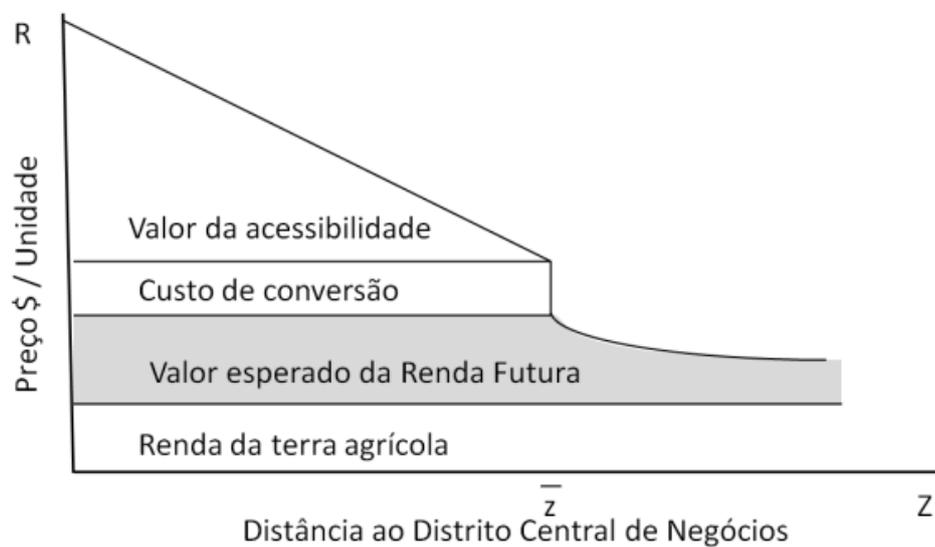
Fonte: Adaptado de Capozza e Helsley, 1989, p. 300

A figura 4.2 apresenta uma secção esquemática do comportamento dos preços internos e externos a área urbana. A uma distância suficientemente grande da cidade, a terra é vendida pelo seu valor exclusivamente agrícola, A/r . Terras com usos ainda agrícolas, porém próximas à fronteira urbana, são vendidas pelo valor do prêmio igual ao valor esperado após sua conversão ao uso urbano. Na fronteira, os preços saltam ao incluir os custos de conversão ao uso urbano. Internamente a área urbanizada, os preços sobem na medida em que a distância ao centro principal da aglomeração decai.

Este modelo oferece a possibilidade de estimar o impacto que o crescimento populacional exerce sobre o valor da terra para uso urbano. Para situações onde há um rápido crescimento populacional, o componente associado à expectativa de incremento de renda futura, ou o

prêmio pelo crescimento, pode chegar facilmente a metade do valor da terra médio criando uma grande diferença entre o valor da terra na franja da aglomeração urbana e a terra agrícola (CAPOZZA; HELSLEY, 1985, p.305). Em uma simulação grosseira aplicada sobre o modelo, os autores chegaram a encontrar percentuais superiores a 55% de valorização devida ao prêmio pelo crescimento em situações onde as taxas de crescimento populacionais alcançavam médias superiores a 4% ao ano.

Figura 4.2 - Preços da terra interna e externa a área urbana em perspectiva dinâmica



Fonte: Adaptado de Capozza e Helsley (1989, p.300)

Alguns estudos trataram de evidenciar situações de variações acentuadas entre os valores da terra urbana nas franjas da cidade e a terra rural adjacente. Estes estudos buscavam estabelecer referenciais empíricos ao processo de valorização das terras recém-convertidas como forma de ilustrar a magnitude deste efeito. O trabalho de Dunford, Marti e Mittelhammer (1985) analisou dados empíricos sobre o mercado de terras em áreas próximas a cidade de Vancouver, no condado de Clark localizada as margens do rio Columbia, no estado de Washington-EUA. Os dados refletem a valorização da terra ocorrida na década de 70 quando o condado experimentava crescimento populacional superior a 49% na década. Segundo o modelo desenvolvido, os resultados demonstram que cerca de 30% do valor da terra adicional em novas transações derivava unicamente de expectativas de intensificação do uso residencial com a conversão de terras ainda não desenvolvidas nos arredores. Em outro

estudo realizado nos anos 70 para terras com crescimento populacional médio anual próximo a 4% no condado de Will, Illinois - EUA, foram encontradas evidências semelhantes de valorização de cerca de 30% em função da proximidade franja urbana (CHICOINE, 1981).

No Brasil, até onde vai nosso conhecimento, não são muitos os trabalhos que se dedicaram a aplicar análises empíricas sobre os efeitos de conversão de uso de terras agrícolas em urbanas. Dentre os trabalhos consultados, encontram-se os artigos incluídos no livro "Mercado de terras no Brasil: estrutura e dinâmica" (BRASIL, 2006) que dedica o quarto capítulo para o tema da transformação de terras rurais em urbanas como estratégia de especulação privilegiada. No artigo "O mercado de terras e a produção de loteamentos urbanos" (REYDON; GONÇALVES, 2006) são analisados alguns empreendimentos de conversão de terra rural em urbana no município de Pedreira (Estado de São Paulo). Os dados levantados apontam que a transformação de terra rural em terra urbana é um negócio que garante grande lucro levando a uma valorização impressionante do m². Segundo os autores, a diferença por metro quadrado entre a terra urbana e rural é da ordem de R\$70 a R\$100 (valores correntes). A conclusão central do estudo é a constatação de que os mercados de terras rurais e urbanos são interligados e que o controle da especulação passa por processos de regulação conjunta tanto do mercado de terras rurais e como o de terras urbanas. Outro artigo incluído na mesma publicação (REYDON ET AL, 2006) analisa o caso da conversão de terra rural em urbana no município de Santa Barbara D'Oeste, também no estado de São Paulo. O estudo de caso demonstra como a retenção de terras próximas a fronteira urbana se coloca como uma estratégia de ganho empresarial com resultados muito superiores a outras aplicações e reafirma "o papel essencial da especulação com terras na estratégia e na rentabilidade dos capitais empresariais". Recentemente, Santoro (2013) dedicou sua tese de doutorado à análise dos processos de expansão urbana no contexto latino-americano incluindo estudos de caso para as cidades de São Carlos e Catanduva (Estado de São Paulo) e Bogotá (Colômbia). O trabalho além de bem ilustrado com dados empíricos, situa no centro da discussão os instrumentos regulatórios e normativos previstos no Estatuto das Cidades (Lei Federal nº 10.257/01) como a Outorga Onerosa por Alteração de Uso como forma de aplicar a gestão social da valorização da terra na mudança de uso de rural para urbano.

4.2 Estudo de caso: cidades médias em rápida expansão na Amazônia

4.2.1 Contextualização

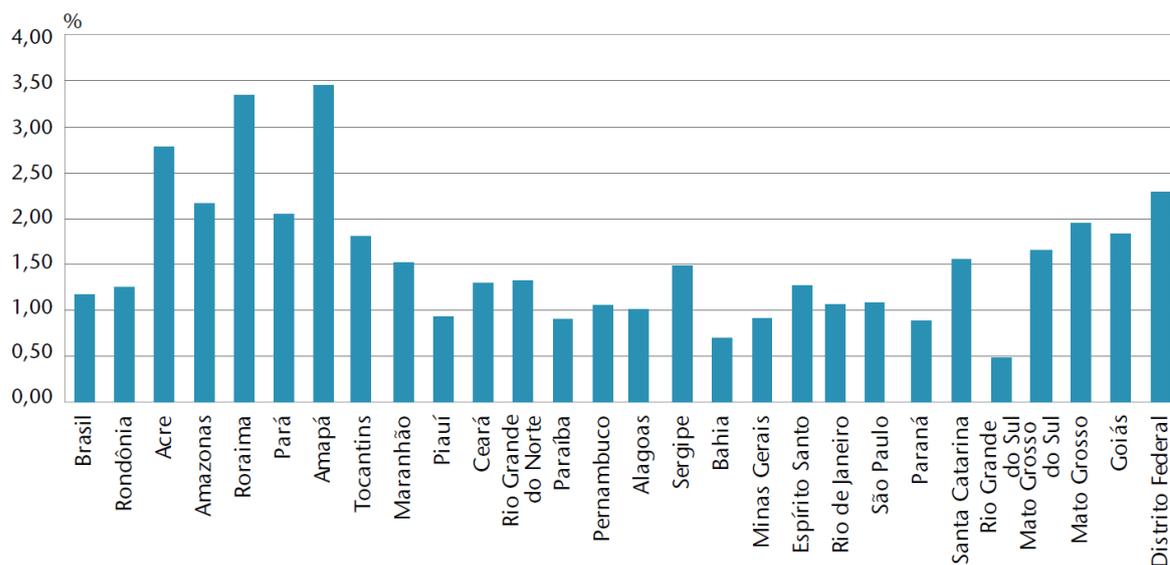
A Amazônia brasileira é hoje um território heterogêneo, muito dinâmico e com grande diversidade social e econômica. Estas características têm suas origens em um padrão de ocupação que teve seu auge entre as décadas de 1960 e 1980 baseado em desenvolvimento de economia de fronteira onde "o crescimento econômico é visto como linear e infinito, e baseado na contínua incorporação de terra e de recursos naturais, que são também percebidos como infinitos." (BECKER, 2005 p.72). Neste processo de formação e ocupação de fronteira, o território sofre profundas transformações nos padrões de assentamentos humanos e nos sistemas de produção econômica. Como bem coloca Becker:

Uma grande modificação estrutural ocorreu no povoamento regional que se localizou ao longo das rodovias e não mais ao longo da rede fluvial, como no passado, e no crescimento demográfico, sobretudo urbano. Processou-se na região uma penosa mobilidade espacial, com forte migração e contínua expropriação da terra e, assim, ligada a um processo de urbanização. Em vista disso, a Amazônia teve a maior taxa de crescimento urbano no país nas últimas décadas. No censo de 2000, 70% da população na região Norte estava localizado em núcleos urbanos, embora carentes dos serviços básicos. Muitos discordam dessa tese, porque não consideram tais nucleamentos como urbanos. Mas esse é o modelo de urbanização no Brasil e, ademais, a urbanização não se mede só pelo crescimento e surgimento de novas cidades, mas também pela veiculação dos valores da urbanização para sociedade. Por essa razão, desde a década de 1980, chamo a Amazônia de uma "floresta urbanizada" (BECKER, 2005, p.73).

Hoje a Amazônia não pode mais ser caracterizada apenas como a fronteira móvel da frente de expansão econômica. É um território mais complexo e urbanizado onde atuam interesses globais que atribuem um novo significado geopolítico como a grande fronteira do capital natural. Ademais, no âmbito regional, essa fronteira se diversificou em frentes especializadas de economia avançada e cuja característica comum é a consolidação do povoamento, sobretudo nas áreas do Sudeste Paraense e no Mato Grosso. Ela deixou de ser "fronteira de expansão de forças exógenas para se tornar uma região inserida no sistema espacial nacional, com estrutura produtiva própria e múltiplos atores" (BECKER, 2005, p.82). É nesse processo de consolidação de povoamento que, na primeira década deste século, os estados amazônicos, com exceção de Rondônia, foram os que apresentaram as maiores taxas de crescimento populacional dentre todos os outros estados da federação (Figura 4.3).

Ainda que caracterizada como uma "floresta urbanizada" (BECKER, 2005), quando observada em termos da configuração de sua rede hierárquica urbana, verifica-se uma rede de baixa densidade de ocupação, acompanhada por bolsões de concentração urbano-industrial com subespaços diversificados (áreas dinâmicas *versus* estagnadas, áreas integradas *versus* isoladas) (SIMÕES ET AL., 2012). Segundo IBGE (IBGE, 2007), no estado do Pará, a rede urbana organiza seu território em torno da influência de uma metrópole de nível C (Belém) e duas capitais regionais de nível C (Marabá e Santarém). Este contexto diz respeito apenas à configuração momentânea da hierarquia. Entretanto, segundo modelos desenvolvidos a partir de projeções sobre indicadores econômicos e demográficos tendo como cenário prospectivo o ano de 2020 (SIMÕES ET AL., 2012), a rede apresenta um quadro em evolução onde Belém se mantém como a principal área de influência do estado, seguida pelos municípios de Marabá, Santarém, Ananindeua e Barcarena. Estes municípios polarizam a dinâmica urbana estadual, intensificando seus papéis no decorrer do período analisado.

Figura 4.3 - Taxa média geométrica de crescimento demográfico anual entre 2000 e 2010



Fonte: IBGE - Atlas do Censo Demográfico de 2010

Neste contexto regional de consolidação de povoamento e de intensificação de importância das capitais regionais na hierarquia urbana do Pará, destacam-se as cidades de Marabá e Santarém como foco de interesse da investigação dos processos de crescimento urbano. Ambas as cidades tem importância regional, organizando uma ampla rede de localidades em seu entorno. Apesar de ambas estarem dentro do que se denomina "cidades médias", importantes diferenças marcam suas trajetórias. Historicamente, os núcleos urbanos foram as

pontas de lança para a ocupação do território amazônico, apoiando as incursões fluviais como entrepostos para a circulação nos grandes rios. Devido à falta de condições em relação à acessibilidade e escassez de recursos econômicos e políticos, as cidades cresceram através de surtos que eventualmente cessam e acabam imprimindo ciclos de dinamismo e estagnação que deixam marcas em suas estruturas espaciais. Neste sentido, é importante reconhecer a cidade não apenas como uma centralidade em uma rede hierárquica, mas como processos materializados no espaço em função das condições naturais e diferenciações sociais (BECKER, 2013 p.21).

Santarém, a antiga aldeia do Tapajós, já por volta de 1830 conquistara a posição de maior centro urbano da região em que está inserida funcionando como um relevante ponto de articulação entre o Amazonas e o Pará. Exercia desde então o comando simbólico militar e religioso de uma vasta região (PEREIRA, 2004 p.80). Assim como na história de quase todas as aglomerações amazônicas, também é fruto de diversos surtos econômicos, como os do cacau, borracha, juta, madeira, ouro e gado atuando como grande centro exportador e garantindo o escoamento dos produtos extrativos em áreas interiores. Hoje, é a terceira cidade mais populosa do Pará, um importante porto e centro de referência para um conjunto de resíduos urbanos subordinados. A cidade cresceu com o plano de asfaltamento da estrada BR-163 Cuiabá-Santarém em função da chegada da frente agropecuária e busca gerar novos elementos de dinamismo econômico como a mineração de bauxita e instalação de centros de ensino superior, aproveitando a sua posição favorável de articulação das porções orientais e ocidentais da Amazônia (BECKER, 2013 p.53-54).

Assim como Santarém, Marabá também tem sua história pontuada por surtos econômicos ainda que seu desenvolvimento tenha se dado mais tardiamente. Seus primórdios estão associados à expansão de uma frente pastoril que avançava pelas terras do norte de Goiás e Maranhão. Aos finais do século XIX, esta frente elege a foz do rio Itacaiúnas como sítio para instalação de um *Burgo Agrícola* que rapidamente desapareceria e com ele entrariam em longa hibernação os sonhos agropecuários dos colonizadores para só ressurgirem muito depois, com nova feição (VELHO, 1972, p.34). Seguiram-se até meados do século XX ciclos extrativistas de caucho e castanha que acabaram por estabelecer uma oligarquia firmada pela progressiva apropriação de terras facilitada por sua posição na hierarquia administrativa. Esta oligarquia exerce poder absoluto sobre o município até que ao final dos anos 60, quando a extraordinária expansão do capital experimentada pelo país e a centralização governamental

interfere radicalmente nas estruturas políticas e econômicas lá estabelecidas (EMMI, 1999). A partir daí, Marabá entra em um ciclo de profunda transformação onde o Estado Nacional passa atuar diretamente dentro de um contexto de política intervencionista declarando o território como área de defesa nacional em função do desenvolvimento do Projeto Grande Carajás. Neste novo contexto, acirram-se os conflitos por terra opondo-se grupos de trabalhadores recém-chegados e grupos de moradores antigos. No plano urbanístico, uma série de projetos de expansão e ordenação da cidade são desenvolvidos dentro de uma perspectiva de planejamento centralizado. Muitos deles acabam sendo parcialmente aplicados ao lado de processos de expansão urbana por ocupação informal não controlada.

Tabela 4.1 - Taxa média geométrica de crescimento demográfico anual¹⁸ de Marabá e Santarém

<i>Período</i>		<i>1970/1980</i>	<i>1980/1991</i>	<i>1991/2000</i>	<i>2000/2010</i>
Marabá	População Total	9,36	6,82	3,46	3,35
	População Urbana	11,10	8,50	3,06	3,32
Santarém	População Total	3,57	2,98	-0,11	1,16
	População Urbana	6,16	4,45	0,38	1,48

Fonte: Censos demográficos, IBGE. Elaboração própria.

Nas últimas quatro décadas, tanto Marabá como Santarém apresentaram altas taxas de crescimento demográfico. É exatamente na década de 70 que estas cidades experimentam seus maiores incrementos populacionais coincidindo com o período da política expansionista induzida pelo Estado Nacional. Marabá persistiu no período com altas taxas de crescimento, nas últimas duas décadas seguiu apresentando taxa média de crescimento anuais superiores a 3%. Santarém por outro lado, nunca chegou a apresentar uma pressão tão intensa como Marabá. Suas trajetórias se diferenciam em função do contexto histórico e geográfico em que se inserem como já brevemente apresentado. Ainda assim, nas décadas de 70 e 80, o crescimento de sua população urbana foi intenso chegando a patamares superiores a 4%. Nas últimas duas décadas, Santarém passou a ter taxas inferiores à média do estado do Pará, o que demonstra o arrefecimento da pressão migratória na cidade (Tabela 4.1). Segundo o censo demográfico de 2010, Santarém contava na ocasião com uma população total de 295 mil

¹⁸As estimativas de crescimento da população são realizadas pelo método geométrico. Em termos técnicos, para se obter a taxa de crescimento (r), subtrai-se 1 da raiz enésima do quociente entre a população final (P_t) e a população no começo do período considerado (P_0), multiplicando-se o resultado por 100, sendo "n" igual ao número de anos no período. Formalmente, $r = \left[\left(\sqrt[n]{\frac{P_t}{P_0}} \right) - 1 \right] * 100$

habitantes, sendo 215 mil vivendo em áreas urbanas. Marabá apresentava uma população de 234 mil habitantes, com 186 mil vivendo em áreas urbanas.

Atualmente, a compreensão do contexto de crescimento urbano destas cidades passa pela análise das condições macroeconômicas e das dinâmicas locais influenciadas pelos atores econômicos que atuam na região. O relato extraído do relatório da missão de campo ocorrida na cidade de Marabá em 2012 (MONTE-MOR ET AL, 2012) conduzida pela equipe de pesquisadores do projeto UrbisAmazônia permite vislumbrar o cenário atual no qual se encontra a dinâmica do mercado de terras em Marabá. Segundo os pesquisadores:

Via de regra observa-se migração de ativos de setores como a pecuária e exploração madeireira para o mercado imobiliário. Além disso, são oferecidas condições facilitadas de pagamento, e padrões variáveis de oferta de infraestrutura, conforme o público alvo. A produção de habitação de interesse social pelo poder público através de programas federais ainda é insuficiente, e também acompanha as dinâmicas de conversão de terras rurais corrente em cada cidade, mantendo o padrão de oferta de lotes ou habitação mais baratas e distantes para os mais pobres. Há articulação entre atores (política, econômica, financeira) na produção de novos empreendimentos, com casos frequentes de ampliação de perímetro urbano e descumprimento de determinações dos planos diretores e eventualmente da legislação ambiental brasileira, para produção de novos loteamentos, cujos lotes são adquiridos para construção de novas moradias, mas também para especulação com terra urbana. Essa estratégia resulta no espraiamento das cidades agravado pela ausência quase total de transporte público. (MONTE-MOR ET AL, 2012, p.9)

Já no caso de Santarém, a dinâmica parece ser distinta. As pressões por expansão da área urbanizada existem, mas ao que parece não na mesma intensidade que observado em Marabá. De certa forma os próprios números relativos ao crescimento demográfico já apontam para esta situação. Apesar disso, o que parece ser uma característica diferenciadora entre as duas cidades é a relação mais funcional que a população urbana de Santarém mantém com seu entorno rural. Segundo a pesquisa desenvolvida por Cortês (2012):

Por apresentar um processo de urbanização antigo, Santarém tem uma dinâmica urbana semelhante ao cenário nacional, mais do que a do próprio estado ou região Norte. A taxa de crescimento da população urbana reduziu-se de tal maneira que já alcançou a mesma do Brasil. Mas do ponto de vista do espaço rural, Santarém apresenta um perfil que destoa tanto das tendências nacionais, como das demais áreas de estudo. Foi a única, dentre as três, que apresentou taxa de crescimento populacional positiva para o rural na

década de 2000, se assemelhando muito mais com o quadro da região Norte. O mesmo ocorre quando analisamos a proporção da população que vive no espaço rural. O município tem alta diversidade nas atividades rurais, desde soja e gado à produção de alimentícia, onde a agricultura familiar ainda é fortemente presente no rural. (CORTÊS, 2012 p. 63-64)

As características apresentadas por estas duas cidades, a especificidade dos contextos geográficos e históricos em que se inserem, juntamente com os processos de expansão e crescimento diferenciados a que estão submetidas, as tornam espaços laboratórios privilegiados no contexto da urbanização brasileira para avaliar o comportamento das dinâmicas de conversão da terra para uso urbano. Partindo do referencial teórico apresentado, sob a luz dos contextos descritos anteriormente, buscaremos estabelecer uma leitura empírica da evolução destas cidades no que se refere as suas dinâmicas de expansão urbana e os processos de conversão de uso da terra em usos urbanos. Para isso, introduziremos métodos de leitura do território apoiados por técnicas de sensoriamento remoto e geocomputação.

4.2.2 Metodologia

Na análise das cidades de Santarém e Marabá, utilizamos duas metodologias complementares com o objetivo de caracterizar os processos de transição de usos para usos urbanos nas franjas da cidade. A primeira baseia-se no trabalho desenvolvido por Angel *et al.* (2011) que busca caracterizar as estruturas urbanas em relação à configuração da mancha urbana em diferentes momentos e também, nas formas como elas evoluem entre períodos. Esta abordagem reconhece que a configuração espacial da área urbanizada é resultado de processos dinâmicos de conversão de outros usos da terra para usos urbanos. Assim, cidades mais ou menos compactas, com ou sem processos de expansão descontínua seriam resultantes desta dinâmica de incorporação de terras derivadas, sob o enfoque do mercado, do ambiente macroeconômico e da pressão por crescimento populacional das quais se associam as expectativas de ganhos por parte dos investidores. A segunda metodologia utilizada baseia-se em estudos como os de Luck e Wu (2002), Zhang *et al.* (2004) e Herold *et al.* (2002). Nela, além de analisar a estrutura urbana a partir do cálculo de métricas de paisagem e suas distribuições espaciais, analisam-se os outros usos desenvolvidos em seu entorno. Entende-se que diferentes usos apresentam diferentes potenciais de conversão para uso urbano, este potencial deriva da relação entre expectativas de ganhos e valor de produção dos usos corrente. Estas abordagens

se complementam e aportam uma nova estratégia analítica ao entendimento dos processos de expansão urbana a partir de dados secundários, uma vez que nem sempre é possível acessar dados confiáveis e abrangentes sobre as transações comerciais.

Partimos agora para a descrição da primeira parte da metodologia. Primeiramente isolam-se das imagens de sensoriamento remoto através de processamento digital de imagens as áreas efetivamente ocupadas por construções ou impermeabilizadas atribuindo-as a classificação *construído*. Neste caso utilizam-se classificações supervisionadas baseadas em pixel¹⁹. Isolam-se também os corpos d'água e, aos outros usos, designa-se uma categoria genérica de usos *não urbano*. Assim é realizado para imagens obtidas em diferentes momentos permitindo analisar três atributos da estrutura espacial urbana: **extensão** da área urbanizada medida pelo total de área construída, incluindo aí também os espaços abertos capturados pelas áreas urbanizadas; **fragmentação**, ou desenvolvimento disperso, medido tipicamente através da quantidade relativa de espaços abertos que estão fragmentados por expansões não contíguas das cidades e **compacidade**, ou nível em que a configuração espacial da mancha urbana se aproxima de um círculo em contraposição a uma forma tipo tentáculos. Ademais, são calculadas também as métricas de evolução da área urbanizada entre períodos intertemporais. Neste caso, busca-se avaliar se a expansão se deu por um processo de **preenchimento** definido como todos os novos desenvolvimentos em 'área urbanizada' que ocorrerem entre dois períodos em áreas abertas anteriormente circundadas pela mancha urbana; **extensão** entendido como novos desenvolvimentos de espaço aberto externos contíguos à mancha urbana e *leapfrog*²⁰ definido como todo o novo desenvolvimento que ocorre em áreas não contíguas a mancha urbana.

O procedimento detalhado se inicia com a aplicação de uma tipologia aos pixels classificados como *construídos (built-up)* e *espaço aberto*. Definem-se pixels construídos em três tipos a partir de uma consulta espacial em sua vizinhança circular de 1km². Os tipos resultantes são: urbano (A) - todos os pixels classificados como *construídos* que apresentem em sua vizinhança a maioria de pixels da mesma classe; periurbano²¹ (B) - todos os pixels

¹⁹ Pixel é a unidade básica que constitui uma imagem digital, ou seja, é o menor elemento que se pode observar. Em imagens de sensoriamento remoto, o tamanho do pixel é associado ao nível de resolução espacial da imagem. Em imagens LANDSAT, esta extensão corresponde a uma área quadrada de 30mX30m.

²⁰expansão descontínua da mancha urbana, na tradução literal "salto de rã"

²¹ A metodologia de Angel *et al.* (2011) atribui a este tipo a denominação *suburban* (suburbano). A fim de evitar que se estabeleça uma relação direta ao padrão de desenvolvimento dos subúrbios norte-americanos, optamos

classificados como *construídos* que apresentem entre 50% a 10% de pixels da mesma classe em sua vizinhança; e rural (C) - todos os pixels classificados como construídos que apresentem menos de 10% de pixels da mesma classe em sua vizinhança (Figura 4.4).

Em seguida, tipificam-se os pixels classificados como *espaços abertos* próximos aos pixels construídos. Três tipos de *espaços abertos* são definidos: franja - todos os pixels classificados como espaço aberto que se localizam a uma distância de 100 metros de pixels do tipo urbano e periurbano; espaço aberto capturado - todos os agrupamentos de pixels classificados como espaço aberto que se encontram completamente rodeados por pixels da classe construído ou de pixels do tipo franja e que tenham área menor do que 200 hectares; exterior - todos os pixels classificados como espaço aberto do tipo franja a menos de 100 metros dos pixels espaço aberto restantes, ou seja, são os espaços abertos que circundam toda a aglomeração urbana.

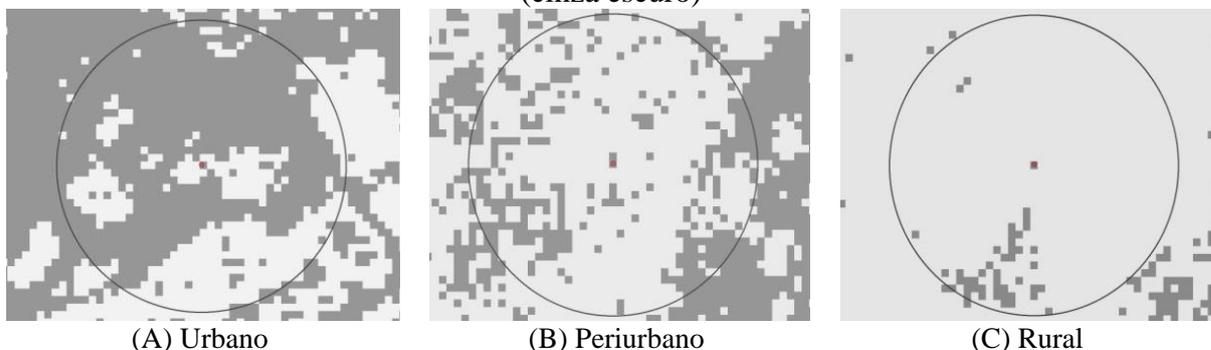
Como resultado, são gerados mapas temáticos e um conjunto de estatísticas relativas à extensão de cada uma das classes calculadas em número de pixels ou em unidade de área. Os resultados permitem avaliar a evolução da área urbanizada e seu nível de espraiamento. Estas informações permitem avaliar a velocidade com que a conversão de terras para usos urbanos vem ocorrendo e também se esta evolução vem se dando na forma de expansões contíguas ou pulverizadas indicando a dinâmica do mercado de terras nas franjas das aglomerações urbanas.

Retomando o modelo teórico de Capozza e Helsley (1989), estas dinâmicas devem estar influenciadas pelos quatro elementos aditivos da composição dos valores da terra urbana. Neste sentido, podemos associar às tendências a dispersão urbana a condições (des)favoráveis em relação a cada componentes, e no caso de cidades dinâmicas, sobretudo ao peso do prêmio pelo crescimento. Analisando-se isoladamente cada componente, podemos intuir que a tendência de espraiamento urbano é: 1) tanto menor quanto maior o valor da renda da terra agrícola; 2) tanto menor quanto maior o custo de conversão em terra urbanizada; 3) tanto menor quanto maior for o custo do transporte, entendendo que este aumenta proporcionalmente com a distância da área central da cidade e por fim; 4) tanto maior quanto

por designar estes pixels como periurbanos, evidenciando mais sua posição geométrica do que tipologias urbanísticas.

maior for o valor da expectativa de incremento de renda futura, este como função das pressões demográficas.

Figura 4.4. Ilustração sobre os contextos de classificação de pixels do tipo *construído* (cinza escuro)



Fonte: Measuring Spatial Patterns and Trends in Urban Development (PARENT, CIVCO, ANGEL, 2009)

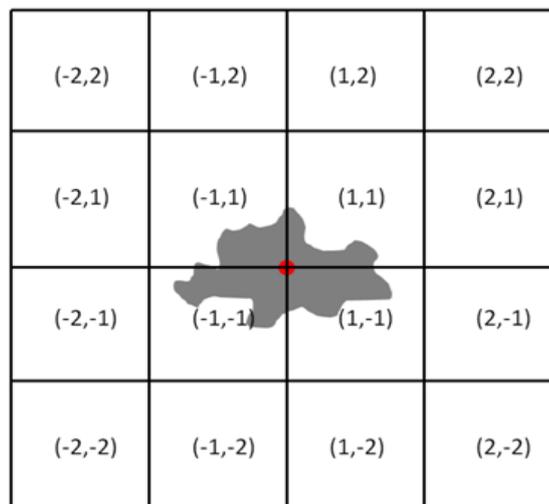
A análise baseada em classificação por pixels nos dá indicações sobre as tendências de dispersão das áreas urbanas, porém, da forma como estão definidas, não nos trazem informações sobre o contexto de uso da terra sobre o qual elas se dão. Na medida em que se espera haver influência do valor da renda da terra agrícola sobre estas tendências, é desejável que possamos identificar estes usos. Além disso, se pudessemos ter indicações sobre a distribuição espacial destes potenciais de conversão em relação à distância ao centro principal da aglomeração, poderíamos ainda avaliar o fator acessibilidade no diagnóstico aumentando o número de atributos representados para compor a análise baseada nos quatro componentes aditivos do valor da terra urbana.

Neste sentido, propomos uma extensão à metodologia baseada em pixels por meio da incorporação explícita de usos não urbanos na elaboração de gradientes calculados sobre métricas de paisagem. A utilização de gradientes urbano-rural foi inicialmente proposta na perspectiva de estudos ecológicos dos efeitos da urbanização no ambiente e sua variação espacial (MCDONNELL; PICKETT, 1990). No nosso caso, nos apropriamos desta ferramenta em outra perspectiva. Também de certo modo buscamos compreender a influência que a proximidade a uma centralidade exerce sobre os usos em seu entorno, mas delimitamos esta leitura a partir das interferências que esta proximidade tem no processo de valorização da terra em perspectiva dinâmica. Em outras palavras, definimos a partir desta proximidade e do uso que se faz da terra em determinado momento T_0 um potencial de conversão para uso

urbano em um momento T_1 a luz das condições de crescimento demográfico a que a cidade está inserida.

A aplicação desta segunda etapa metodológica requer como dado de entrada imagens classificadas em diferentes usos não urbanos e coberturas, tais como atividades agrícolas e coberturas vegetais. Com isso, podemos associar uma ideia de valor de renda da terra agrícola em função de seu uso e avaliar as expansões urbanas e suas coincidências com determinado padrão. A diversidade de padrões espaciais no entorno das aglomerações urbanas será capturada através de métricas de paisagens utilizadas dentro do campo da ecologia da paisagem (SAITO ET AL, 2011).

Figura 4.5. Grade regular em espaço cartesiano com origem no centro da aglomeração urbana



Fonte: Elaboração própria

As métricas de paisagem informam sobre o nível de homogeneidade ou heterogeneidade de usos no entorno das áreas urbanas e também o nível de complexidade deste mosaico buscando indicações sobre os agentes que atuam nesta configuração. Estes agentes são importantes para a compreensão da relação das centralidades urbanas com seu urbano estendido. Para que se possam calcular as métricas de paisagem é preciso estabelecer unidades de observação básicas as quais serão caracterizadas por seu nível de heterogeneidade e complexidade dos padrões espaciais de uso. Há que se reconhecer a perspectiva descritiva que muitas vezes caracteriza os estudos em ecologia da paisagem a partir das métricas de fragmentação, forma, conectividade. A utilização destas métricas nos estudos de economia urbana, apesar de promissora, não garante que se alcance a visão sistêmica preconizada dentro da perspectiva da

Ecologia da Paisagem. Aqui, interessa-nos compreender a intensidade do uso, através das medidas de área de cada uso no entorno urbano em termos totais, e também em termos de tamanho médio de cada fragmento. Além disso, o nível de complexidade da paisagem em termos da mistura de diferentes usos, e do arranjo espacial no sobre o qual eles se organizam. Para alcançar este objetivo, a proposta se baseia na construção de uma grade regular definida com o ponto de origem na localização do centro principal da aglomeração (Figura 4.5). A partir deste suporte celular é possível calcular os atributos da paisagem para cada célula em função do mosaico de uso nela contido. Além disso, é possível também aferir como esses atributos se distribuem no espaço cartesiano tendo o centro principal da aglomeração como origem.

Propõe-se a caracterização do entorno utilizando para isso a metodologia de classificação de paisagem baseados em sistemas de mineração de padrões espaciais (SAITO ET AL, 2011; SILVA ET AL, 2008). Dentro do amplo conjunto de métricas existentes nestes sistemas, utilizaremos quatro métricas para a descrição dos contextos de usos no espaço celular. Para cada uso identificado e cada célula, são calculadas as seguintes métricas de paisagem:

- a) **Área da classe (CA - class area)** - Corresponde ao total da área em hectares da classe de uso em cada célula. Trata-se de medida de interpretação direta que traduz a intensidade do uso na unidade de análise indicando. Sua unidade dimensional é medida em hectares.
- b) **Tamanho médio de fragmento - (MPS - Mean Patch Size)** - Calculado a partir da média aritmética simples do tamanho em área de cada fragmento da classe de uso presente na célula. Informa sobre a intensidade de uso e também nível de fragmentação do uso na célula. Sua unidade dimensional também é medida em hectares.
- c) **Densidade de bordas (ED - Edge Density)** - Medida de complexidade morfológica dos fragmentos do uso em cada célula. Informa sobre o nível de fragmentação da célula para determinado uso. Permite avaliar como o uso está organizado espacialmente, indicando a presença de vários ou poucos agentes na sua definição (alta ou baixa fragmentação). Pode estar associado também às características geomorfológicas do suporte quanto sua aptidão ao uso. Sua unidade dimensional é medida em termos da razão entre metros lineares por unidades de área em hectares.
- d) **Dimensão fractal média do fragmento (MPFD - Mean Patch Fractal Dimension)** Mede a irregularidade ou complexidade de forma dos fragmentos. MPFD se aproxima

de 1, para manchas com formas muito simples, como círculos ou retângulos, e tende a 2 para manchas de formas mais complexas (SAITO ET AL, 2011, p.405). É calculado como a somatória das razões do logaritmo do perímetro e área de cada fragmento de uso presente na célula. Complementa a leitura do índice de densidade de bordas e é adimensional.

Após a extração das métricas por classes de usos e coberturas da terra no espaço celular, sobrepõe-se a ele um conjunto de círculos concêntricos com centro definido no centro principal da cidade. Para cada círculo concêntrico, ou seja, para cada anel de distância, é possível calcular os valores médios encontrados em cada métrica. Estes valores médios são então utilizados para a construção dos gráficos de gradientes para cada momento no tempo (T) analisado. A sobreposição destes gradientes permite avaliar mudanças nos padrões de cobertura por intensidade e configuração espacial do uso em função da proximidade com a centralidade estabelecendo então uma leitura possível do contínuo urbano-rural na qual estes territórios estão organizados.

4.2.3 Dados utilizados e procedimentos

O estudo de caso foi desenvolvido para as cidades de Marabá e de Santarém localizadas no estado do Pará. Dois tipos de dados foram utilizados na elaboração das análises. O primeiro conjunto compõe-se de imagens LANDSAT obtidas junto ao *U.S. Geological Survey*, agência norte-americana responsável pela disseminação do acervo de imagens LANDSAT. Imagens de satélites LANDSAT 5 e 7 com nível de correção *1T Standard Terrain Correction (Level 1T)*. A descrição das imagens utilizadas pode ser consultada no tabela 4.2. Composições coloridas em cores verdadeiras (Bandas 3,2 e 1) estão apresentadas no ApêndiceA (Figuras A1 e A2).

Sobre as imagens foram aplicados procedimentos de classificação supervisionada utilizando o método da *distância de Mahalanobis* no ENVI 4.7. Este procedimento foi utilizado para identificação de três classes de uso: urbano (correspondente às superfícies impermeabilizadas); água (rios e outros corpos d'água) e não urbano (todos os outros usos não associados à classe urbano e água). Após a classificação das imagens, a matriz temática foi importada para o software SPRING 5.2.2 onde foi aplicado um procedimento de pós-classificação através da limpeza de pixels isolados de classe urbana (tolerância de

agrupamentos mínimos de 8 pixels) e também de uma validação das áreas urbanas identificadas com auxílio de pesquisa por interpretação visual com apoio de imagens de alta resolução disponíveis no aplicativo on-line *GoogleEarth*. Depois de aplicado estes procedimentos, a matriz foi exportada como arquivo imagem (extensão *img*) para o aplicativo ESRI ARCVIEW 9.3. Através do algoritmo de métricas de paisagem urbana *UrbanLandscapeAnalysis* (ULA)²² desenvolvido pelo CLEAR²³ (*Universidade de Connecticut*), a imagem foi reclassificada de acordo com as classes de pixels urbanos e espaços abertos definidos na seção anterior. Além disso, foram geradas mais duas imagens intertemporais para cada cidade em análise contendo as categorias de expansão urbana para os períodos [T₀ - T₁] e [T₁ - T₂] como também descritos anteriormente.

Tabela4.2 - Descrição das imagens de satélite utilizadas no estudo de caso.

Cidade	Sensor	Órbita/Ponto	Data de Aquisição
Santarém	LANDSAT-TM 5	227/62	03/08/1988 (T ₀)
	LANDSAT-TM 5	227/62	02/08/1999 (T ₁)
	LANDSAT-TM 5	227/62	29/06/2010 (T ₂)
Marabá	LANDSAT-TM 5	223/64	22/07/1988 (T ₀)
	LANDSAT-ETM 7	223/64	31/07/2000 (T ₁)
	LANDSAT-TM 5	223/64	17/08/2009 (T ₂)

O segundo conjunto de dados foi obtido junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e refere-se aos dados do projeto TerraClass (INPE, 2011). Objetivo do projeto é qualificar o desflorestamento da Amazônia legal, tendo por base as áreas desflorestadas mapeadas e publicadas pelo Projeto PRODES (Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite) e imagens de satélite, apresenta os resultados do mapeamento do uso da terra na Amazônia Legal para todas as áreas desflorestadas mapeadas pelo PRODES até o ano de 2010. A partir de um termo de cooperação acertado entre o INPE e o grupo de pesquisa envolvido no Projeto UrbisAmazônia, a metodologia do Projeto TerraClass foi replicada para a situação de desmatamento encontrada no ano de 2000 para as cidades de Marabá e Santarém. Isso permitiu ter uma base de comparação entre as diferenças de cobertura da terra com o intervalo de uma década. As bases TerraClass para os anos de 2000 restringiram-se aos limites administrativos dos municípios em análise. Desta forma, apesar de

²²Plugin disponível para download em <http://clear.uconn.edu/tools/>

²³Center for Land Use Education and Research

reconhecer que parte da dinâmica do mercado de terras possa ocorrer em municípios vizinhos com fronteiras próximas à cidade sede, limitamos nossa análise a este recorte espacial em função da cobertura de informação disponível. Os dados TerraClass foram acessados já em formato vetorial (polígonos) delimitados para um conjunto de classes. As classes utilizadas neste trabalho estão assim definidas (INPE, 2011):

- a) **Agricultura Anual** - Áreas extensas com predomínio de culturas de ciclo anual, sobretudo de grãos, com emprego de padrões tecnológicos elevados, tais como uso de sementes certificadas, insumos, defensivos e mecanização, entre outros.
- b) **Mosaico de Ocupações** - Áreas representadas por uma associação de diversas modalidades de uso da terra e que devido à resolução espacial das imagens de satélite não é possível uma discriminação entre seus componentes. Nesta classe, a agricultura familiar é realizada de forma conjugada ao subsistema de pastagens para criação tradicional de gado.
- c) **Área Urbana** - Manchas urbanas decorrentes da concentração populacional formadora de lugarejos, vilas ou cidades que apresentam infraestrutura diferenciada da área rural apresentando adensamento de arruamentos, casas, prédios e outros equipamentos públicos.
- d) **Pasto Limpo** - Áreas de pastagem em processo produtivo com predomínio de vegetação herbácea, e cobertura de espécies de gramíneas entre 90% e 100%.
- e) **Pasto Sujo** - Áreas de pastagem em processo produtivo com predomínio da vegetação herbácea e cobertura de espécies de gramíneas entre 50% e 80%, associado à presença de vegetação arbustiva esparsa com cobertura entre 20% e 50%.
- f) **Regeneração com Pasto** - Áreas que, após o corte raso da vegetação natural e o desenvolvimento de alguma atividade agropastoril, encontram-se no início do processo de regeneração da vegetação nativa, apresentando dominância de espécies arbustivas e pioneiras arbóreas. Áreas caracterizadas pela alta diversidade de espécies vegetais.
- g) **Vegetação Secundária** - Áreas que, após a supressão total da vegetação florestal, encontram-se em processo avançado de regeneração da vegetação arbustiva e/ou arbórea ou que foram utilizadas para a prática de silvicultura ou agricultura permanente com uso de espécies nativas ou exóticas.

No âmbito deste trabalho, as classes de uso do TerraClass foram requalificadas observando uma perspectiva da dimensão da renda potencial da terra obtida a partir de seus diferentes

usos. Isso nos permitiu estabelecer uma ressignificação das classes no contexto dos modelos de economia urbana em que estamos nos apoiando, entendendo-as a partir de seu **potencial de conversão** do recurso “terra” em terra urbana. Foi associado a cada classe de uso e cobertura um nível de potencial de conversão definidos como: baixo, médio e alto potencial de conversão. As classes foram assim mapeadas:

- a) **Baixo potencial de conversão** - uso da terra em atividade econômica intensiva em capital - classes TerraClass: **pasto limpo** e **agricultura anual**.
- b) **Médio potencial de conversão** - uso da terra em atividade econômica pouco capitalizada - classes TerraClass: **mosaico de ocupações** e **pasto sujo**.
- c) **Alto potencial de conversão** - uso da terra sem atividade econômica (pode ser interpretado como *proxy* de reserva de terra) - classes TerraClass - **regeneração com pasto** e **vegetação secundária**.

Uma vez acessados os dados da base TerraClass para os anos de 2010 e 2000, cada um dos usos identificados foram isolados, gerando uma coleção de bases vetoriais (em formato *shapefile*) para cada uso e para cada ano. Este conjunto de dados foi então importado para o software TerraView 4.0.0. No TerraView geraram-se as camadas celulares definidas a partir de cada uso. As células quadradas foram definidas com dimensões regulares para todos os usos com extensão de 6,25 Km², ou 2,5 Km de aresta. O tamanho da célula se deu em função da leitura da complexidade de usos contidos no entorno das áreas urbanas. O critério foi adotado como a resolução espacial adequada para capturar a presença de usos fragmentados que caracterizam as áreas periurbanas, garantindo na medida do possível a leitura sobre áreas caracterizadas por extensões mais homogêneas e regulares de uso.

Geradas as camadas celulares, utilizamos o aplicativo GeoDMA 0.2.1 (KORTING ET AL, 2008)²⁴ para cálculo das métricas já definidas anteriormente. Dessa forma, foram geradas camadas de dados celulares para cada uso e para cada ano contendo as medidas calculadas a partir da intersecção das células com os polígonos extraídos da base TerraClass. Seguiu-se a este procedimento a geração dos círculos concêntricos que determinaram a origem das medidas de distância para os cálculos dos gradientes. Definiu-se um alcance máximo de 100Km com intervalos a cada 5Km para o cálculo dos gradientes. A localização do ponto de

²⁴GeoDMA 0.2.1.. São José dos Campos, SP: INPE, 2011. Available at <http://www.dpi.inpe.br/geodma>.

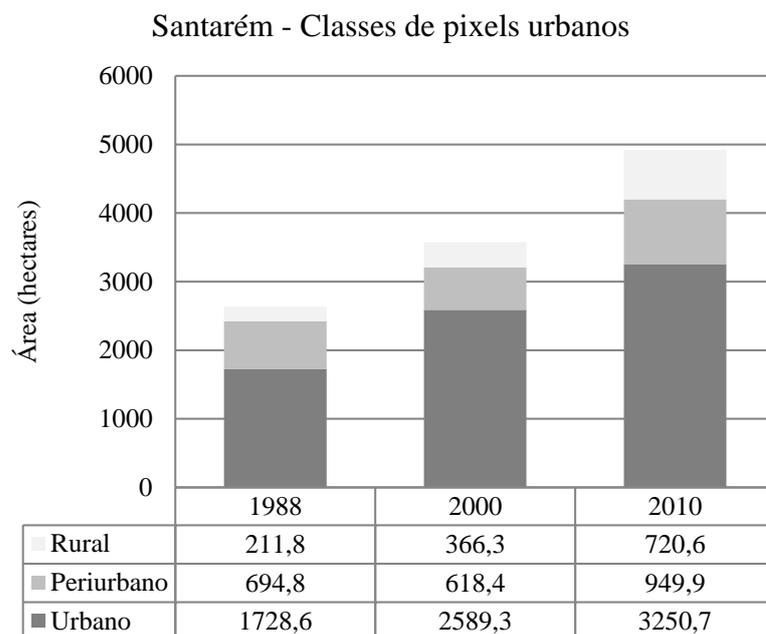
origem foi determinada no lugar do centro comercial principal da cidade, em Marabá, próximo à foz do rio Itacaiúnas e em Santarém as margens do Tapajós no local denominado Praça do Pescador.

4.2.4 Resultados

Os resultados alcançados após a aplicação dos procedimentos metodológicos detalhados nas seções anteriores demonstraram de modo geral sensibilidade para capturar as dimensões dos processos de expansão urbana das cidades em análise. Também permitiram a descrição de suas estruturas urbanas no que se refere às dimensões de interesse para esta pesquisa. Indicaram haver diferenças significativas entre as duas cidades no que se refere aos padrões de expansão apesar das suas semelhanças em termos de porte populacional e importância na rede hierárquica urbana. Em termos gerais, Santarém apresenta uma estrutura mais compacta se comparada ao nível de dispersão de Marabá apesar de ambas apresentarem extensões de áreas urbanas bem próximas de aproximadamente 50Km² cada uma.

Avaliando-se as distribuições das classes dos pixels urbanos (Apêndice A - Figura A3), percebe-se que em Santarém, nas últimas três décadas, predomina a categoria "*urbano*" indicando que neste nível de resolução, as áreas construídas tendem a se localizar em contexto de maior densidade de ocupação. Ao final da década de 80, 66% das áreas construídas estavam assim classificadas. Durante a última década do século passado, mesmo com a expansão da área urbanizada em aproximadamente 900 ha, a cidade intensificou a tendência à compactação, chegando a atingir 72% de sua área urbanizada na categoria "*urbano*". Já na primeira década do deste século, esta tendência parece sofrer uma pequena reversão, voltando a atingir patamares de semelhantes ao do primeiro período analisado, sobretudo em função de uma maior participação de áreas urbanizadas mais isoladas classificadas como "*rurais*" que chegam a representar cerca de 15% da mancha urbanizada (Figura 4.6). Este padrão de evolução pode ser visualizado quando avaliamos os mapas intertemporais calculados sobre as expansões (Apêndice A - Figura A5). Em termos quantitativos, na primeira década analisada, prevalece o padrão de crescimento por extensão. Neste período, apenas 15% dos novos desenvolvimentos da mancha urbana se deu de forma descontínua. No segundo período, a cidade amplia sua área construída em cerca de 13Km², porém agora, a participação dos desenvolvimentos descontínuos do tipo *leapfrog* é substancialmente maior, contribuindo com mais de 40% no crescimento total da mancha urbana (Figura 4.7).

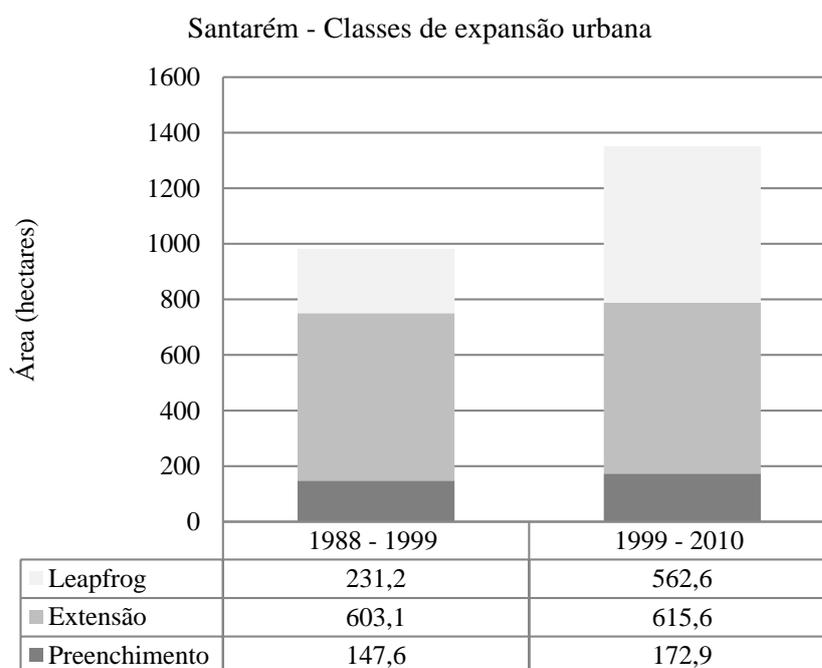
Figura 4.6 - Distribuição das classes de pixels "urbano" para Santarém



Fonte: Elaboração própria

Parece haver, portanto, uma mudança na dinâmica do crescimento da cidade após a virada do século, especificamente na tendência de surgimento de áreas isoladas em partes rurais, com a manutenção dos processos de crescimento contínuo e gradual da mancha urbana principal.

Figura 4.7 - Distribuição das classes de expansão urbana para Santarém

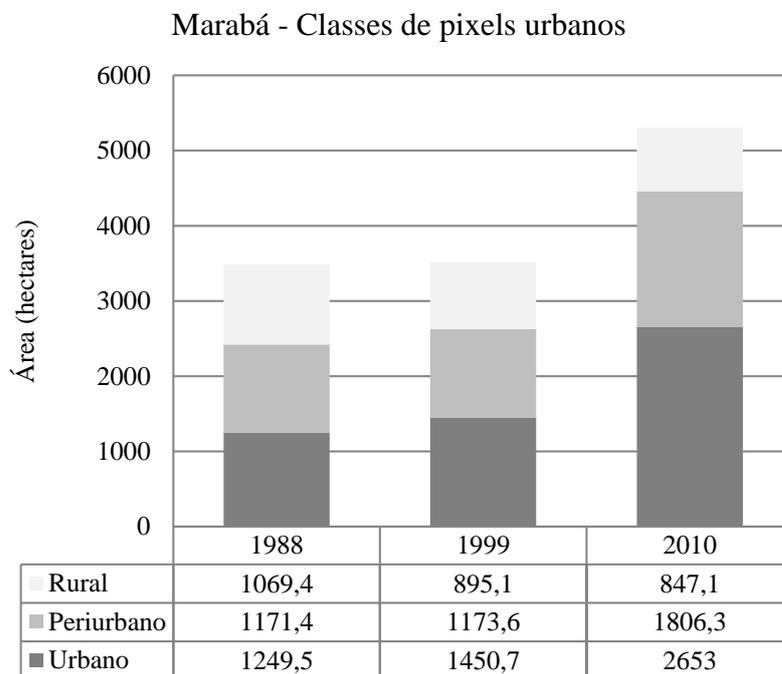


Fonte: Elaboração própria

A cidade de Marabá, diferentemente de Santarém, apresenta nos três momentos avaliados, um padrão mais disperso de desenvolvimento. Isso já era esperado dado à característica da configuração da estrutura urbana da cidade que reconhecidamente apresenta três núcleos de desenvolvimento separados pelos rios que cortam a cidade. Em 1988, a cidade ocupava uma área de cerca de 35Km², com desenvolvimentos isolados, periurbanos e concentrados contribuindo de maneira equilibrada para este total. Ao fim do primeiro período, não houve mudança significativa no total da área ocupada pelos novos desenvolvimentos urbanos, porém já se observa uma tendência à compactação da mancha urbana com a diminuição dos desenvolvimentos em áreas isoladas e aumento da mancha contínua (Apêndice A – Figura A4). Isso indica que as ocupações descontínuas que se observavam em 1988 não se localizavam muito distante da mancha urbana principal e que as novas áreas incorporadas se deram nas franjas destas manchas, integrando estes desenvolvimentos descontínuos ao tecido periurbano e ampliando também as áreas contíguas (Figura 4.8).

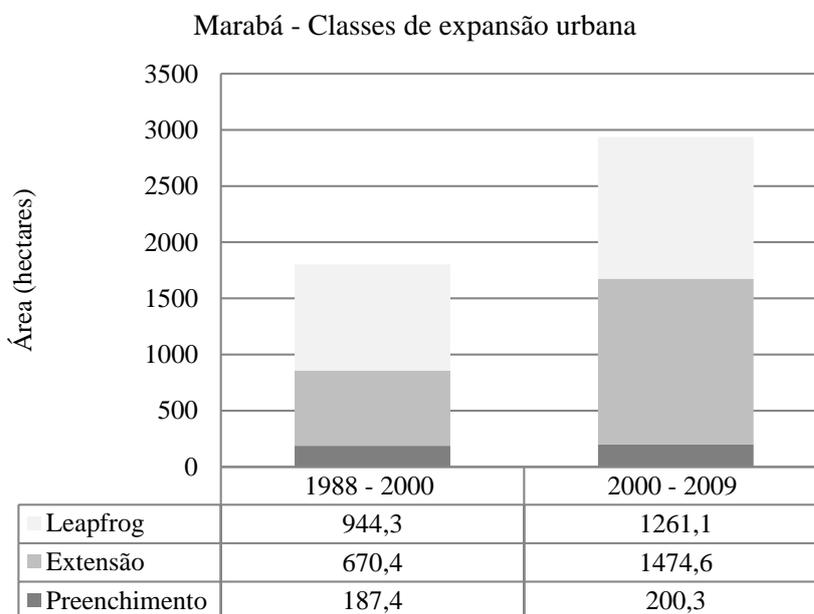
É no segundo período, porém que a cidade experimenta um considerável crescimento, aumentando sua área urbanizada em mais de 17Km². Este crescimento se deu, sobretudo, nas áreas contíguas a mancha urbana e nos contextos periurbanos. (Apêndice A – Figura A6) Ao final do período, as áreas isoladas representavam menos cerca de 15% do total da área da cidade. Por outro lado, observando o contexto onde se deram as novas ocupações, percebemos que nas duas décadas analisadas, expansões descontínuas sempre representaram um componente importante na dinâmica da cidade (Figura 4.9). Para ser mais exato, no primeiro momento o padrão *leapfrog* de crescimento prevaleceu sobre os outros dois contribuindo com mais de 50% do total de novas ocupações. No segundo período, de maior expansão, sua contribuição cai, mas ainda totaliza mais de 40% das novas áreas ocupadas. Considerando o panorama representado por estes números, podemos dizer que Marabá tende a uma concentração polinucleada, caracterizada pela presença não de pequenas ocupações isoladas, mas com a existência de diversos núcleos surgidos em processos de crescimento descontínuo em momentos anteriores, e que hoje se expandem ampliando suas áreas. Ao lado destes processos, ainda se observa o surgimento de novos núcleos, porém, ao que parece, estes núcleos já surgem criando contextos periurbanos, de média densidade de ocupação indicando a presença de agentes com capital mais intensivo na conversão do uso da terra em áreas urbanas.

Figura 4.8 - Distribuição das classes de pixels "urbano" para Marabá



Fonte: Elaboração própria

Figura 4.9 - Distribuição das classes de expansão urbana para Marabá



Fonte: Elaboração própria

Se pudéssemos resumir os processos de expansão observados na última década para Santarém e Marabá, diríamos que para o primeiro caso, há uma tendência de ampliação por extensão

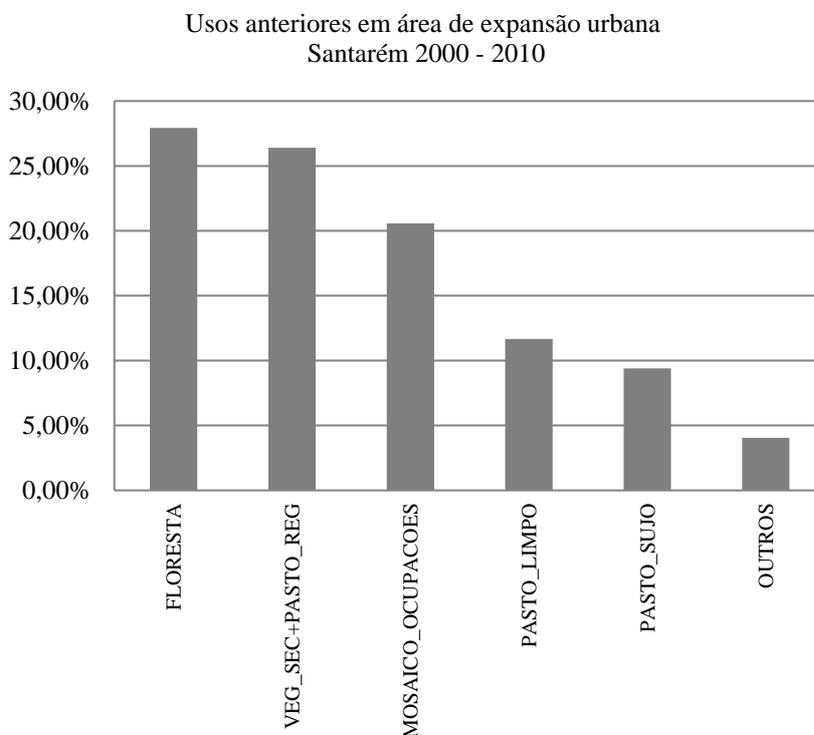
contígua de um aglomerado urbano compacto ao lado do surgimento de núcleos *rurais* isolados com baixa densidade de ocupação. No segundo caso, há uma tendência de expansão em um contexto polinucleado, onde estes núcleos se desenvolvem e expandem em contextos de média a alta densidade de ocupação sem que se observe o surgimento significativo de núcleos isolados de baixa densidade de ocupação.

Os padrões de expansão urbana descritos pelas análises baseadas em *pixels* podem ser mais bem contextualizados quando combinados com a abordagem baseada em células que inclui a informação dos usos da terra anteriores à expansão das áreas de urbana detectadas. Em termos gerais, também neste caso, apesar das semelhanças já indicadas entre Santarém e Marabá, os contextos de uso sobre os quais se deram estas expansões são bastante diversos. Infelizmente não temos acesso aos dados de usos no primeiro período analisado anteriormente, forçando-nos a focar especificamente nos desenvolvimentos apresentados na última década.

Analisando de modo agregado, a maior parte das expansões de Santarém se deu sobre áreas de floresta. Muito provavelmente estas áreas, apesar de classificadas com cobertura florestal, devem representar florestas já de certa forma degradadas em função da proximidade com o centro urbano. Quase que com a mesma intensidade, foi o avanço das áreas urbanas sobre os usos considerados de alto potencial de conversão, áreas abandonadas ou com uso de baixa intensidade, regeneração com pasto e vegetação secundária. Somadas a classe floresta, estes três usos representam mais da metade das áreas sobre as quais se deram as expansões de Santarém. A observação dos gradientes calculados (Apêndice A - Figura A7 a Figura A18) para estes usos ajuda a compreender a trajetória destes usos no espaço do planalto santareno, indicado uma diminuição e maior fragmentação das áreas florestadas como no entorno imediato da aglomeração e avanço dos usos de altas potencias de conversão para áreas mais distantes ao centro.

As expansões restantes se distribuem entre áreas de pastagem no entorno (Figura 4.10). Um fato importante destacar é que em 2000, as interpretações das imagens geradas pelo TerraClass não apontaram existência das áreas com agricultura anual, cobertura com área significativa de incidência no ano de 2010. De modo geral, estes valores estão de acordo com o que preconizávamos quando estabelecidos os potenciais de conversão. Assim, a classe floresta neste caso poderia ser compreendida como espécie de reserva de terra para expansão, ainda que maiores aprofundamentos sejam necessários para caracterização deste mecanismo.

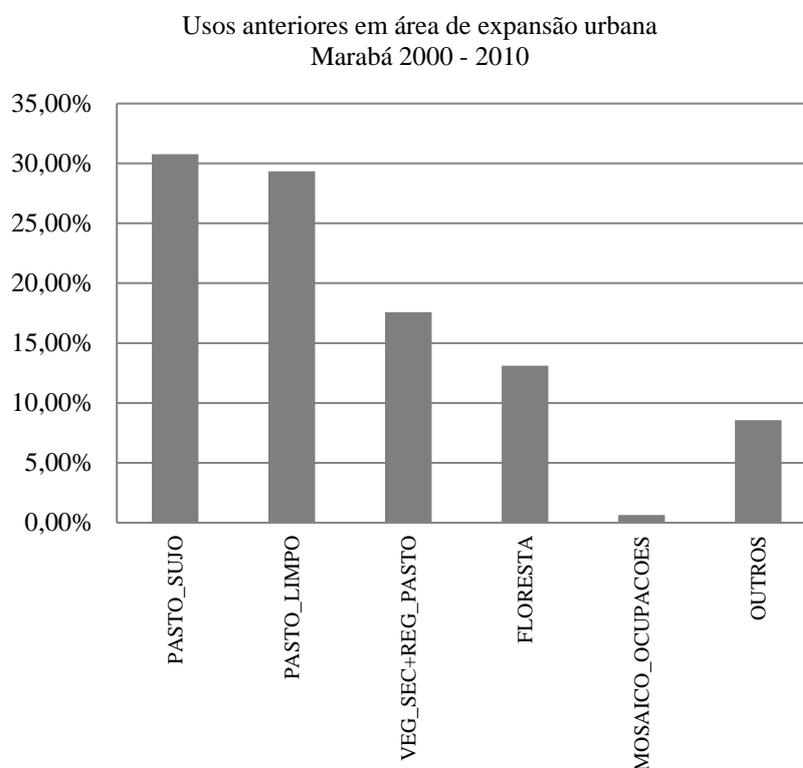
Figura 4.10 - Usos em áreas de expansão de Santarém



Fonte: INPE - TerraClass 2010 - 2000. Elaboração própria.

Em Marabá observa-se um comportamento diverso, com as maiores expansões, cerca de 60% da área, acontecendo em áreas de pastagem. Praticamente metade destas expansões se deu em áreas de pastos sujos e metade em áreas de pasto limpo. As expansões sobre áreas de alto potencial de conversão representaram apenas 17% e sobre florestas cerca de 13%. Isso nos dá indicações de que os processos que a cidade vêm experimentando na última década devam ser diferentes dos observados para a cidade de Santarém. Quando combinados com os resultados obtidos anteriormente, pode-se estabelecer uma hipótese de que as conversões em Marabá se dão de maneira mais estruturada, havendo conversão de glebas maiores e com investimentos mais intensivos do que em Santarém. O fato de que estas expansões não se deram em áreas de "reserva" de terras pode também estar associada a um ciclo mais adiantado de transformação territorial da estrutura de produção do entorno da cidade, onde a fronteira de ocupação se estabeleceu de forma mais incisiva nas décadas anteriores, alterando as estruturas de cobertura da terra com um processo mais intenso de desmatamento (Figura 4.11). A análise das métricas calculadas para os diferentes usos reforçam esta leitura (Apêndice A – Figuras A19 a A36).

Figura 4.11 - Usos em áreas de expansão de Marabá



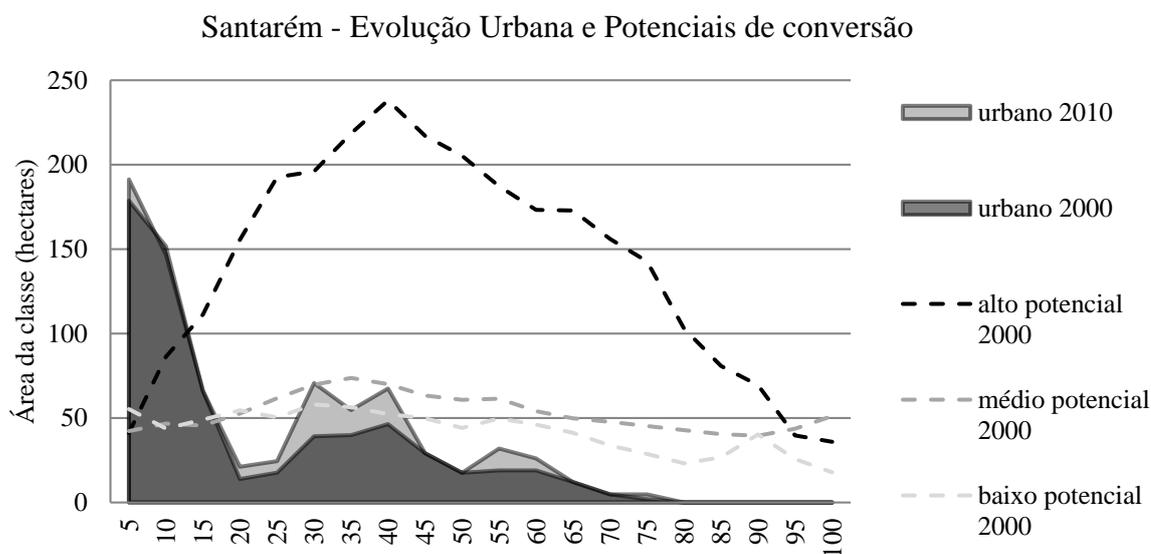
Fonte: INPE - TerraClass 2010 - 2000. Elaboração própria.

Os regimes diversos apontados pelos dados agregados podem ser bem visualizados através dos gradientes calculados sobre o entorno das cidades em questão. A fim de facilitar a leitura e na tentativa de síntese dos processos de expansão, foram construídos dois gráficos (Figuras 4.12 e 4.13) sobrepondo os gradientes calculados para a métrica de *Área da Classe* para as classes de uso urbano, demonstrando a evolução de sua intensidade nos início e final da década, e as intensidades dos usos ressignificados em função do potencial de conversão em suas condições iniciais. A ideia é constatar se as curvas de expansões urbanas estão coincidentes de alguma forma com as curvas de usos em função dos potenciais de conversão estabelecidos.

Algumas constatações podem ser derivadas da análise destes gradientes. A primeira diz respeito à localização das áreas de expansão urbana. Em Santarém observa-se que os maiores acréscimos ocorreram na faixa entre 25 a 40 km do centro da cidade em fragmentos com áreas médias de aproximadamente 60 hectares. Observa-se também um pico secundário a uma distância de 55 km com presença de novas ocupações com áreas médias de 30ha. Em Marabá,

percebe-se que há o surgimento de novas ocupações com áreas médias de aproximadamente 25ha até uma distância de 50Km do centro da cidade. Há, porém o desenvolvimento de novas ocupações a distâncias na faixa entre 60 a 70Km de distância do centro com áreas médias iguais a 50ha. Ademais, observam-se também novas áreas nas faixas mais distantes da área analisada.

Figura 4.12 - Gradientes por área de classe calculados por usos e coberturas no espaço celular



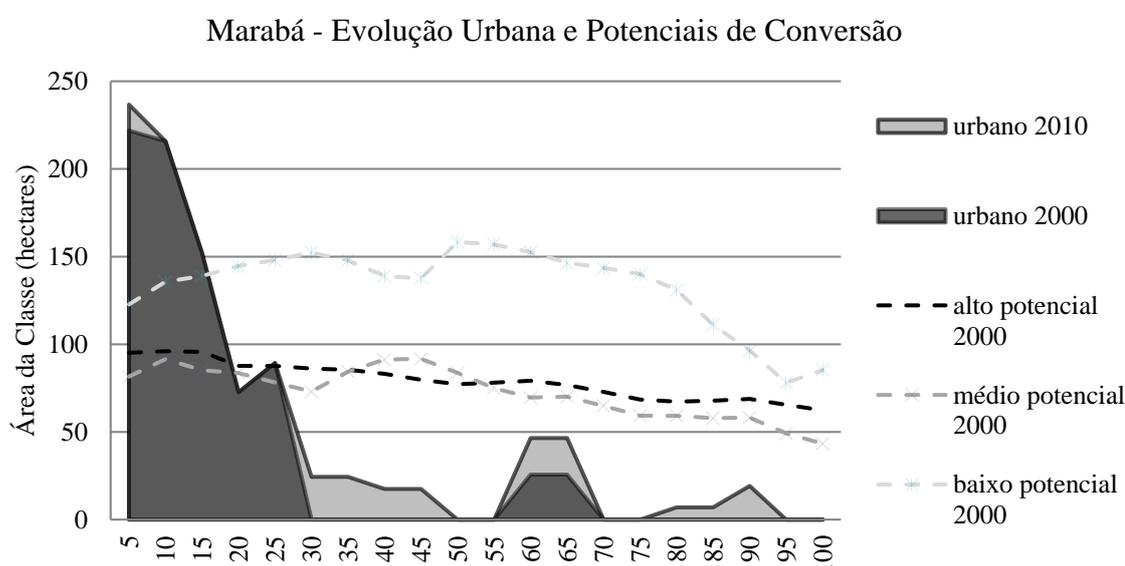
Fonte: INPE - TerraClass 2010 - 2000. Elaboração própria

As áreas convertidas em uso urbano entre 2000 e 2010 podem ser comparadas a situação dos usos anteriores em função dos potenciais de conversão que existiam no início do período. Nesta análise, torna-se evidente uma diferença fundamental na estrutura territorial das duas cidades. Santarém apresenta uma quantidade muito maior de usos com alto potencial de conversão. Coincidentemente, os maiores picos de expansões urbanas aderem ao ápice de concentração destes usos a uma distância de 40 km do centro da cidade. Em relação aos usos de médio potencial de conversão, a expansão parece também aderir ao gradiente calculado em 2000. Neste sentido, ao que parece para os processos que se observam em Santarém, as categorias estão aderentes às áreas de expansão da cidade.

Em Marabá a presença de usos com alta potencial de conversão é substancialmente menor do que em Santarém. Isso indica que em seu entorno há um uso mais efetivo do recurso terra. Em 2000 predominavam as áreas de baixo potencial de conversão em praticamente todas as

distancias do gradiente. Apenas nas franjas do limite da análise, sua presença acaba se aproximando dos usos de alto e médio potencial de conversão. Observando a evolução das áreas ocupadas por uso urbano, não se observa um padrão aderente entre as curvas por potencial de ocupação. Há, porém no que se refere aos usos de terra que apresentam alto potencial de conversão um declínio gradual a partir do centro da aglomeração que pode indicar a existência de uma reserva de terra estabelecida em função das expectativas futuras de conversão que de certa forma pode explicar em parte o padrão de desenvolvimento gradual observado nas franjas da aglomeração.

Figura 4.13 - Gradientes por área de classe calculados por usos e coberturas no espaço celular



Fonte: INPE - TerraClass 2010 - 2000. Elaboração própria

4.3. Conclusão

Os resultados obtidos com os estudos de casos desenvolvidos mostram o potencial dos métodos propostos, porém é importante deixar claro suas limitações frente aos alcances efetivos que esta proposta metodológica têm sobre o arcabouço teórico adotado. A primeira delimitação refere-se ao próprio modelo adotado na construção da leitura dos processos de expansão. Obviamente há uma simplificação imposta pelo modelo que deve ser considerada na avaliação dos resultados. Entretanto, é exatamente esta capacidade de síntese que tornam os modelos ferramentas úteis nos processos de investigação científica. Ao reduzir o processo de expansão urbana, aos mecanismos de valorização da terra derivado das expectativas de retornos através de prêmios por crescimento, o modelo permite situar claramente as duas cidades analisadas em perspectiva comparativa. Ao que parece, as cidades experimentam

atualmente surtos econômicos de natureza semelhante, porém em fases distintas de desenvolvimento. Marabá se insere em um contexto mais dinâmico, com crescimentos demográficos persistentes ao longo das últimas décadas em taxas elevadas. O processo de ocupação do entorno com as terras convertidas em pasto já ocorreu em décadas passadas. O padrão de crescimento que se depreende dos resultados é que evolução mais recente da cidade tem se dado em torno de conversões abruptas em grandes glebas e com uso intensivo de capital. Tal comportamento adere ao que preconiza o modelo teórico aplicado, já que as conversões se dão em torno de expectativas de rentabilidade provavelmente maiores do que em Santarém.

Em Santarém, esta dinâmica parece estar em estágio anterior, onde ainda há certo estoque de terra como reserva para a expectativa de conversão, mas que ainda não se efetivou. As conversões são mais graduais e contíguas às estruturas estabelecidas. Neste sentido, a estrutura espacial urbana tende a apresentar maior equilíbrio no decorrer de seu desenvolvimento, não havendo tanta pressão por alterações essenciais. Este padrão, associado ao fato de que o assentamento da cidade evoluiu historicamente de forma gradativa em torno de elementos simbólicos de centralidade, parece garantir a cidade uma estrutura mais equilibrada. A pergunta que se coloca então é em que medida os novos surtos que se sucederão sobre a cidade irão interferir na estrutura urbana da cidade.

Em termos metodológicos, o trabalho demonstra que a utilização das imagens de satélite pode representar uma alternativa para investigações da estrutura urbana, porém, isoladamente levantam questões a partir de padrões observados, mas que requerem observação mais detalhadas para dar conta de responder as relações causais que os modelos incitam.

Talvez a maior contribuição que a estratégia analítica aqui proposta traz para os estudos sobre estrutura urbana seja a capacidade de compreensão das centralidades em relação ao seu entorno, rompendo com a separação existente nas abordagens correntes que tendem a analisar os processos de estruturação urbana sob um enfoque regional e as abordagens que buscam compreender a estrutura urbana unicamente a partir das configurações morfológicas de seus espaços intraurbanos. Ao olhar os processos de expansão em relação ao seu contexto geográfico, abre-se a possibilidade de apreender estes processos como um contínuo espaço-temporal, articulando duas escalas de leitura em perspectiva conjunta.

5 CONCLUSÃO

Os ensaios aqui reunidos articulam-se no contexto da análise de estruturas espaciais urbanas na medida em que estabelecem estratégias metodológicas inovadoras para sua representação e investigação de seus processos constituintes. Compartilham não apenas o mesmo referencial teórico da economia urbana, mas também um conjunto de ferramentas analíticas derivadas dos avanços no campo da ciência da geoinformação nas últimas décadas. Ainda que permitam leituras autônomas a partir das conclusões já apresentadas em cada um dos ensaios, são em essência recortes possíveis sobre o mesmo objeto. Pudemos demonstrar empiricamente através dos dois primeiros ensaios que a estrutura espacial da metrópole paulistana apresenta altíssimos níveis de segregação espacial e que os processos de expansão continuada pelo qual passa a cidade tende a agravar tal situação. Demonstramos também que a cidade é ainda fortemente estruturada em torno das funções centrais de seu centro histórico e que, apesar de seu caráter eminentemente monocêntrico, observam-se irregularidades na relação entre densidades populacionais e proximidade ao centro que rompem com os preceitos estabelecidos pelos modelos canônicos. No terceiro ensaio, analisando o caso de duas cidades médias em processo de rápido desenvolvimento, demonstramos que quando analisadas em perspectiva dinâmica, estas irregularidades podem estar associadas a comportamentos especulativos que derivam do conhecido processo de retenção de terras nas áreas limítrofes da mancha urbana. Através da proposição de métricas intertemporais de expansão urbana baseada em imagens de satélites, apresentamos evidências sobre este processo que, apesar de conhecido, raramente é capturado em representações objetivas.

Guardadas as devidas ênfases presentes nas conclusões de cada ensaio, é possível estabelecer articulações entre elas que engendram novas questões a serem consideradas no debate urbanístico. Uma primeira questão está relacionada ao impacto que o surgimento de novas centralidades produz nas tendências de expansão urbana. Como vimos, é comum que na literatura se estabeleçam relações entre os dois processos, ainda que por vezes as relações de precedência entre um e outro seja invertida. Tomando, por exemplo, o debate sobre a necessidade de descentralização da estrutura urbana apresentado no segundo ensaio, pode-se esperar que a promoção de incentivos para a constituição de uma nova centralidade interfira nos gradientes de preço da terra, acarretando uma pressão a expansão urbana com o deslocamento das curvas gradientes na direção dos limites da mancha urbana como esquematicamente demonstrado em Alonso (1964). Se tal efeito é esperado, mantendo-se as

condições consideradas no primeiro ensaio, deve-se também esperar que haja um aumento da segregação socioespacial na cidade. Da mesma forma, pode haver um efeito sobre as expectativas de rendimentos futuros no mercado de terras nas franjas da cidade, ampliando as tendências ao estabelecimento de mecanismos especulativos de retenção de terras nestas áreas como aqueles descritos no terceiro ensaio.

Outra questão que se coloca a partir dos resultados obtidos é a necessidade de se estabelecer leituras sobre os processos de expansão urbana de forma mais articulada com os processos de conversão dos usos "não urbanos" que se dão nas áreas periurbanas. É preciso reconhecer que a regulação da ocupação dessas áreas através de zoneamentos restritivos, fundamentados em bases ambientais como o caso dos mananciais em São Paulo, não tem garantido a preservação destas áreas, com o agravante de que muitas vezes o próprio estabelecimento do instrumento normativo impede que o poder público atue nestas áreas, irregularmente ocupadas, para minimizar os impactos de uma urbanização informal, incompleta e desordenada. Entretanto, é importante enfatizar que, ainda que informal, estas áreas participam lado a lado no conjunto das transações do mercado formal de imóveis. É necessário que se faça uma leitura sistêmica sobre o comportamento do mercado de terras e imóveis no interior e no entorno das áreas urbanizadas para fins de planejamento e controle da ocupação. A leitura que usualmente se faz a partir de uma visão dicotômica urbano-rural que predomina nos instrumentos legais de regulação urbanística não tem tido a devida eficácia. Temos visto que apenas a delimitação legal de um perímetro urbano não tem surtido o efeito neste sentido. Ademais, em geral a determinação dos perímetros está associada muito mais ao debate sobre ampliação de receitas pelos governos locais na cobrança de IPTU²⁵ do que às questões de ordenação e controle da ocupação de áreas periurbanas. Mesmo os novos instrumentos previstos no Estatuto das Cidades como a outorga onerosa por alteração de uso, que ainda são muito pouco aplicados nas cidades brasileiras (SANTORO, 2013), não é em si garantia de uma coordenação efetiva das novas ocupações se não associado à visão sistêmica que defendemos.

Na perspectiva da constituição desta visão sistêmica, este trabalho espera ter trazido contribuições metodológicas inovadoras para o campo da análise urbanística. Dentre as principais, destacamos a metodologia de análise integrada da segregação socioespacial e os processos de dispersão urbana através de representações quantitativas em alto nível de desagregação espacial. Isso permitiu não apenas estabelecer os níveis globais de significância

²⁵Imposto predial e territorial urbano

desta relação, mas também avaliar localmente o comportamento desta associação entre as diferentes localizações na mancha urbana. Na forma como foram aplicados, os índices locais de segregação socioespacial demonstraram boa capacidade de representação do fenômeno permitindo ainda identificar níveis de associação diferenciados para os diferentes grupos populacionais. Já a métrica de dispersão urbana formulada a partir de processamento digital de imagens de satélites trouxe novas possibilidades na representação deste fenômeno, pois, como nos índices locais de segregação, são localmente determinadas. Ademais, a utilização das intensidades populacionais locais no cálculo dos índices de segregação em conjunto com as métricas de vizinhança definidas para as medidas de dispersão possibilitaram o acoplamento de escala entre as duas variáveis. Tal efeito é muitas vezes difícil de ser alcançado em dados associados a suportes zonais. Ainda dentro desta proposta metodológica, desenvolvemos uma medida de rugosidade do terreno a partir de modelos numéricos obtidos por imagens de radar. Esta medida foi aplicada como uma variável instrumental para dispersão urbana, mostrando-se válida nesta perspectiva.

Dentro da metodologia proposta para a identificação de subcentros de empregos, o trabalho trouxe contribuições ao incluir procedimentos de análise espacial na identificação de regimes espaciais nas variáveis de interesse a serem utilizadas nos procedimentos econométricos. Ao reconhecer estes regimes, evita aplicar critérios discricionários, como os até então propostos na literatura, na definição da matriz de vizinhança empregada nas ponderações do modelo de regressão localmente estimado. Neste sentido, a análise exploratória através dos índices locais de autocorrelação espacial ajudou a revelar o nível de significância dos regimes de associação espacial nas variáveis, indicando a extensão territorial da influência das diferentes centralidades. Além disso, a aplicação do semivariograma experimental na determinação do alcance (largura de banda) aplicado nas funções gaussianas para determinação dos ponderadores locais também representa uma aquisição metodológica inovadora neste campo de aplicação. Tais procedimentos permitiram o reconhecimento dos efeitos de escala, conhecido dentro do MAUP, nos dados disponíveis para a análise que afetava a sensibilidade do modelo em dois estágios como proposto por McMillen (2001). A proposta de aplicação do modelo em único estágio com a incorporação da densidade demográfica como variável de perturbação produziu o efeito desejado ao ampliar a sensibilidade do modelo apontando subcentros não detectados na metodologia anterior em função do baixo nível de desagregação dos dados.

No último ensaio desenvolvido no âmbito deste trabalho, introduzimos a análise da expansão urbana em perspectiva dinâmica recuperando o modelo teórico proposto por Capozza e Hesley (1989). Este modelo considera o componente da expectativa de incremento de renda futura, ou o prêmio pelo crescimento, na composição dos preços da terra em cidades em regimes de rápida expansão. Através de uma abordagem intertemporal baseada em sequências de imagens de satélite obtidas para as cidades de Santarém e Marabá, no Pará, pudemos representar os padrões de expansão urbana, não apenas considerando os aspectos morfológicos das áreas urbanizadas, mas também considerando os usos prévios a conversão para uso urbano. Através da proposição do conceito inédito de *potencial de conversão para uso urbano* associado aos usos da terra em áreas periurbanas, pudemos recuperar parte da dinâmica do processo de expansão urbana nestas cidades, identificando as possibilidades deste tipo de aplicação em abordagens comparativas. Para isto, utilizamos métricas derivadas da ecologia da paisagem no cálculo de gradientes de potencial de conversão para cada cidade analisada.

O conjunto de procedimentos analíticos contidos neste trabalho exemplifica o potencial que a associação das metodologias derivadas do campo da ciência da geoinformação representa para o avanço das abordagens empíricas no campo da análise urbanística. Mesmo reconhecendo desafios como a limitada oferta de bases de dados georreferenciadas dentro dos principais produtores de dados no Brasil, a evolução neste campo tem sido extremamente rápida. É apenas uma questão de tempo para que estas abordagens se popularizem nos diversos campos disciplinares, sobretudo naqueles para os quais o espaço é categoria analítica relevante como no urbanismo. No campo das políticas públicas tais avanços têm ainda pouca repercussão. São raras as iniciativas que efetivamente reconhecem a dimensão espacial na elaboração de planos estratégicos de ação. Ao contrário, o que se vê na maioria das vezes são diretrizes estabelecidas setorialmente, baseadas em critérios gerais e que ignoram a variedade de contextos socioterritoriais sobre os quais atuam. Neste sentido, este trabalho espera ter contribuído para a superação deste quadro.

REFERÊNCIAS

- ABRAMO, P. *A cidade caleidoscópica: coordenação espacial e convenção urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 368p.
- ABRAMO, P. *Favela e mercado informal: a nova entrada dos pobres nas cidades brasileiras*. Porto Alegre: ANTAC, 2009.
- AB'SABER, A. N. *Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo*. Cotia/SP: Ateliê Editorial, 2007. 349p.
- ALONSO, W. *Location and Land Use: Toward a general theory of land rent*. Cambridge: Harvard University Press, 1964. 204p.
- ANAS, A. Dynamics of urban residential growth. *Journal of urban economics*. n.5,p. 66 - 87,1978.
- ANAS, A.; ARNOTT, R.; SMALL, K.A.; Urban spatial structure. *Journal of economic literature*. v.36, n.3, p. 1426-1464, 1998
- ANAS, A. Discovering the efficiency of Urban Sprawl. In:*The Oxford Handbook of Urban Economics and Planning*. Ed: BROOKS, N; DONAGHY, K; KNAAP, J.Y. Oxford University Press, Oxford, p. 123-149, 2012.
- ANGEL, S.; PARENT,J.; CIVCO, D.L.; BLEI, A.M. *Making Room for a Planet of Cities*. Lincoln Institute of Land Policy. Policy Focus Report, 2011.
- ANGRIST, J.D.; PISCHKE, J. *Mostly Harmless Econometrics*. Princeton: Princeton University Press. 2009. 373p.
- ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association-LISA. *Geographical Analysis*. v. 27, n.2, p. 93-115, 1995.
- ANSELIN, L.; CAN, A. Model Comparison and Model Validation Issues in Empirical Work on Urban Density Functions. *Geographical Analysis*, v. 18, n. 3, p. 179-197, 1986.
- ARCHER, R.W. Land Speculation and Scattered Development; Failures in the Urban Fringe Land Market. *Urban Studies*. n.10, p. 367-372, 1973.
- ARNOTT, R. J. A simple urban growth model with durable housing. *Regional Science and Urban Economics*.n.10, p. 53 - 76, 1980.
- ARNOTT, R. What planners need to know about the "new urban economics". In. *The Oxford Handbook of Urban Economics and Planning*. Ed: BROOKS, N; DONAGHY, K; KNAAP, J.Y. Oxford University Press, Oxford, p. 51-78, 2012.
- ARNOTT, R.; MACKINNON, J; WHEATON, W. The welfare implications of spatial interdependence: an extension of Wheaton's "optimal distribution of income among cities". *Journal of Urban Economics*, n. 5, p. 131-136, 1978.

- BAHL, R. A land speculation model: the role of the property tax as a constraint to urban sprawl. *Journal of Regional Science*.v.8, n. 2, p. 199 - 208, 1968.
- BATTY, M. *Building a science of cities*. University College of London Centre for Advanced Spatial Analysis. London, Working Paper Series, n. 117, 2011.
- BAUN-SNOW, N. Did highways cause suburbanization? *The Quarterly Journal of Economics*, v. 122, n. 2, p. 775 – 801, 2007.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 53, p71 -86, 2005.
- BECKER, B. K. *A urbe amazônida: a floresta e a cidade*. Garamond: Rio de Janeiro, 2013. 85p.
- BIDERMAN, C. *Forças de atração e repulsão na Grande São Paulo*.2001. 226 f. (Tese - Doutorado em economia de empresas) Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2001
- BIDERMAN, C.; SANTANNA, A. *Density and Scattered Development: A Tale of 10 Cities*. Lincoln Institute of Land Policy, Working Paper, 2011.
- BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Agrário. Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural. *Mercados de terras no Brasil: estrutura e dinâmica / org. Reydon, B.P., Cornélio, F. N. M.*.Brasília : NEAD, 2006. 444p.
- BOUSTAN, L. P. Was Postwar Suburbanization "White Flight"? Evidence from the Black Migration. *Quarterly Journal of Economics*. v. 125, n. 1, p. 417-443, 2010.
- BENDER, B.; HWANG, H. S. Hedonic Price Indices and Secondary Employment Centers. *Journal of Urban Economics*, v.17, p. 90-107, 1985.
- BRUECKNER, J. K. Urban Sprawl: Diagnosis and Remedies. *International Regional Science Review*, v. 23, n. 2, p. 160-171, 2000.
- BRUECKNER, J. K.; RABENAU, B. Dynamics of land-use for a closed city.*Regional Science and Urban Economics*.n. 11, p. 1-17, 1981.
- BURCHFIELD, M.; OVERMAN, H.G.; PUGA, D.; TURNER, M.A. Causes Of Sprawl: A Portrait From Space. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 121, n. 2, p. 587-633, 2006.
- BURROUGH, P.; McDONNELL, R. A. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333p.
- CALDEIRA, T. *Cidades de muros: crime, segregação e cidadania em São Paulo*. São Paulo: 34, 2000. 399p.

- CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; CRUZ, O. G.; CORREA, V. Análise Espacial de Dados de Áreas. In: *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Ed: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Brasília: EMBRAPA. 2004.
- CAPOZZA, D., HELSLEY, R. The Fundamentals of Land Price and Urban Growth. *Journal of Urban Economics*. v. 26, p. 295-306, 1989.
- CLAWSON, M. Urban Sprawl and Speculation in Suburban Land. *Land Economics*, v.38, n.2, p. 99 - 111, 1962.
- CLARK, C. Urban Population Densities. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, v. 114, n. 4, p.490-496, 1951,
- CHICUINE, D. L. Farmland Values at the Urban Fringe: An Analysis of Sale Prices. *Land Economics*. v. 57, n. 3, p. 353-362, 1981.
- CORTÊS, J.C. *Mobilidade e redistribuição populacional em Santarém, Pará: recente reconfiguração do meio rural na Amazônia*. (Dissertação - Mestrado em demografia) Instituto de filosofia e ciências humanas da universidade estadual de Campinas. Campinas, 2012.
- COTELO, F., RODRIGUES, J.M. Favela e periferia como espaços de pobreza: estudo sobre a configuração urbana de metrópoles brasileiras. Anais do XXXIX ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA ANPEC 2011, Foz do Iguaçu, 2011.
- COUCH, C., LEONTIDOU, L., ARNSTBERG, K. Introduction: Definitions, Theories and Methods of Comparative Analysis. In: *Urban Sprawl in Europe*. Ed: COUCH, C., LEONTIDOU, L., HELD, G.P. Oxford: Blackwell publishing, p. 3-34, 2007.
- DUNCAN, O.D.; DUNCAN, B. Residential Distribution and Occupational Stratification. *American Journal of Sociology*, v. 60, n. 5, p.493-503, 1955.
- DUNFORD, R. W., MARTI, C. E., MITTELHAMMER, R. C. A Case Study of Rural Land Prices at the Urban Fringe: Including Subjective Buyer Expectations. *Land Economics*. v. 61, n.1, p.10-16, 1985.
- EMMI, M. F. *A oligarquia do Tocantins e o domínio dos castanhais*. Universidade Federal do Pará. Belém. 1999. 174p.
- FEITOSA, F. F. *Índices espaciais para mensurar a segregação residencial: o caso de São José dos Campos (SP)*. (Dissertação - Mestrado em sensoriamento remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- FEITOSA, F. F.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; KOSCHITZKI, T.; SILVA, M. P. S. Global and local indicators of urban segregation. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 21, n. 3, p.299-323, 2007.
- FORTHERINGHAM, A.S.; BRUNDSON, C.; CHARLTON, M., *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. John Wiley & Sons: West Sussex, 2002. 269p.

- FUJITA, M. *Urban Economic Theory: Land Use and City Size*. Cambridge University Press: Cambridge, UK. 1989. 366p.
- FUJITA, M.; KRUGMAN, P.; VENABLES, A.J. *The spatial economy: cities, regions, and international trade*. Cambridge: MIT Press, 1999. 367p.
- FUJITA, M.; OGAWA, H. Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations. *Regional Science and Urban Economics*, n. 12.p. 161-196, 1982.
- GEORGE, H. *Progress and Poverty*. Library of Economics and Liberty. 1920. on - line: <<http://www.econlib.org/library/YPDBooks/GEorge/grgPP22.html>>acesso em: 14/10/2013
- GETIS, A.; ORD, J.K. The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*, v. 24, n.3, p. 189-206, 1992.
- GIULIANO, G.; SMALL, K. A. Subcenters in Los Angeles region. *Regional Science and Urban Economics*, v. 21, p. 163-182, 1991.
- 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.; KHAN, M.E.; RAPPAPORT, J. *Why Do the Poor Live in Cities?* Harvard Institute of Economic Research: Discussion Paper n.1891, 2000.
- GOBILLON, L.; SELOD, H.; ZENOU, Y. The Mechanisms of Spatial Mismatch. *Urban Studies*, v. 44, n. 12, p. 2401-2427, 2007
- GOTTDIENER, M. *A produção social do espaço urbano*. São Paulo: Editora da USP. 2010. 312p.
- HALL, P.G. *Cities of Tomorrow*. 3ªed. Malden: Blackwell publishing, 2002. 553p.
- HANDY, S. Smart growth and the transportation–land use connection: what does the research tell us? *International Regional Science Review*, v. 28, n. 2. p. 146 -167, 2005.
- HOLANDA, S. B. *Raízes do Brasil*. Rio de Janeiro: José Olympio, 1984. 158p.
- HARVEY, R.O.; CLARK, W.A.V. The Nature and Economics of Urban Sprawl. *Land Economics*, v. 41, n. 1, p. 1 - 9, 1965.
- HEROLD, M., SCEPAN, J., KEITH, C. C. The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changing in urban land uses. *Environment and Planning A*. v. 34, p. 1443-1458, 2002.
- HOOPS, R.. Future landscapes and the future of landscape ecology. *Landscape and Urban Planning*, n. 37.p. 1-9, 1997.

- IRWING, E.G.; BOCKSTAEEL, N. E. The evolution of urban sprawl: Evidence of spatial heterogeneity and increasing land fragmentation. *PNAS - Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.104. n.52, 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Regiões de influência das cidades 2007*. Rio de Janeiro, 2008.
- _____. *Censo Demográfico 2000*. Rio de Janeiro, 2000.
- _____. *Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro, 2010.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). TerraClass - Levantamento de Informações sobre usos e cobertura da terra na Amazônia. Sumário Executivo, 2011. on-line <http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/sumario_terraclass_2010.pdf> acessado em 24/08/2013.
- KAIN, J. F. Housing Segregation, Negro Employment, and Metropolitan Decentralization. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 82, n. 2, p. 175 - 197, 1968.
- KNEIB, E.C. *Subcentros Urbanos: Contribuição Conceitual e Metodológica à sua Definição e Identificação para Planejamento de Transportes*. (Tese - Doutorado em Planejamento de Transportes). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Brasília, 2008.
- KOWARICK, L. *A espoliação urbana*. Rio de Janeiro, Paz e Terra. 1979.
- KORTING, T.S.; FONSECA, L. M. G.; ESCADA, M. I. S.; SILVA, F. C.; SILVA, M. P. S. *GeoDMA - A novel system for spatial data mining*. Data Mining Workshops, 2008. ICDMW '08. IEEE International Conference on. Pisa, Italy. 2008.
- KRUGMAN, P. Space: The Final Frontier. *The Journal of Economic Perspectives*, v. 12, n. 2, p. 161-174, 1998.
- LAGENBUCH, J. *A estruturação da Grande São Paulo*. Rio de Janeiro: FIBGE, 1971.
- LEROY, S.; SONSTELIE, J. Paradise Lost and Regained: Transportation Innovation, Income, and Residential Location. *Journal of Urban Economics*. n13. p. 67-89, 1983.
- LUCK, M., WU, J. A gradient analysis of urban landscape patterns: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape Ecology*. n.17, p. 327-339, 2002.
- MARICATO, E. *Metrópole na periferia do capitalismo: ilegalidade, desigualdade e violência*. São Paulo: Hucitec, 1996.
- MASSEY, D.S.; DENTON, N.A. Trends in the residential segregation of Blacks, Hispanics, and Asians: 1970-1980. *American Sociological Review*, v. 52, n. 6, p. 802-824, 1987.

- McDONALD, J.F. The Identification of Urban Employment Subcenters. *Journal of Urban Economics*, v.2, p. 242-258, 1987.
- McDONNELL, M. J., PICKETT, S.T.A. Ecosystem structure and function along urban rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology*. v. 71, n. 4,p. 1232-1237, 1990.
- McMILLEN, D.P. Nonparametric Employment Subcenter Identification. *Journal of Urban Economics*, v. 50, p.448-473, 2001.
- McMILLEN, D. P.; McDONALD, J. F.A nonparametric analysis of employment density in a polycentric city. *Journal of Regional Science*, v. 37, n. 4, p. 591-612, 1997.
- McMILLEN, D. P.; SMITH, S. C. The number of subcenters in large urban areas. *Journal of Urban Economics*, v. 53, p. 321-338, 2003.
- MIESZKOWSKI, P.; MILLS, E. The causes of metropolitan suburbanization. *The Journal of Economics Perspectives*, v.7, n.3, p.135 -147, 1993.
- MILLS, E. An Aggregate Model of Resource Allocation in Metropolitan Areas. *American Economic Review*, n. 57,p.197-200,1967.
- MILLS, E.; HAMILTON, B. *Urban Economics*. 5th ed. Upper Saddle River: Harper Collins College Publishers. 1993. 480p.
- MUTH, R. *Cities and Housing*. Chicago: Chicago University Press, 1969.
- MUTH, R. *Urban Economic Problems*. New York: Harper and Row, Publishers, Inc. 1975.402p.
- ODLAND, J. The Conditions for Multi-Center Cities. *Economic Geography*, v.54, n. 3, p. 234-244, 1978.
- OJIMA, R. Dimensões da urbanização dispersa e proposta metodológica para estudos comparativos: uma abordagem socioespacial em aglomerações urbanas brasileiras. *Revista brasileira de estudos populacionais*, v. 24, n.2, p. 277-300, jul./dez. 2007a.
- OJIMA, R. *Análise comparativa da dispersão urbana nas aglomerações urbanas brasileiras: elementos teóricos e metodológicos para o planejamento urbano e ambiental*. (Tese - Doutorado em demografia) Instituto de Filosofia da Universidade Estadual de Campinas (IFCH/UNICAMP), Campinas, 2007b.
- OPENSHAW, S. Ecological fallacies and the analysis of areal census data. *Environment and Planning A*, v. 16, p. 17-31, 1984.
- PARENT, J.; CIVCO, D.; ANGEL, S. *Urban Growth Analysis: Calculating Metrics to Quantify Urban Sprawl*. Arquivo power-point, 2009. disponível on-line: <http://clear.uconn.edu/publications/research/presentations/parent_esri2008.ppt>. acessado em 24/08/2013

- PEREIRA, J. C. M. *Importância e significado das cidades médias na Amazônia: uma abordagem a partir de Santarém (PA)*. (Dissertação - Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento). Núcleo de Altos Estudos Amazônicos da Universidade Federal do Pará. Belém. 2004
- PEREIRA, R. H.; NADALIN, V.; MONASTERIO, L.; ALBUQUERQUE, P. H. M. Urban Centrality: A Simple Index. *Geographical Analysis*, v.45, p.77-89, 2013.
- RAMOS, F. R. *Análise espacial de estruturas intra-urbanas: O caso de São Paulo*. (Dissertação - Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2002.
- RAMOS, F.R.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. Territórios Digitais Urbanos. In: *Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual*. Ed.: ALMEIDA, C.M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. São Paulo: Oficina de textos, p. 34-53, 2007.
- REYDON, B. P., GONÇALVES, J. C. Mercado de terras e a produção de loteamentos urbanos. In: BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Agrário. Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural. *Mercados de terras no Brasil: estrutura e dinâmica*. Org. REYDON, B.P., CORNÉLIO, F. N. M. Brasília : NEAD, 2006. p 355-388.
- REYDON, B. P.; GUEDES, S. N. R.; CORNÉLIO, F. N. M.; FILHO, C. C. Especulação com a conversão de terras agrícolas em urbanas: estratégia de um grupo sucro-alcooleiro. In: BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Agrário. Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural. *Mercados de terras no Brasil: estrutura e dinâmica*. Org. REYDON, B.P.; CORNÉLIO, F. N. M. Brasília : NEAD, 2006. p 419-439.
- RILEY, S. J.; DeGLORIA, S.; ELLIOT, R.A Terrain Ruggedness Index that Quantifies Topographic Heterogeneity, *Intermountain Journal of Sciences*, n.5, p. 23-27,1999.
- RICHARDSON, H.W. *Economia Urbana*. Rio de Janeiro: Interciência, 1978. 194p.
- ROLNIK, R.A *cidade e a lei: legislação, política urbana e territórios em São Paulo*. São Paulo: Studio Nobel, 1997.
- SAITO, E. A.; FONSECA, L.M.G.; ESCADA, M.I.S.; KORTING, T.S. Efeitos da mudança de escala em padrões de desmatamento na Amazônia. *Revista Brasileira de Cartografia*. v. 63, n.3, 2011.
- SANTOS, M. *A urbanização brasileira*. São Paulo: Hucitec, 1996. 157p.
- SASAKI, K. Income class, modal choice, and urban spatial structure. *Journal of urban economics*, v. 27, n. 3, p. 322-343, 1990.
- SCHELLING, T.C. Models of Segregation. *The American Economic Review*, v. 59, n. 2, Papers and Proceedings of the Eighty-first Annual Meeting of the American Economic Association. p. 488-493, 1969.

- SMOLKA, M. Expulsando os pobres e redistribuindo os ricos: "dinâmica imobiliária" e segregação residencial na cidade do Rio de Janeiro. *Revista brasileira de estudos populacionais*. n. 9, p. 3 - 21, 1992.
- SMOLKA, M; BIDERMAN, C. Housing Informality: An Economist's Perspective on Urban Planning. In: *The Oxford Handbook of Urban Economics and Planning*. Ed: BROOKS, N; DONAGHY, K; KNAAP, J.Y. Oxford University Press, Oxford, p. 814-833, 2012.
- SILVA, M. S. P.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S.; de SOUZA, R. C. M. Remote-sensing image mining: detecting agents of land-use change in tropical forest areas. *International Journal of Remote Sensing*, v. 29, n. 16, p. 4803-4822, 2008.
- SANTORO, P. F. *Planejar a expansão urbana: dilemas e perspectivas*. (Tese - Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013
- SIMÕES, R., GARCIA, R. A., LIMA, A. C. C. Novas centralidades e interiorizações na Amazônia: o modelo CENTRALINA. Relatório Técnico Projeto UrbisAmzônia. Belo Horizonte, 2012. on-line<http://www.dpi.inpe.br/urbisAmazonia/lib/exe/fetch.php?media=urbis:anexo_k_centralina_desmetod_preliminar.pdf> . Acessado em 10/10/2013
- TORRES, H.G., MARQUES, E.C., FERREIRA, M.P., BITAR, S. *Poverty and space: pattern of segregation in São Paulo*. Paper presented at Workshop on Spatial Segregation and Urban Inequality in Latin America, Austin, Texas, Nov. 2002.
- TROLL, C. Landscape ecology (geoecology) and biogeocenology: a terminological study. *Geoforum*. n.8. 1971.
- MONTE-MÓR, R.; CARDOSO, A. C.; BASTOS, P.; SILVA, H.; DINIZ, S.; SUDRÉ, M. F.; CRAICE, C.; NASCIMENTO, C. P.; BANDEIRA, A.; NEGRÃO, M. R. G. Missão de Campo Terrestre Marabá - São Félix do Xingu. Relatório preliminar. 2012. online http://www.dpi.inpe.br/urbisAmazonia/lib/exe/fetch.php?media=urbis:anexo_q_relatorio_campo_terrestre_maraba_sfx.pdf. acesso em 20/10/2013.
- VARIAN, H. R. *Microeconomia princípios básicos*. Tradução: Maria José Cyhlar Monteiro e Ricardo Doninelli. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. 807 p.
- VELHO, O. G. *Frentes de expansão e estrutura agrária: estudo do processo de penetração numa área da Transamazônica*. Zahar: Rio de Janeiro. 1972. 178p.
- VILLAÇA, F. *Espaço Intra-Urbano no Brasil*. São Paulo: Studio Nobel, 1998. 373p.
- WHEATON, W. A comparative static analysis of urban spatial structure. *Journal of economic theory*. n. 9, p. 223 - 237, 1974.
- WHEATON, W. On the optimal distribution of income among cities. *Journal of Urban Economics*. n. 3, p. 31-44, 1976.

WHYTE, W. H. Urban Sprawl [1958]. In: *The essential William H. Whyte*. New York: Fordham University, 2000. 383 p.

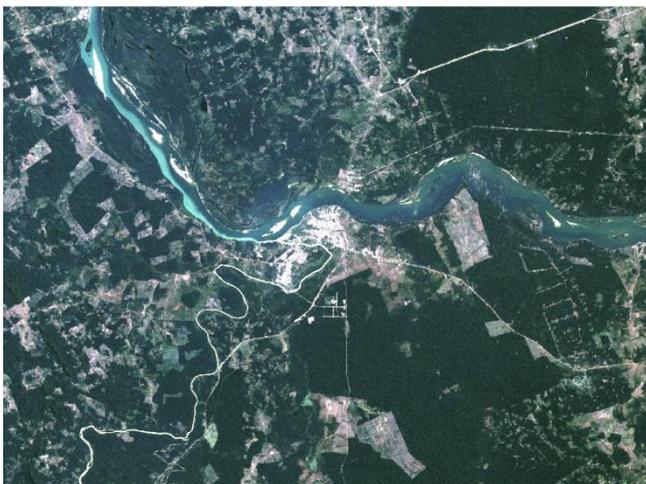
WOOLDRIDGE, J. M. *Introdução à econometria: uma abordagem moderna*. São Paulo: Thomson, 2006. 684p.

ZHANG, L., WU, J. ZHEN, Y., SHU, J. A GIS-based gradient analysis of urban landscape pattern of Shanghai metropolitan area, China. *Landscape and Urban Planning*. n. 69, p. 1-16, 2004.

APÊNDICE A

Imagens de satélite, espaços celulares e gradientes de paisagem processados para o estudo em Santarém e Marabá.

Figura A1 - Imagens LANDSAT Marabá



LANDSAT_5_TM_27/07/1988

Orbita: 223 Ponto: 64

Composição Cores Verdadeiras

Bandas: 321/RGB

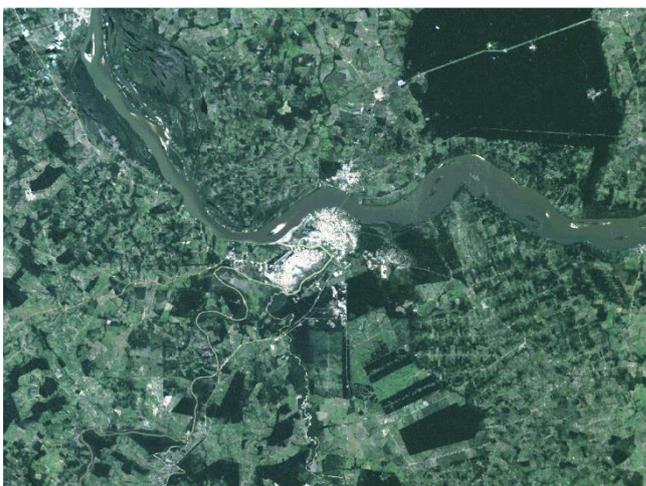


LANDSAT_5_TM_31/07/2000

Orbita: 223 Ponto: 64

Composição Cores Verdadeiras

Bandas: 321/RGB



LANDSAT_5_TM_17/08/2009

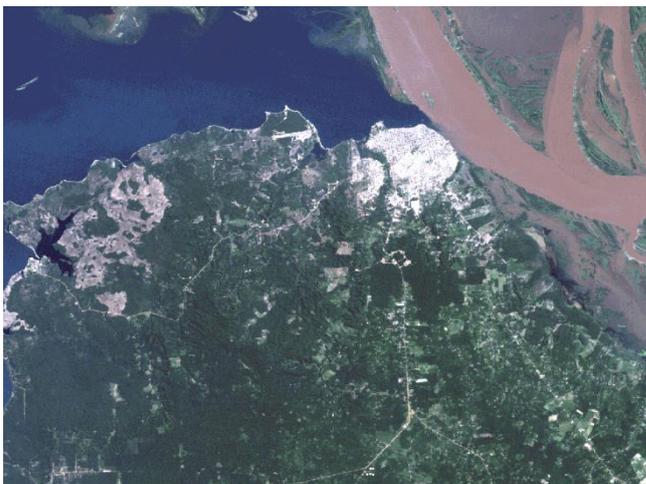
Orbita: 223 Ponto: 64

Composição Cores Verdadeiras

Bandas: 321/RGB

Fonte: USGS - NASA. Elaboração própria

Figura A2 - Imagens LANDSAT Santarém

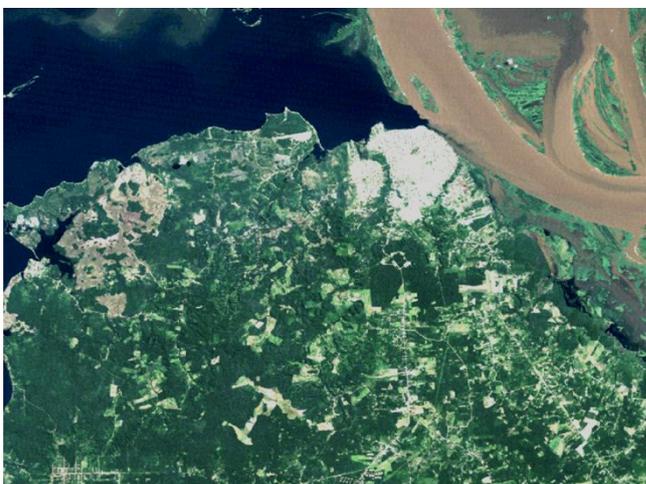


LANDSAT_5_TM_09/08/1988

Orbita: 227 Ponto: 62

Composição Cores Verdadeiras

Bandas: 321/RGB

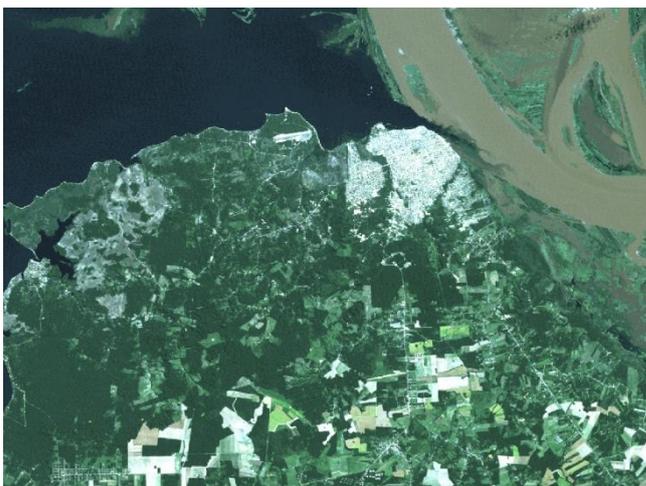


LANDSAT_5_TM_02/08/1999

Orbita: 227 Ponto: 62

Composição Cores Verdadeiras

Bandas: 321/RGB



LANDSAT_5_TM_29/06/2010

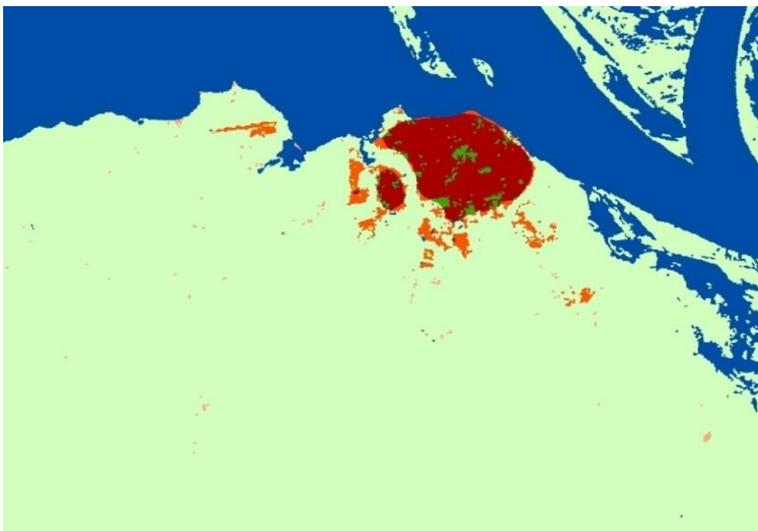
Orbita: 227 Ponto: 62

Composição Cores Verdadeiras

Bandas: 321/RGB

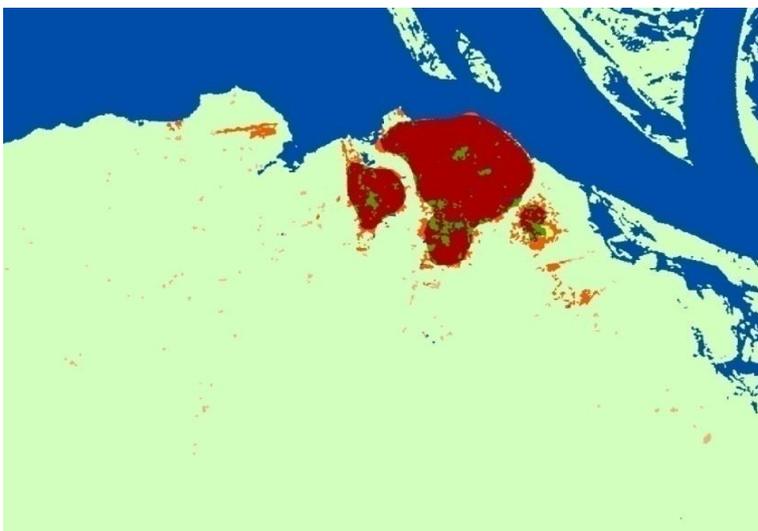
Fonte: USGS - NASA. Elaboração própria

Figura A3 - Pixels tipo *Urbano e Espaços Abertos* - Santarém



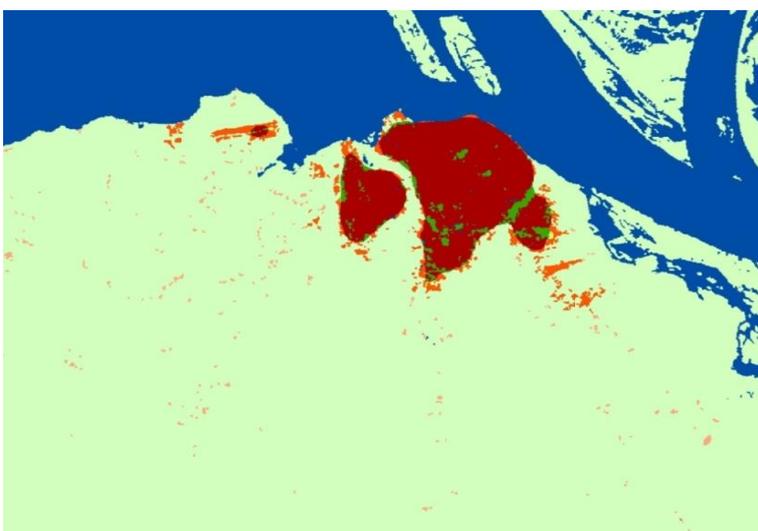
Santarém - 1988

Legenda



Santarém - 1999

Legenda



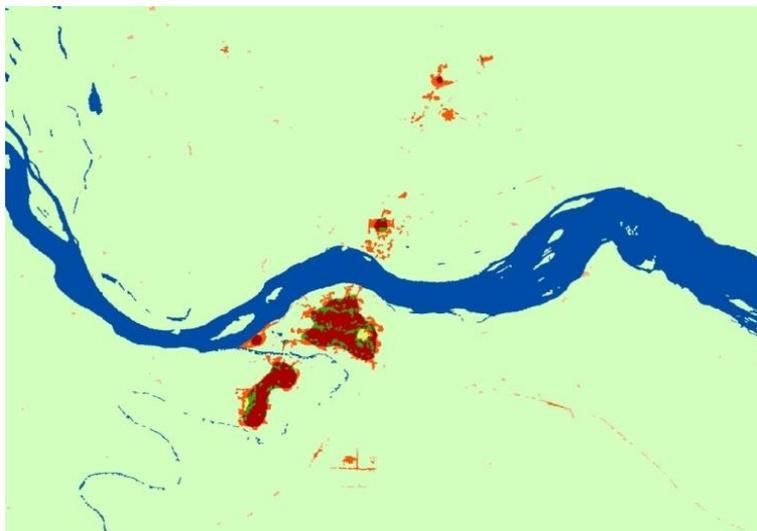
Santarém - 2010

Legenda



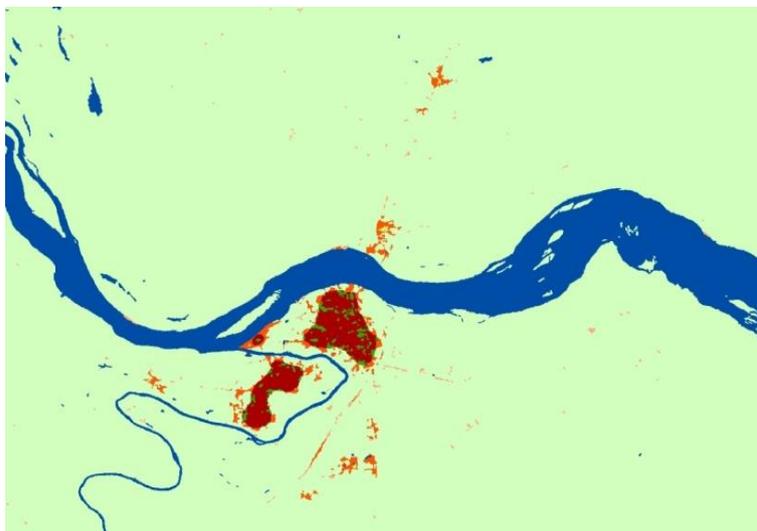
Fonte: Elaboração própria a partir das imagens LANDSAT-TM

Figura A4 - Pixels tipo *Urbano e Espaços Abertos* - Marabá



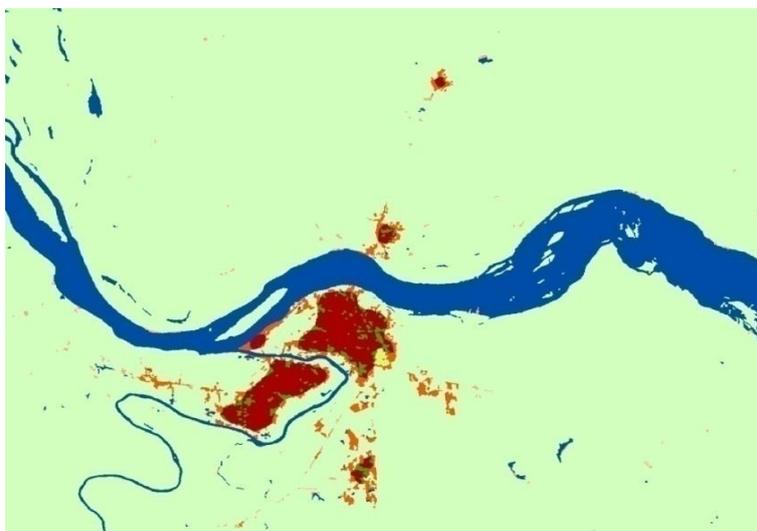
Marabá - 1988

Legenda



Marabá - 2000

Legenda

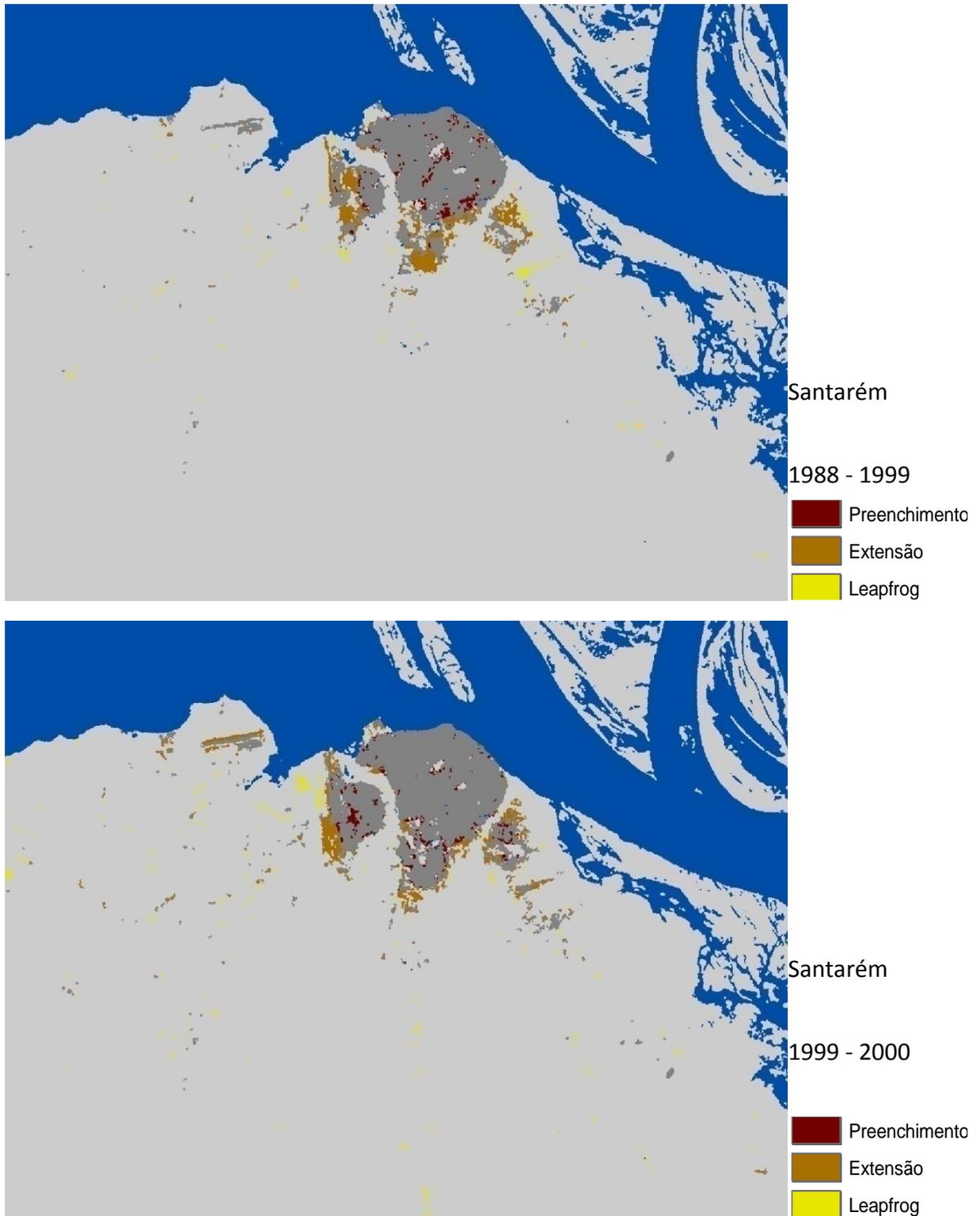


Marabá - 2009

Legenda

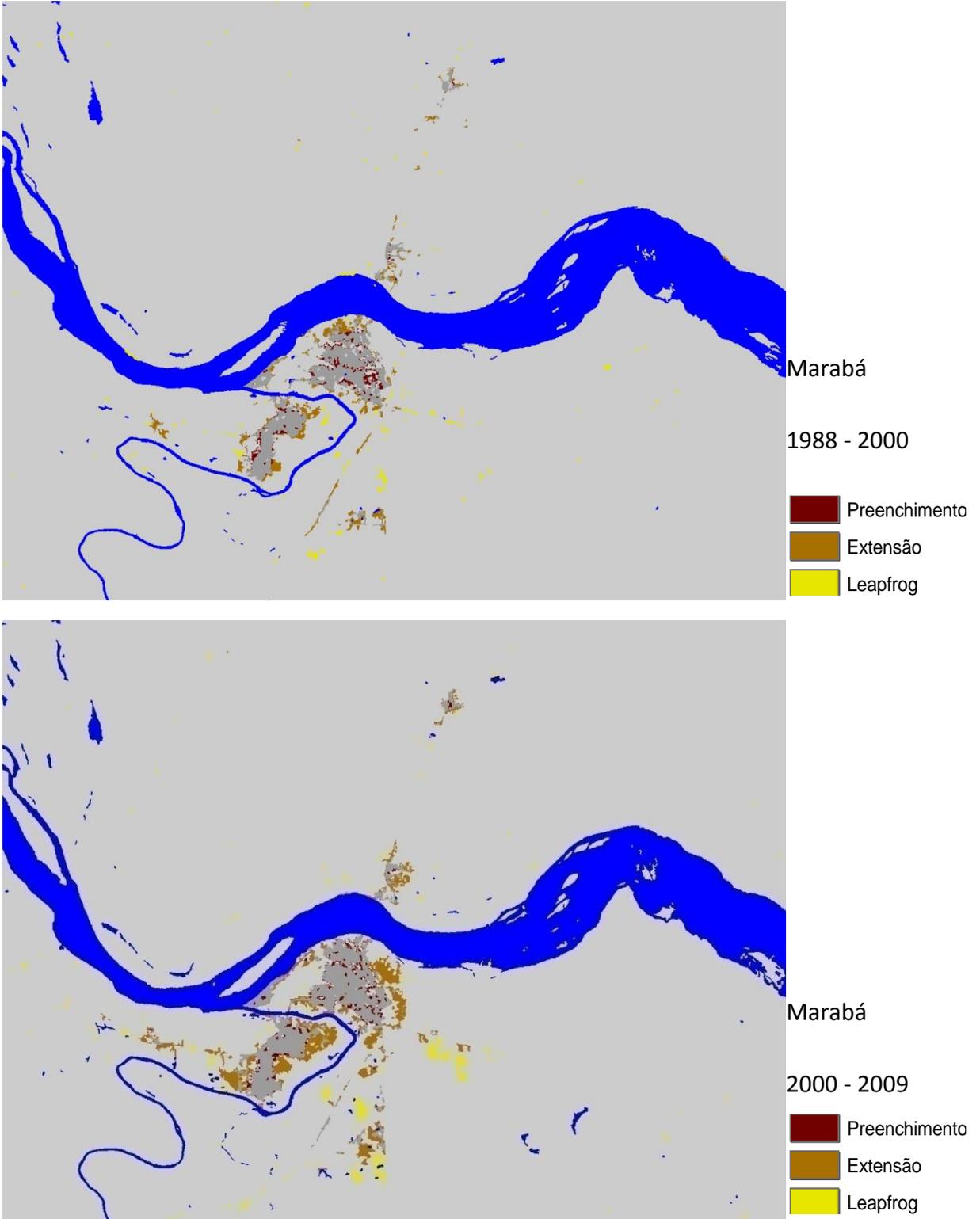


Fonte: Elaboração própria a partir das imagens LANDSAT-TM

Figura A5 - Pixels tipo *Expansão Urbana* - Santarém

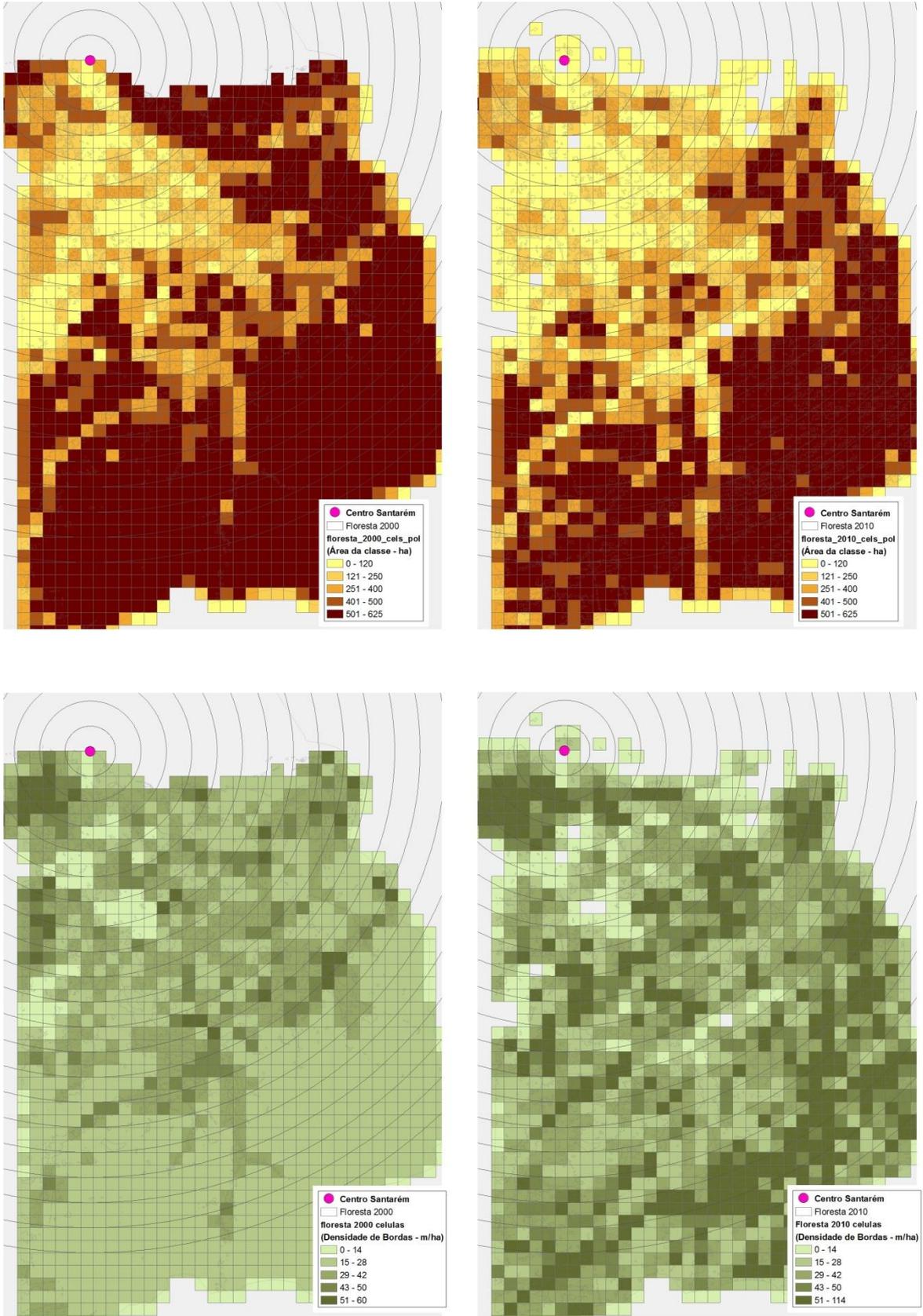
Fonte: Elaboração própria a partir das imagens LANDSAT-TM

Figura A6 - Pixels tipo *Expansão Urbana* - Marabá



Fonte: Elaboração própria a partir das imagens LANDSAT-TM

Figura A7 - Métricas de paisagem no espaço celular para classe FLORESTA - Santarém 2000 e 2010



Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A8 - Gradientes de paisagem para classe FLORESTA - Santarém 2000 e 2010

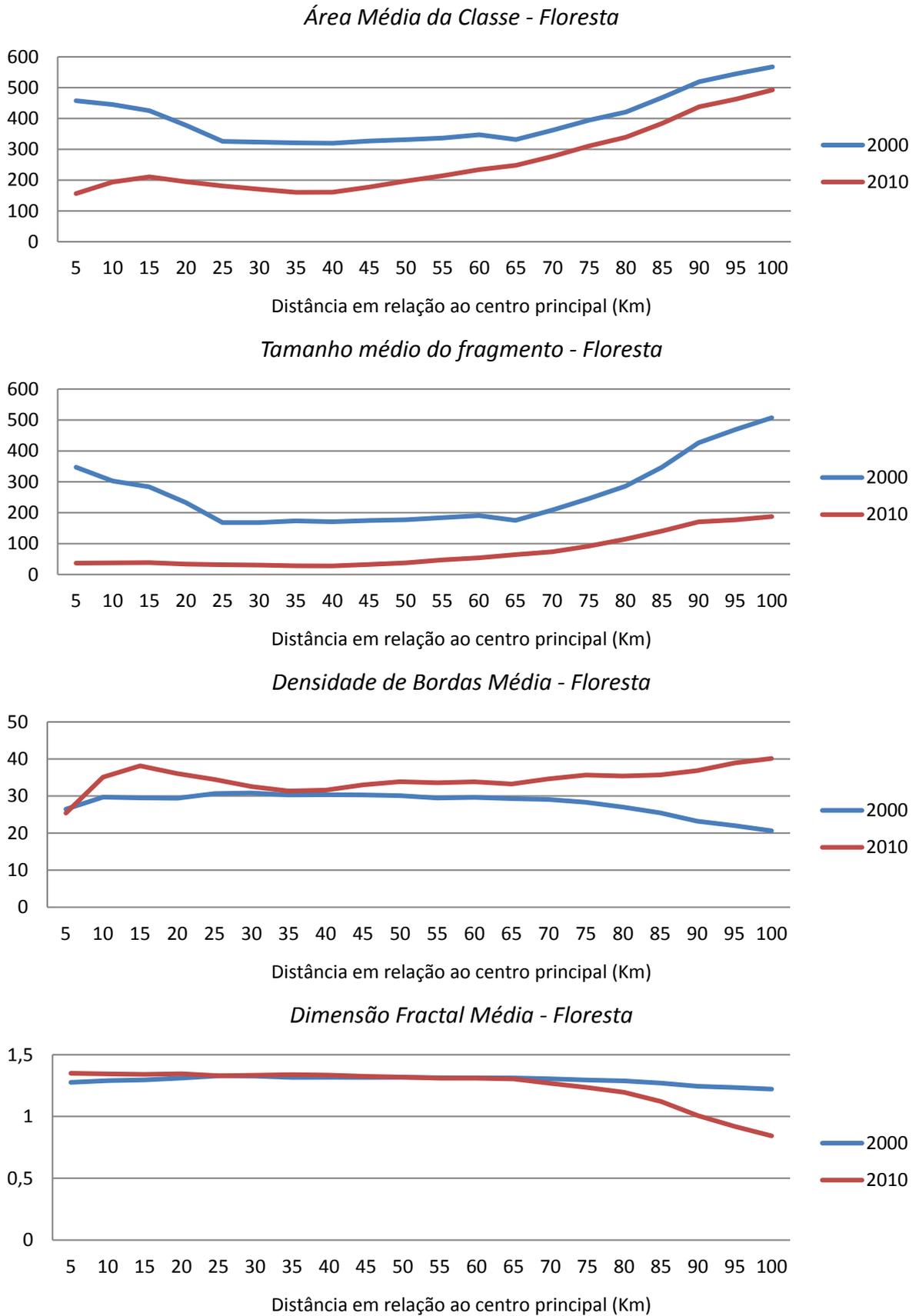
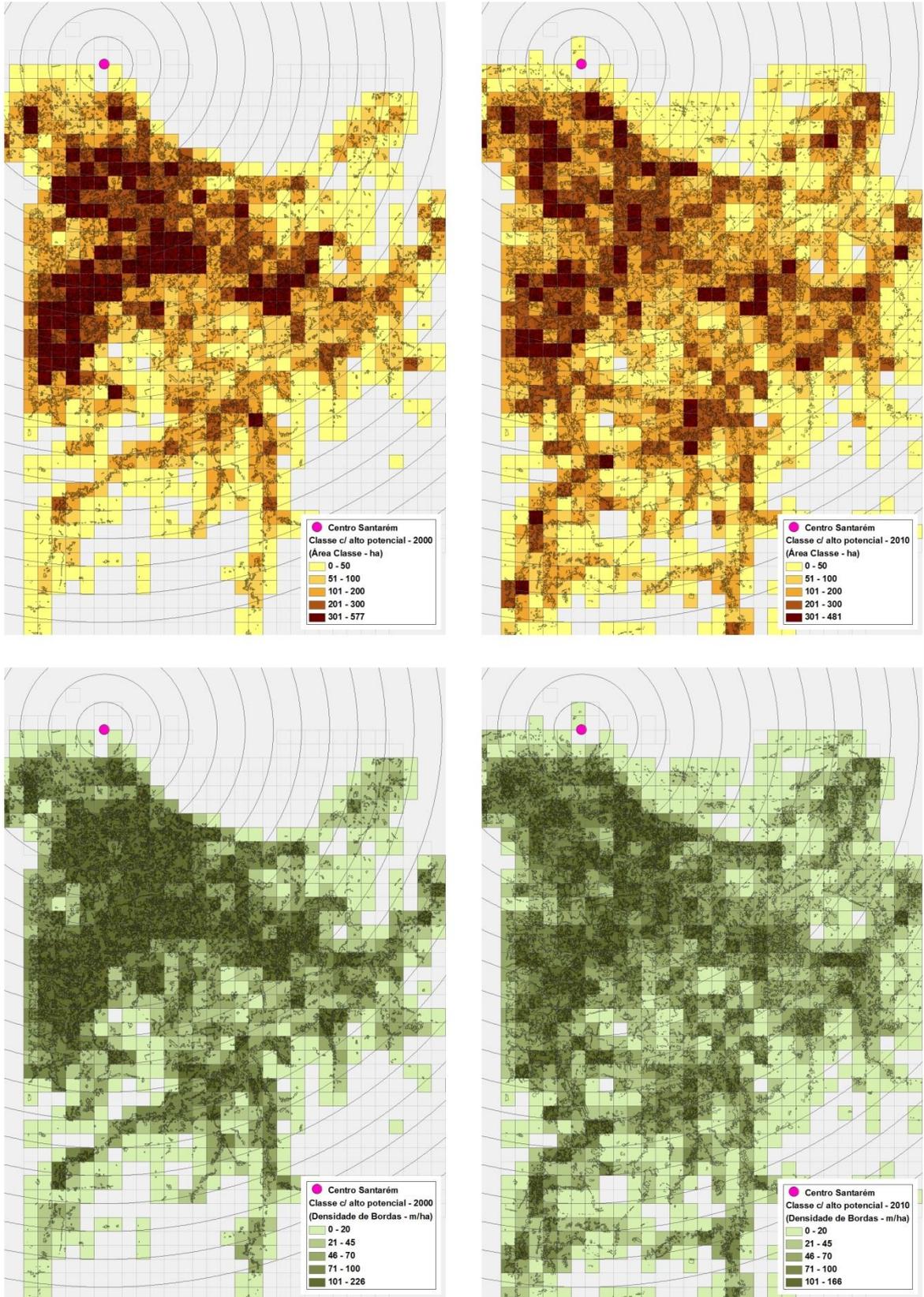


Figura A9 - Métricas de paisagem no espaço celular para classe Regeneração com pasto e Vegetação Secundária - Santarém 2000 e 2010



Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A10 - Gradeintes de paisagem para classe Regeneração com pasto e Vegetação Secundária - Santarém 2000 e 2010

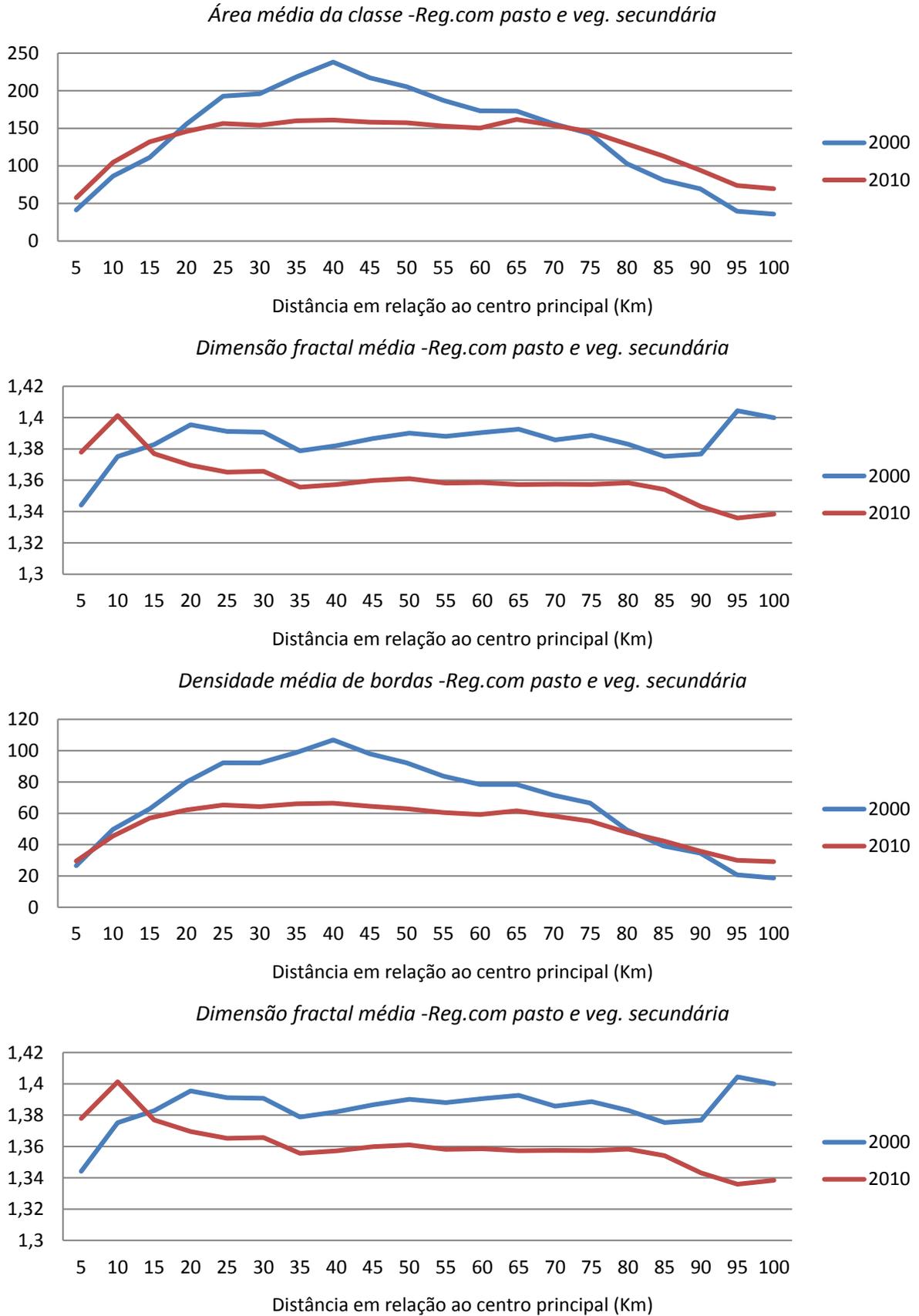
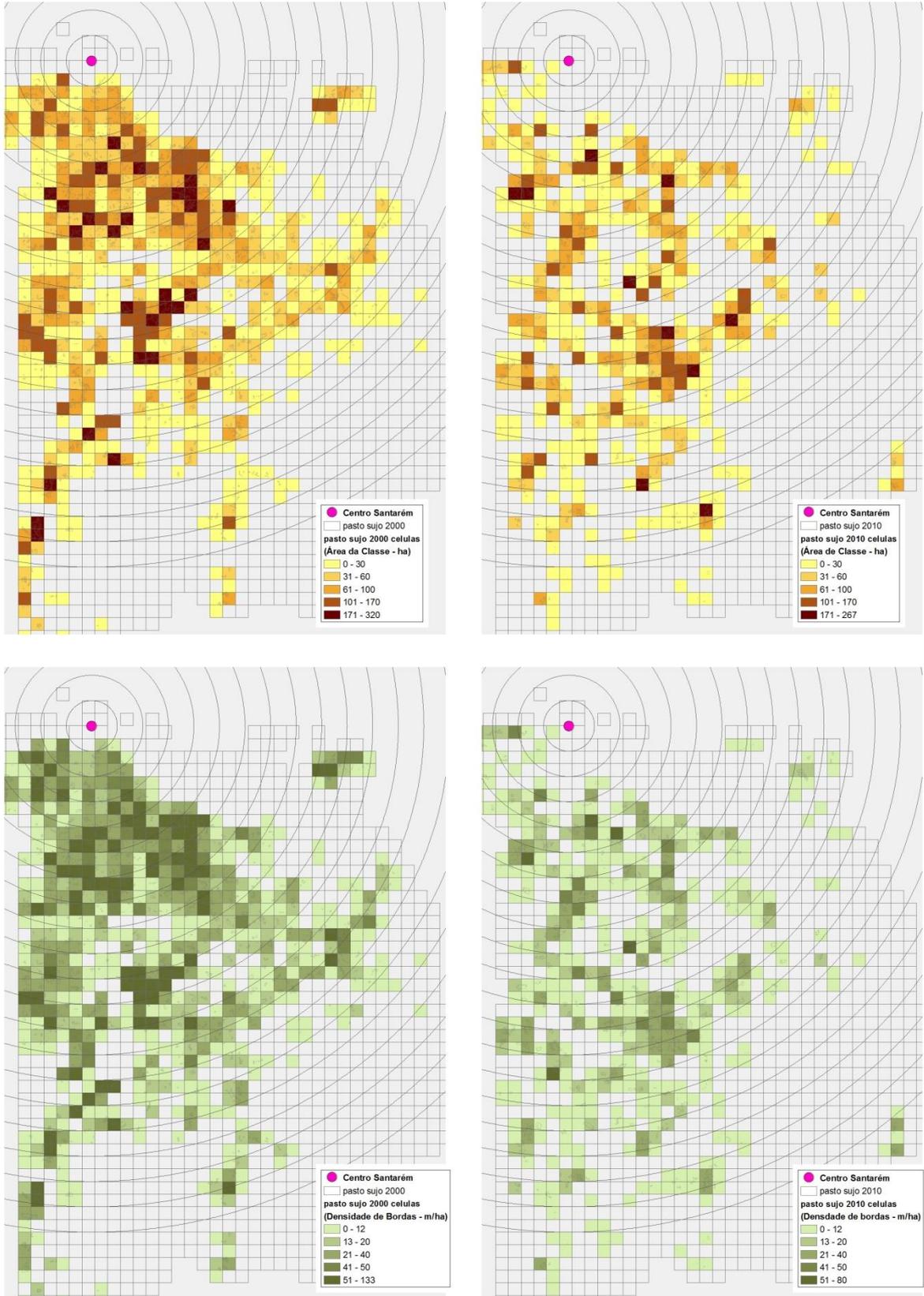
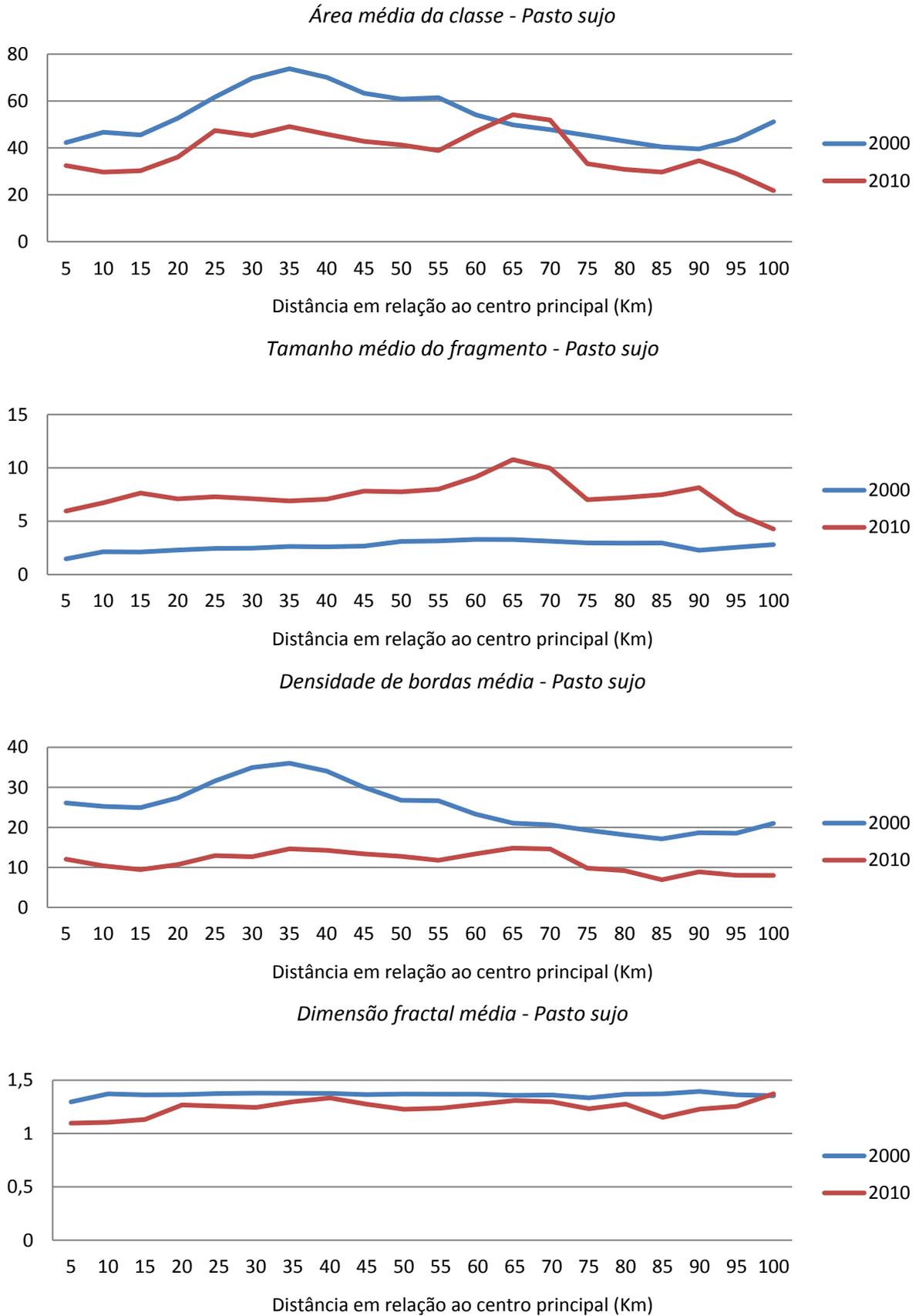


Figura A11 - Métricas de paisagem no espaço celular a classe Pasto Sujo - Santarém 2000 e 2010



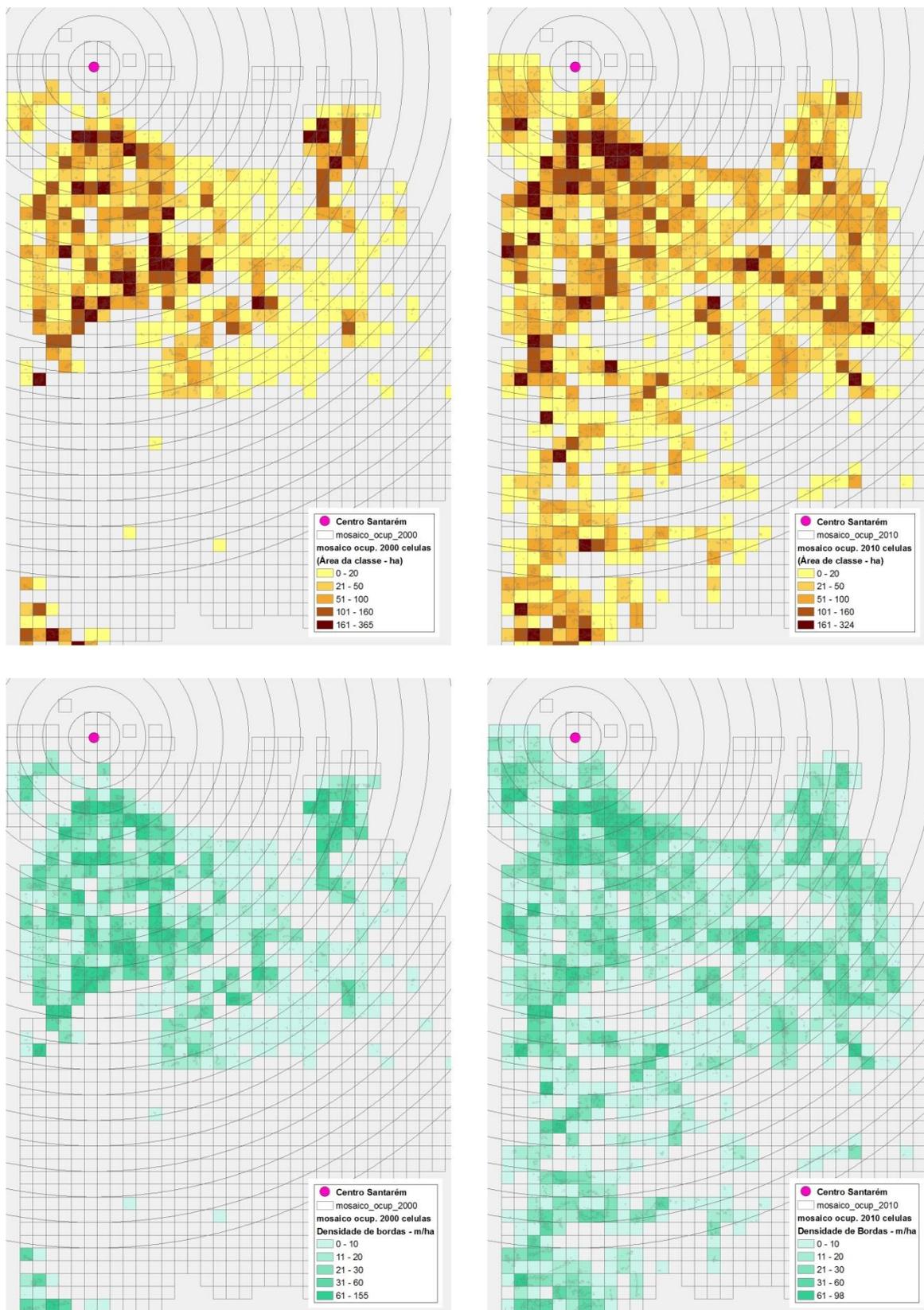
Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A12 - Gradientes de paisagem para classe Pasto Sujo - Santarém 2000 e 2010



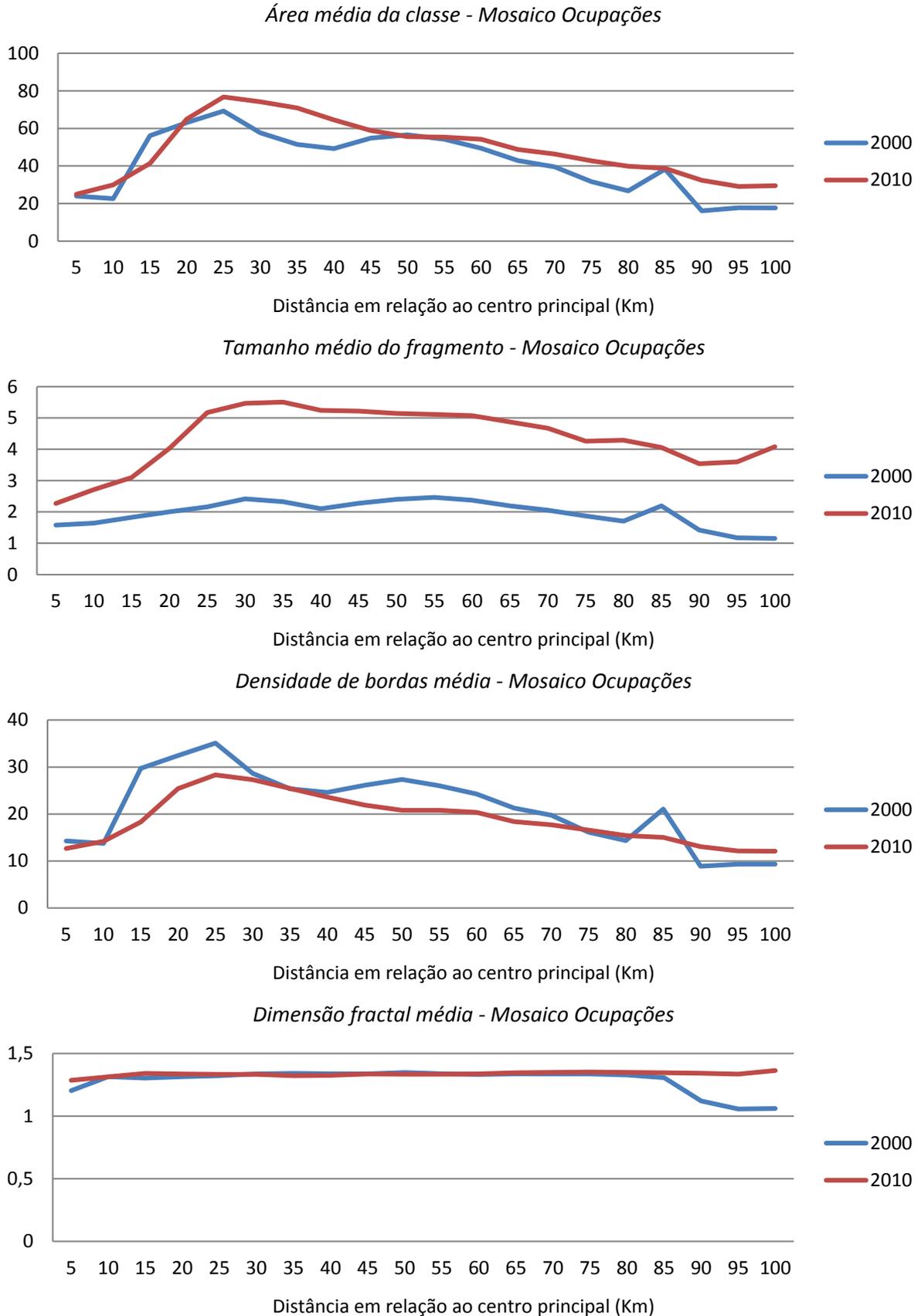
Fonte: Elaboração própria

Figura A13 - Métricas de paisagem no espaço celular a classe Mosaico de Ocupações - Santarém 2000 e 2010



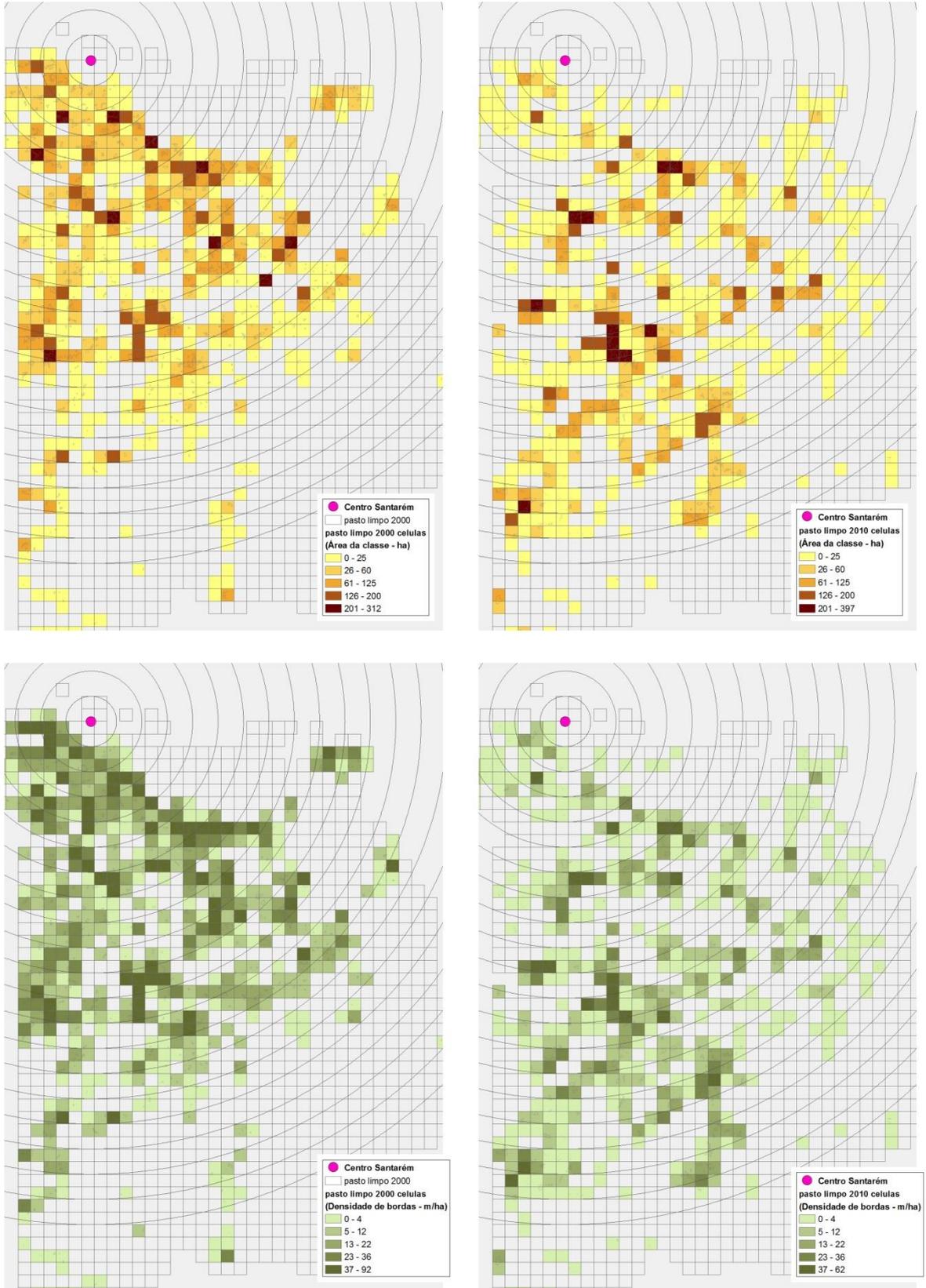
Fonte: Elaboração própria a partir dados TerraClass INPE 2000 e 2010

Figura A14 - Gradientes de paisagem para classe Mosaico de Ocupações - Santarém 2000 e 2010



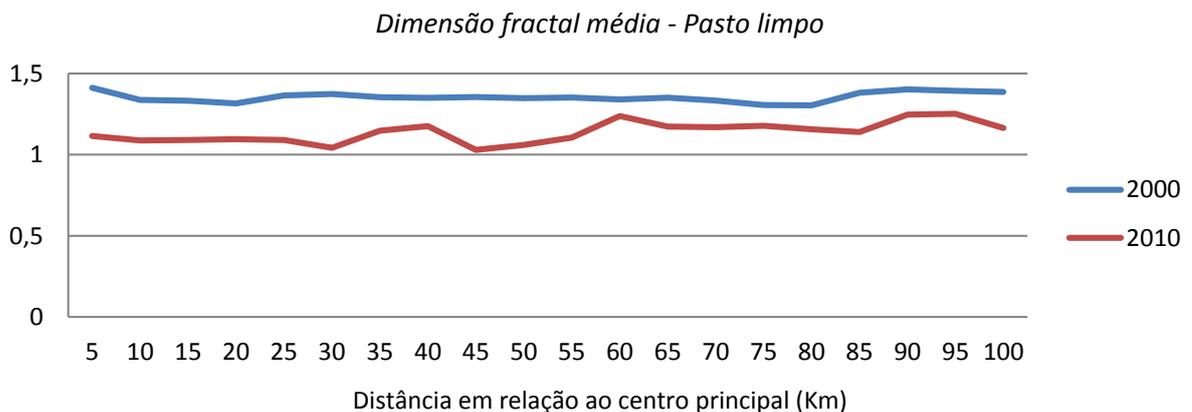
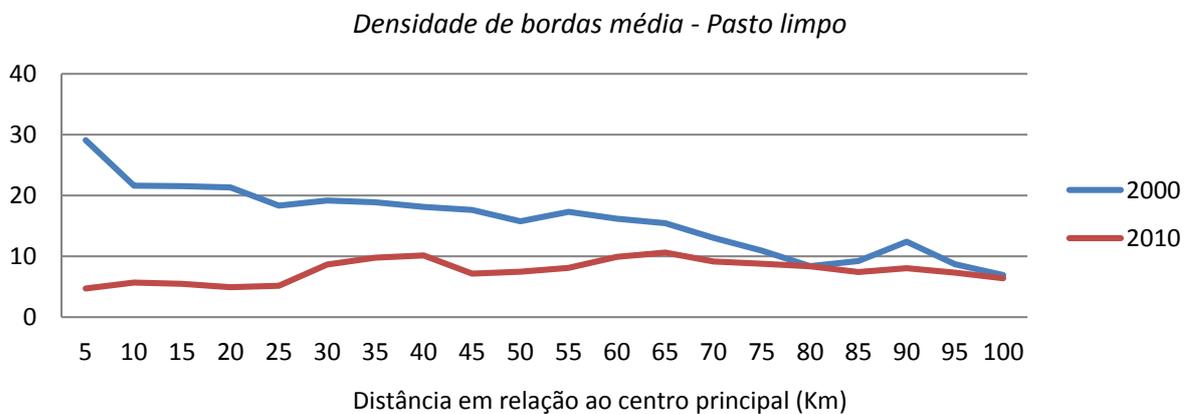
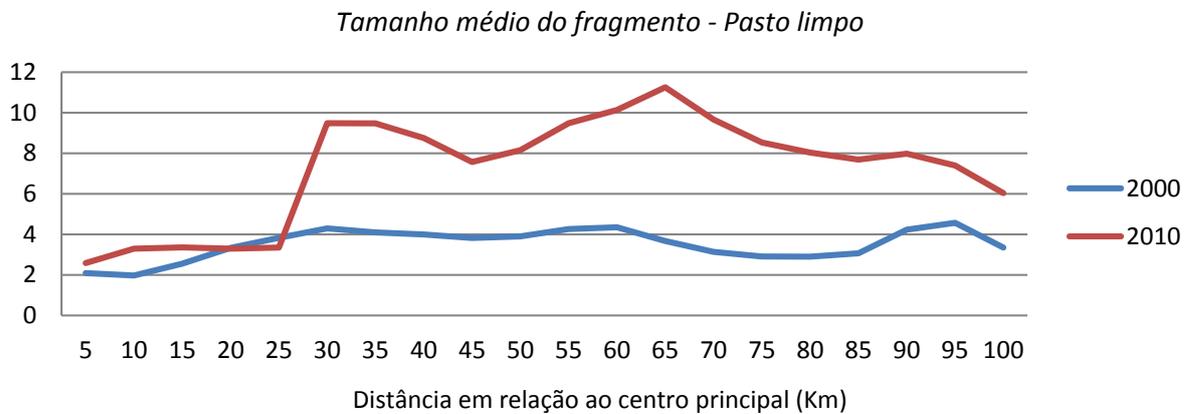
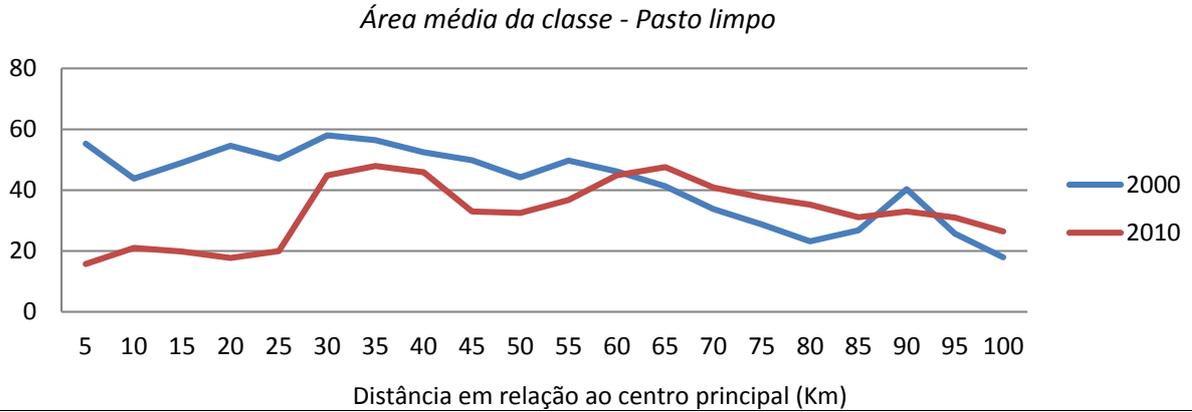
Fonte: Elaboração própria

Figura A15 - Métricas de paisagem no espaço celular a classe Pasto Limpo - Santarém 2000 e 2010



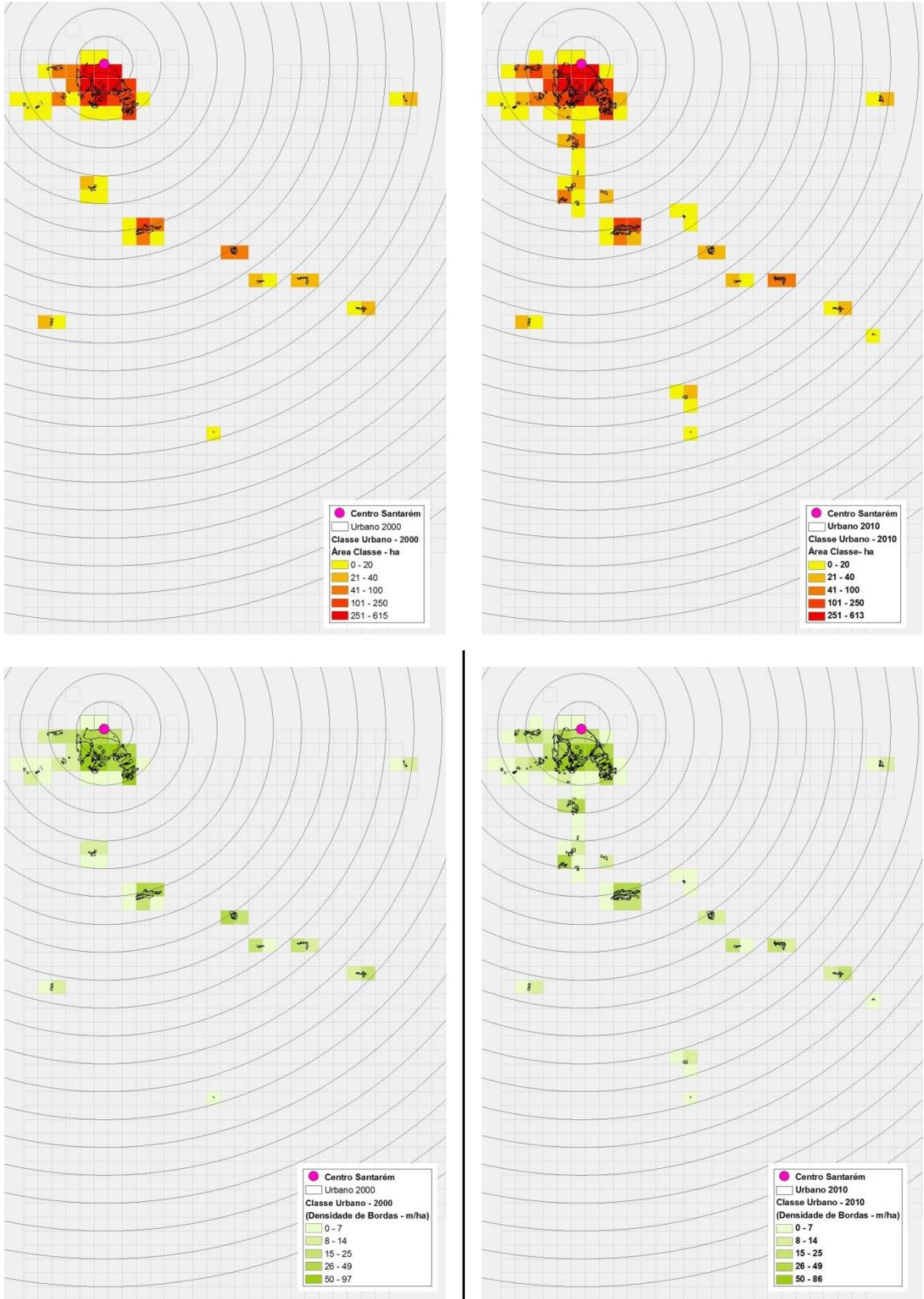
Fonte: Elaboração própria a partir dados TerraClass INPE 2000 e 2010

Figura A16 - Gradientes de paisagem para classe Pasto Limpo - Santarém 2000 e 2010



Fonte: Elaboração própria

Figura A17 - Métricas de paisagem no espaço celular a classe Urbano - Santarém 2000 e 2010



Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A18 - Gradientes de paisagem para classe Urbano - Santarém 2000 e 2010

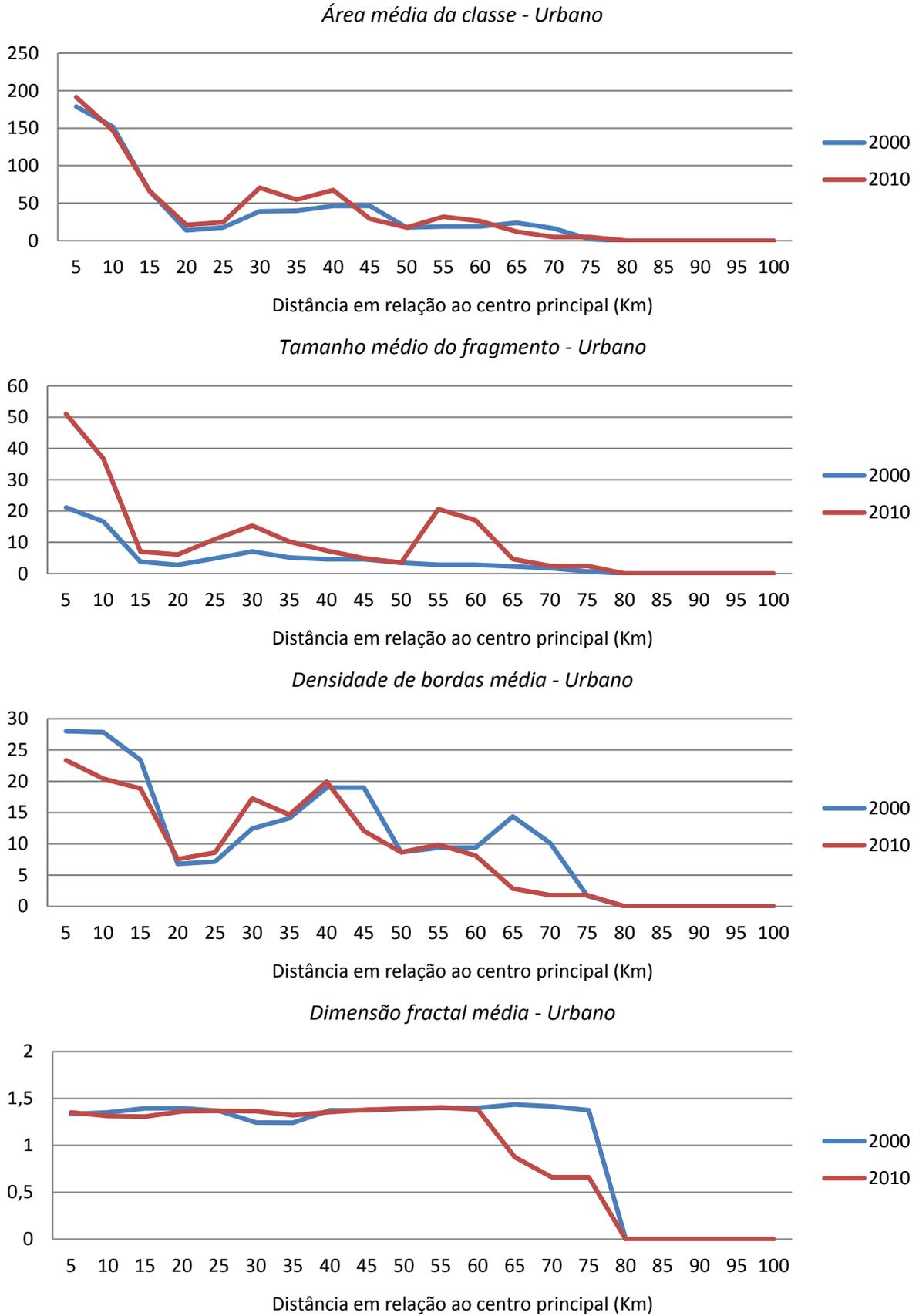
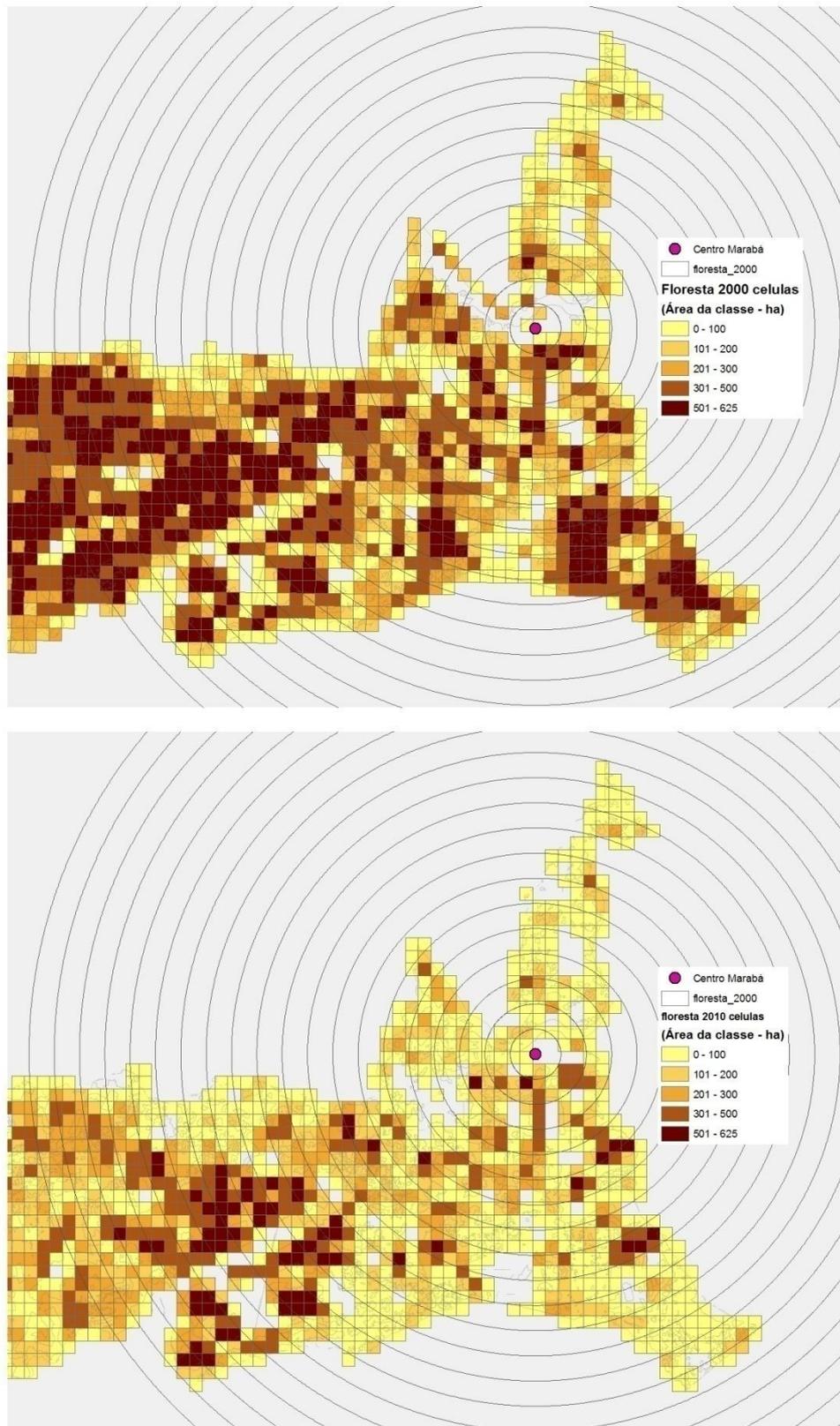
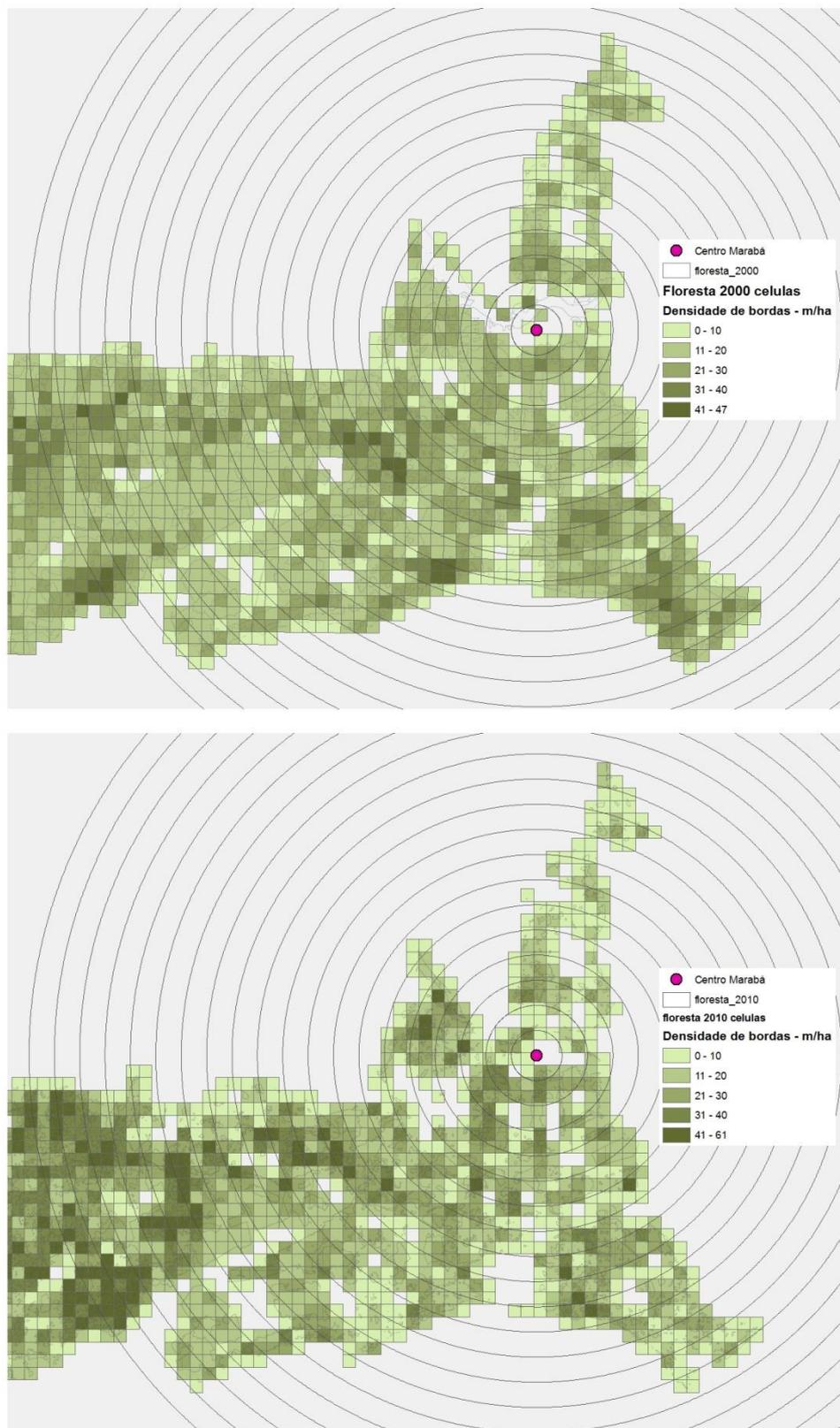


Figura A19 - Métricas de paisagem no espaço celular para classe FLORESTA - Marabá 2000 e 2010



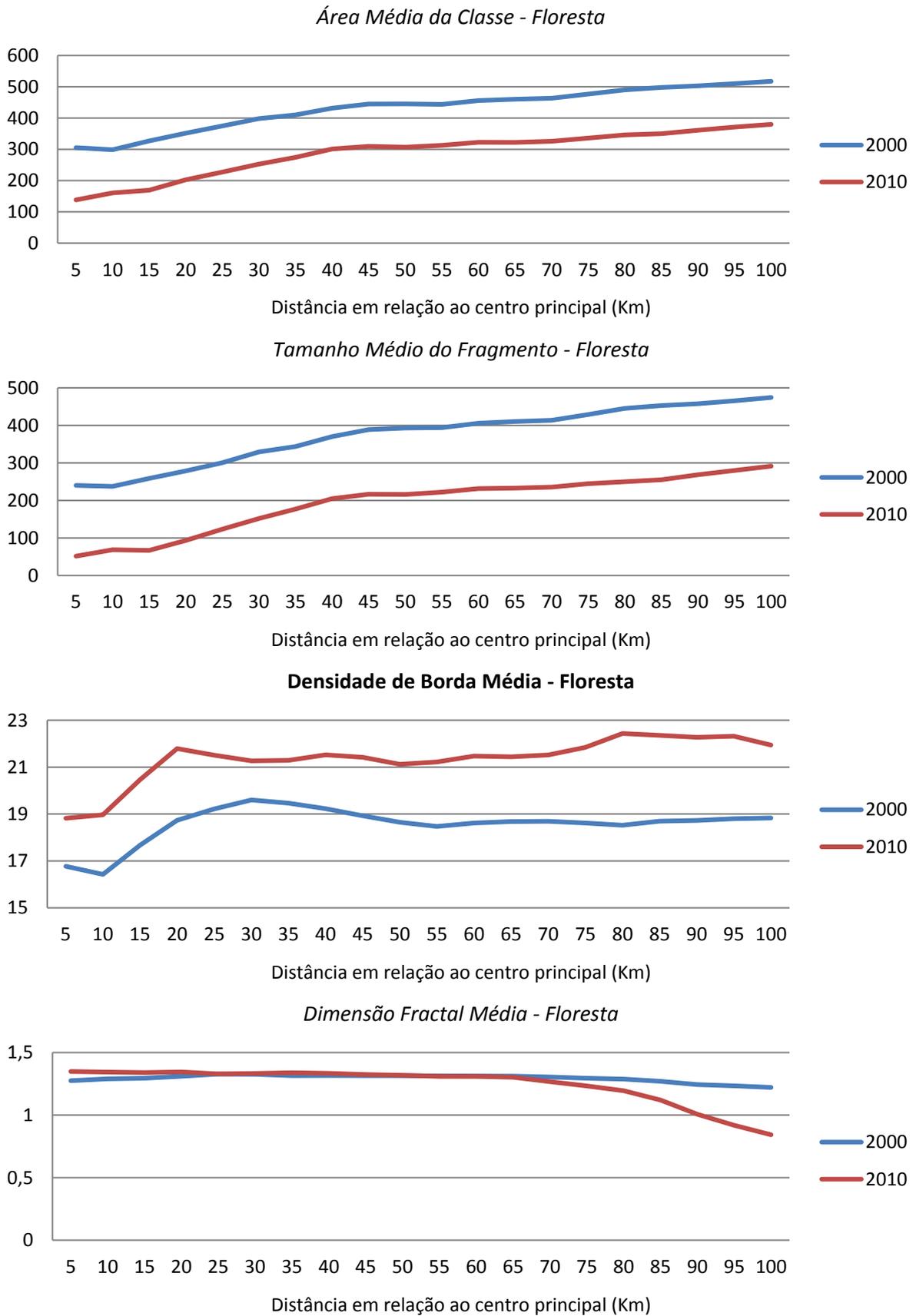
Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A20 - Métricas de paisagem no espaço celular para classe FLORESTA - Marabá 2000 e 2010



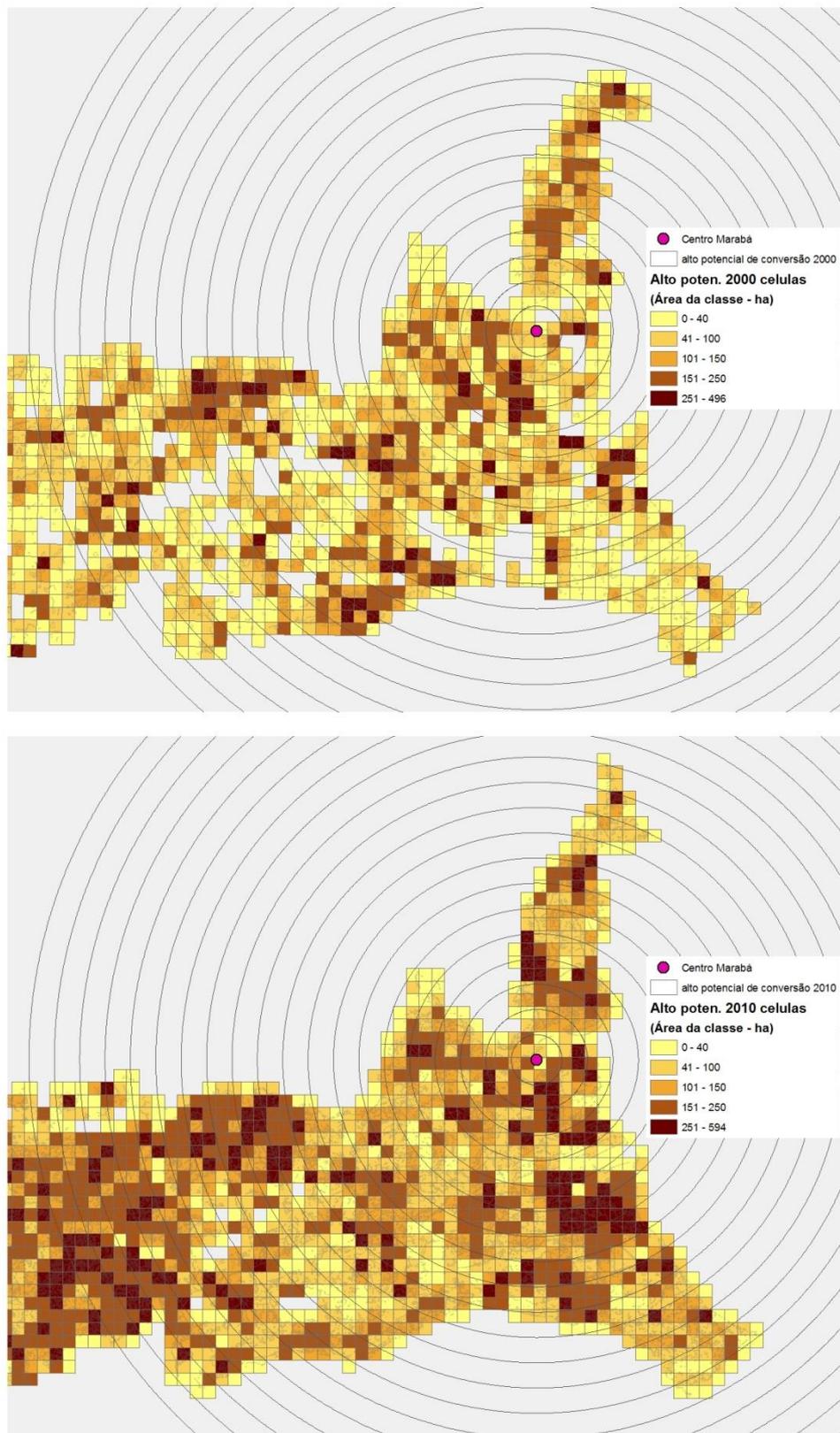
Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A21 - Gradientes de paisagem para classe FLORESTA - Marabá 2000 e 2010



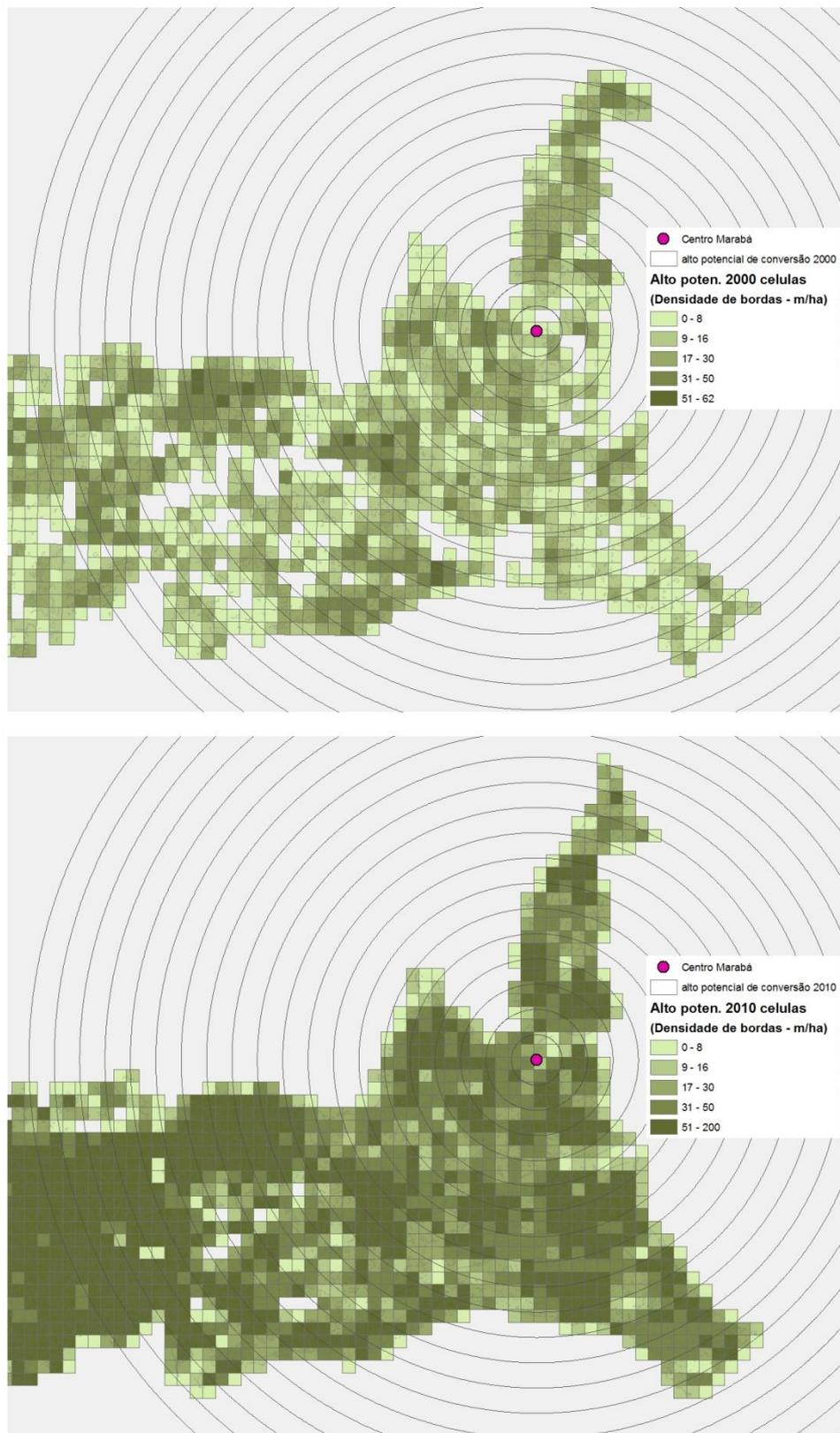
Fonte: Elaboração própria

Figura A22 - Métricas de paisagem no espaço celular para classe Regeneração com pasto e Vegetação Secundária - Marabá 2000 e 2010



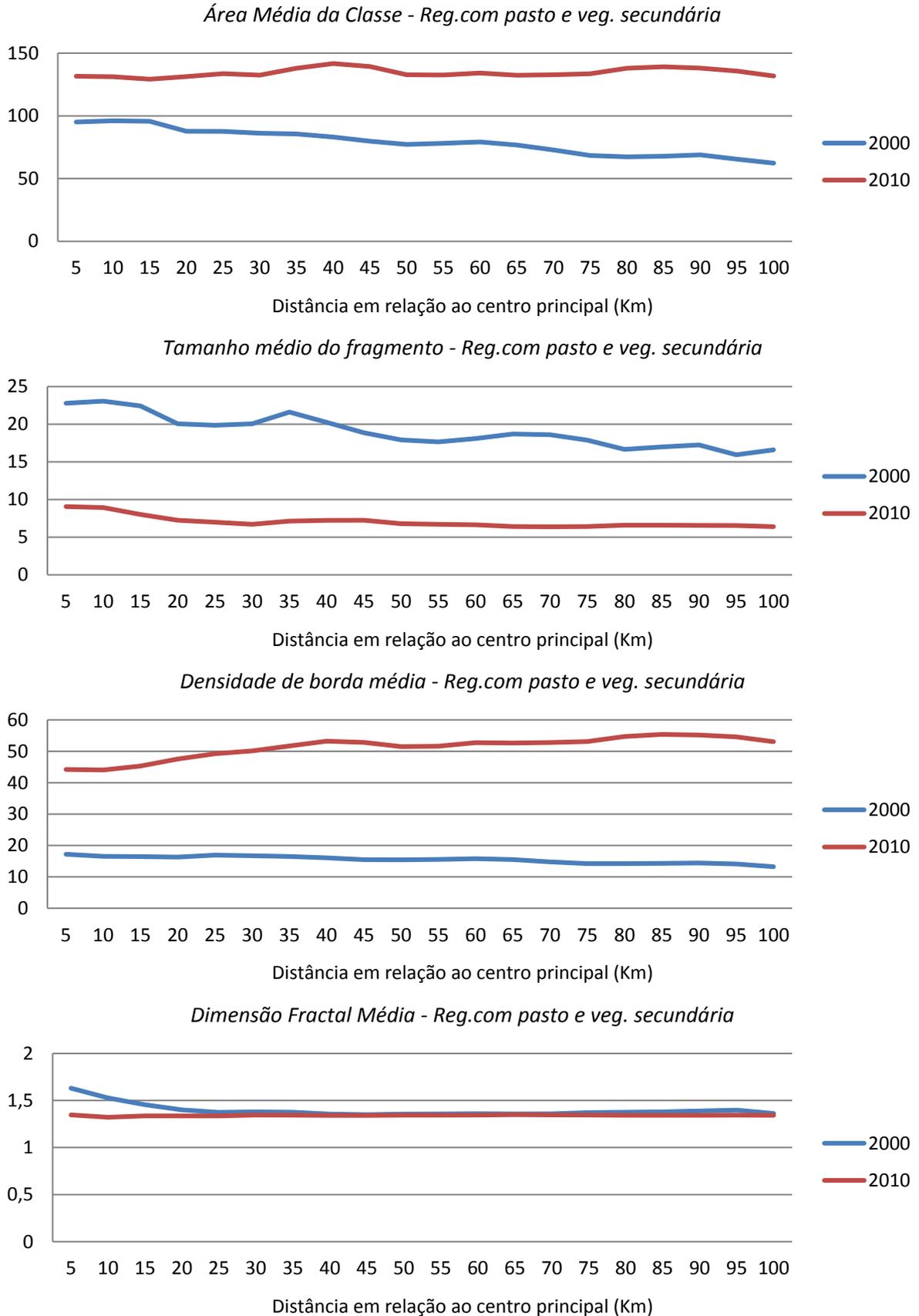
Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A23 - Métricas de paisagem no espaço celular para classe Regeneração com pasto e Vegetação Secundária - Marabá 2000 e 2010



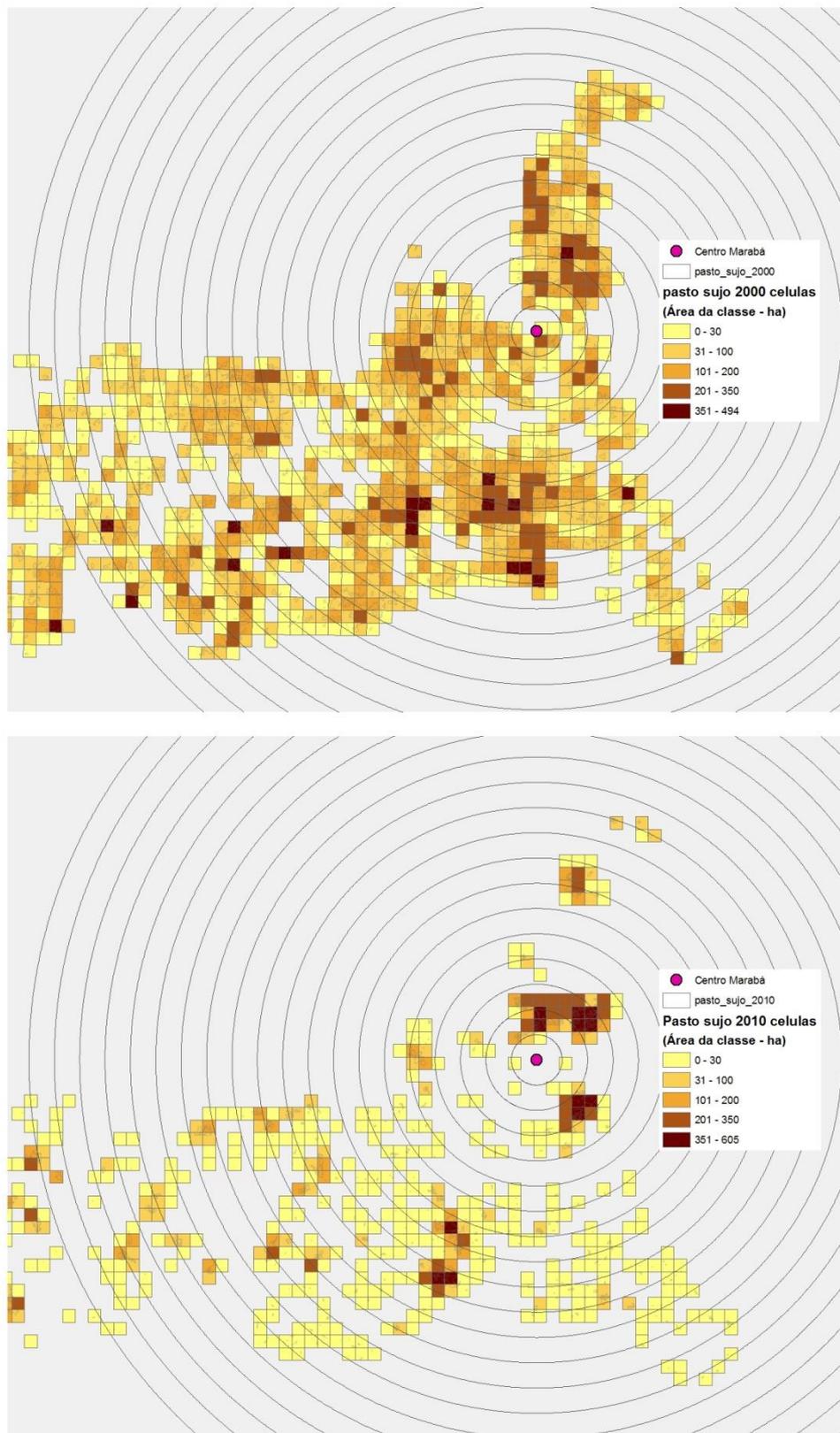
Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A24 - Gradientes de paisagem para classe Regeneração com pasto e Vegetação Secundária - Marabá 2000 e 2010



Fonte: Elaboração própria

Figura A25 - Métricas de paisagem no espaço celular a classe Pasto Sujo - Marabá 2000 e 2010



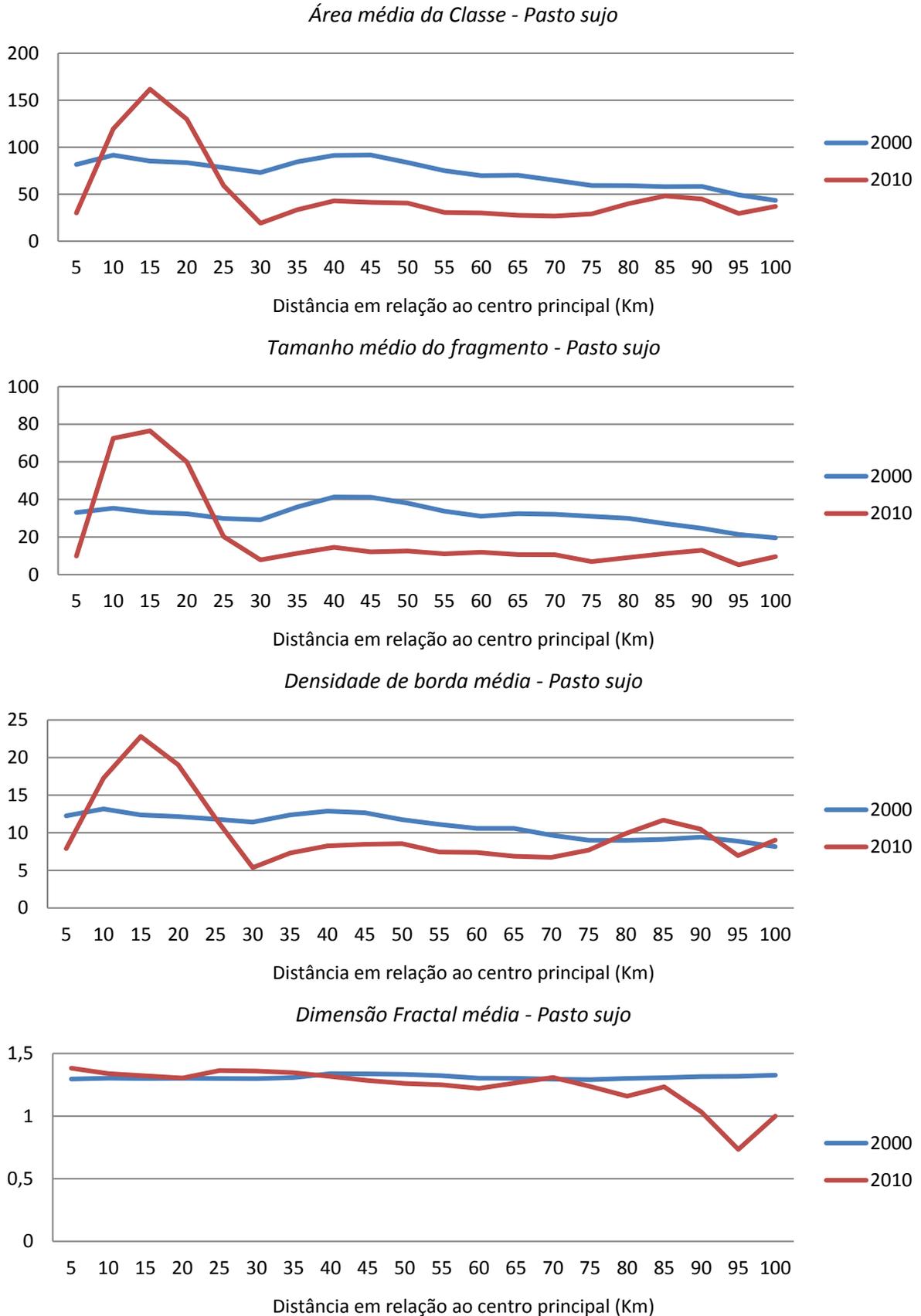
Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A26 - Métricas de paisagem no espaço celular a classe Pasto Sujo - Marabá 2000 e 2010



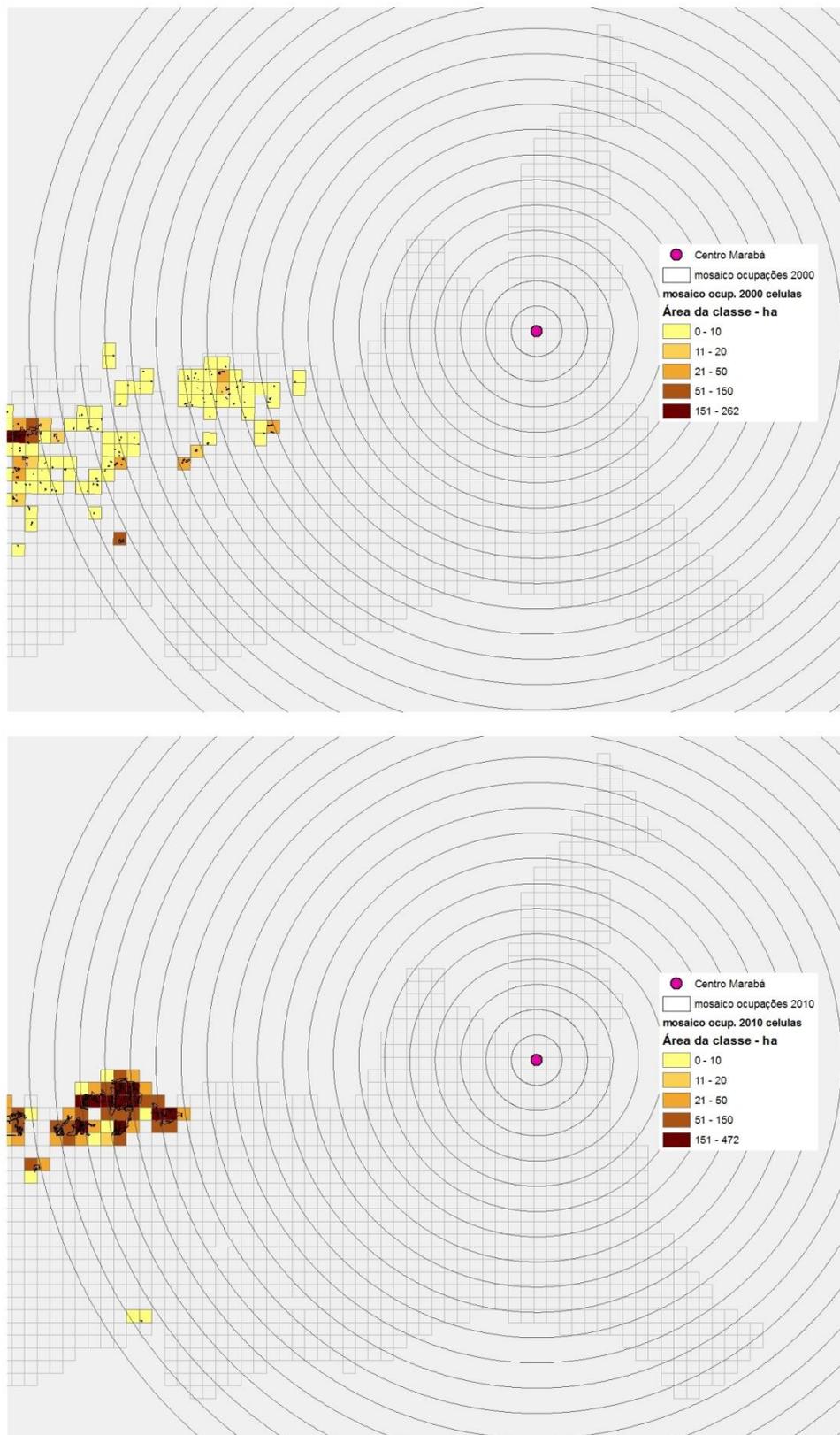
Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A27 - Gradientes de paisagem para classe Pasto Sujo - Marabá 2000 e 2010



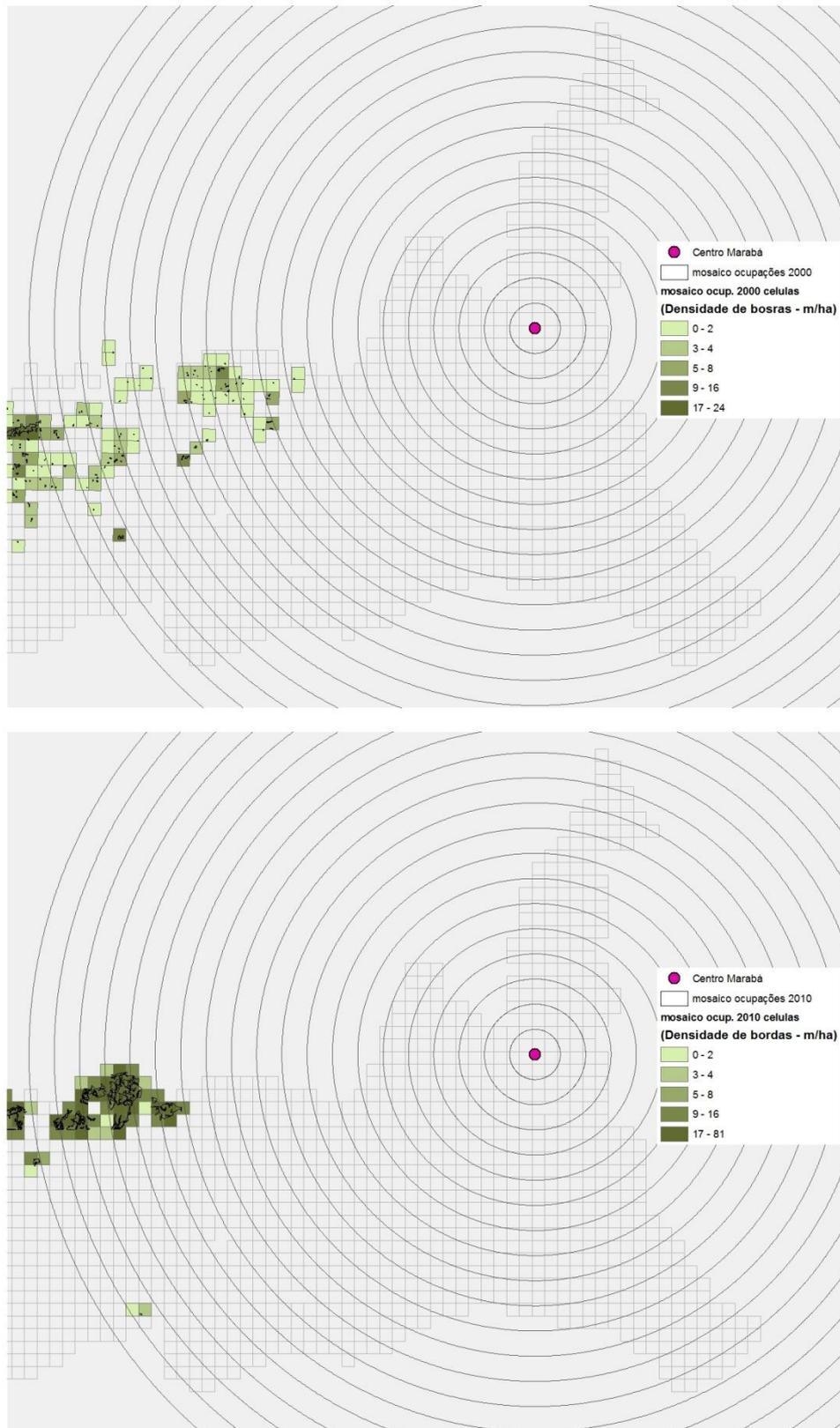
Fonte: Elaboração própria

Figura A28 - Métricas de paisagem no espaço celular a classe Mosaico de Ocupações - Marabá 2000 e 2010



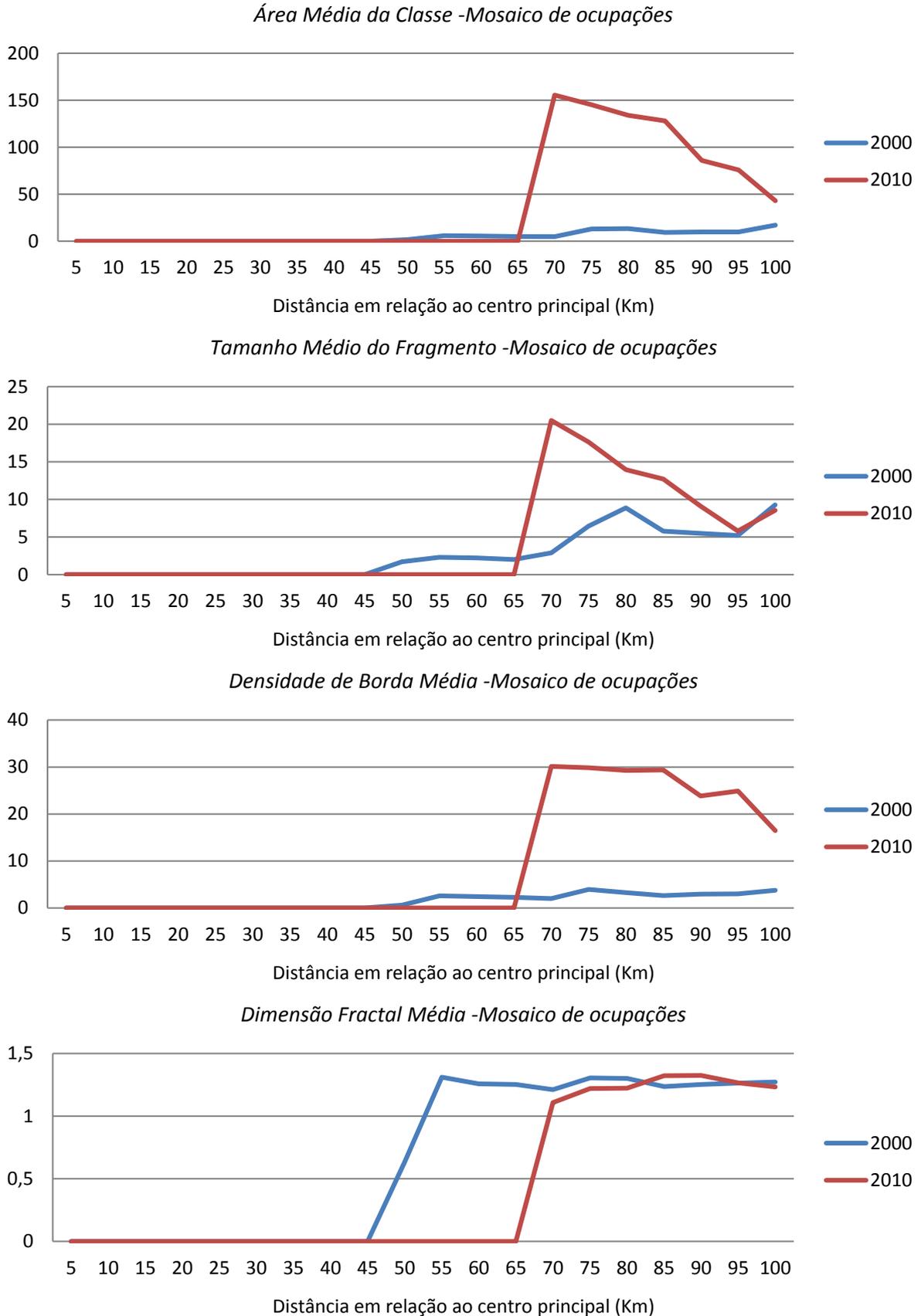
Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A29 - Métricas de paisagem no espaço celular a classe Mosaico de Ocupações - Marabá 2000 e 2010



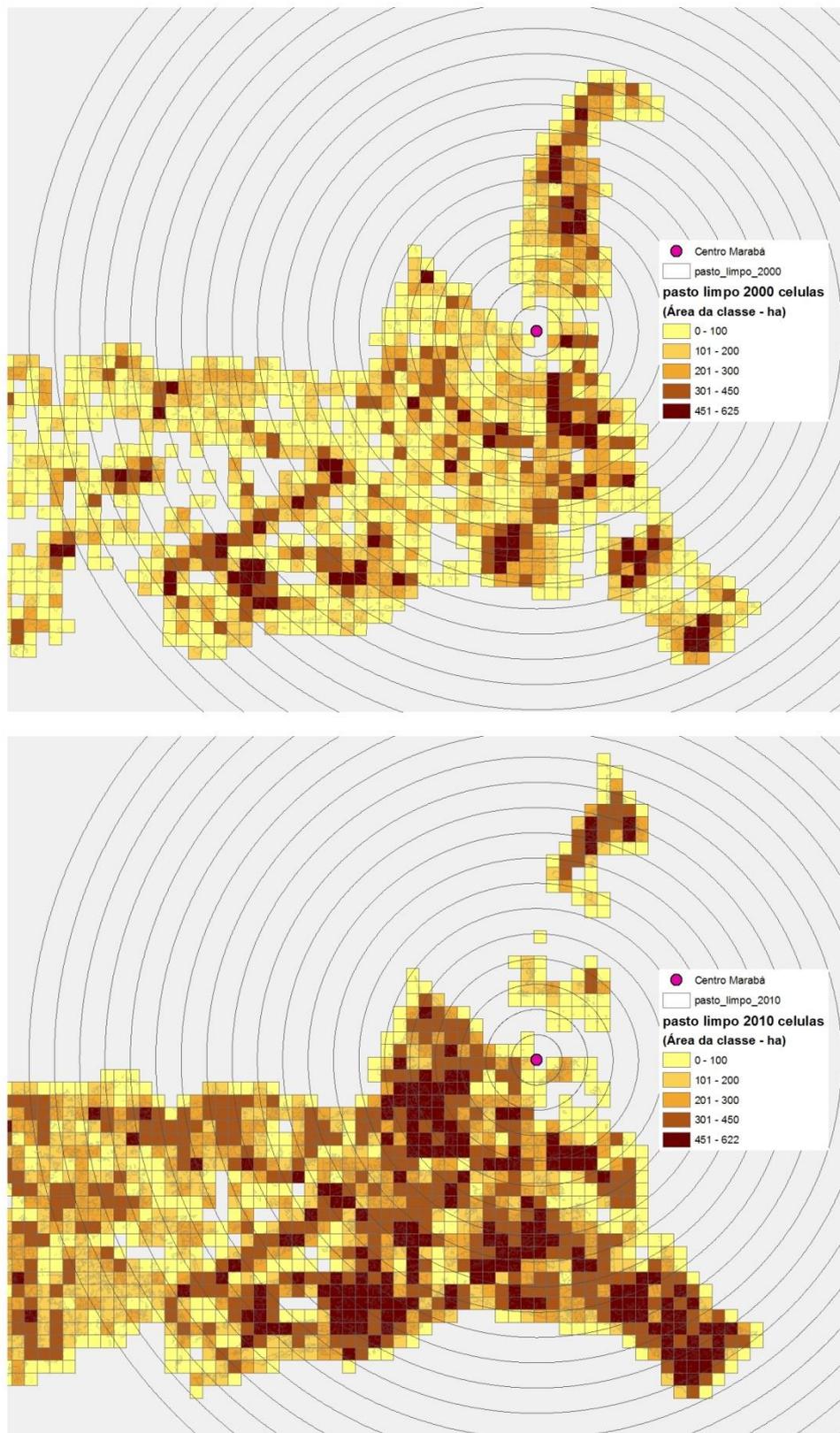
Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A30 - Gradientes de paisagem para classe Mosaico de Ocupações - Marabá 2000 e 2010



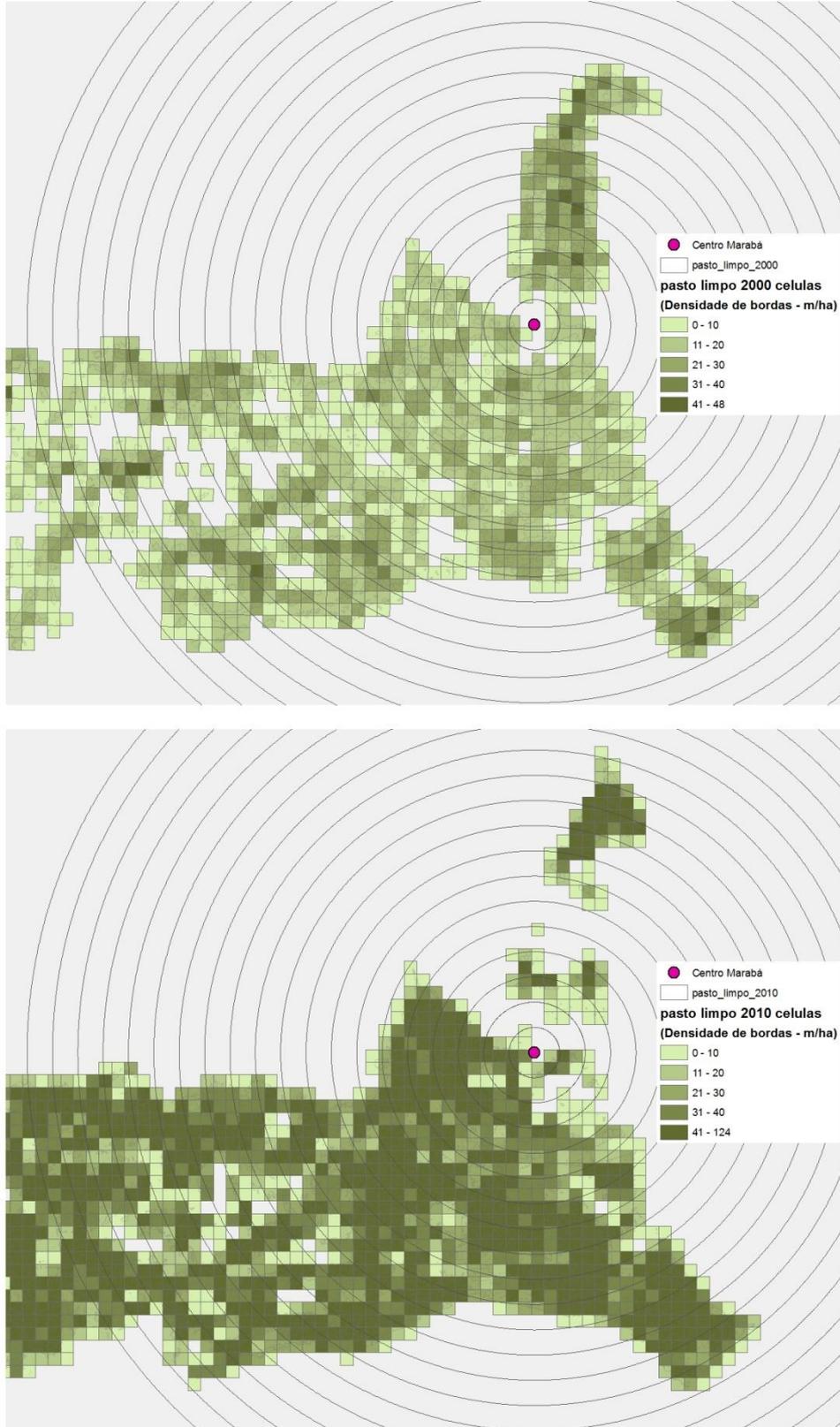
Fonte: Elaboração própria

Figura A31 - Métricas de paisagem no espaço celular a classe Pasto Limpo - Marabá 2000 e 2010



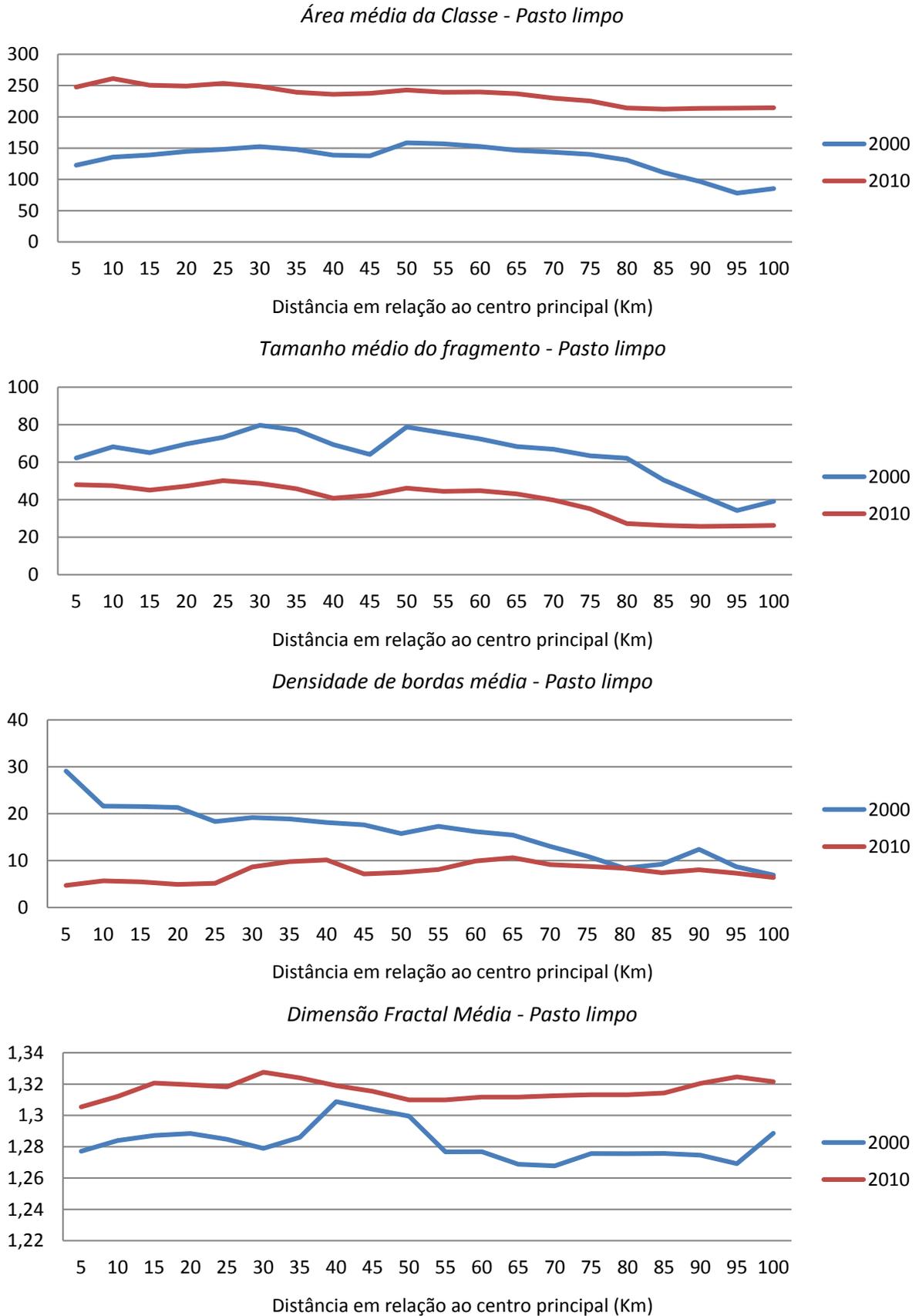
Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A32 - Métricas de paisagem no espaço celular a classe Pasto Limpo - Marabá 2000 e 2010



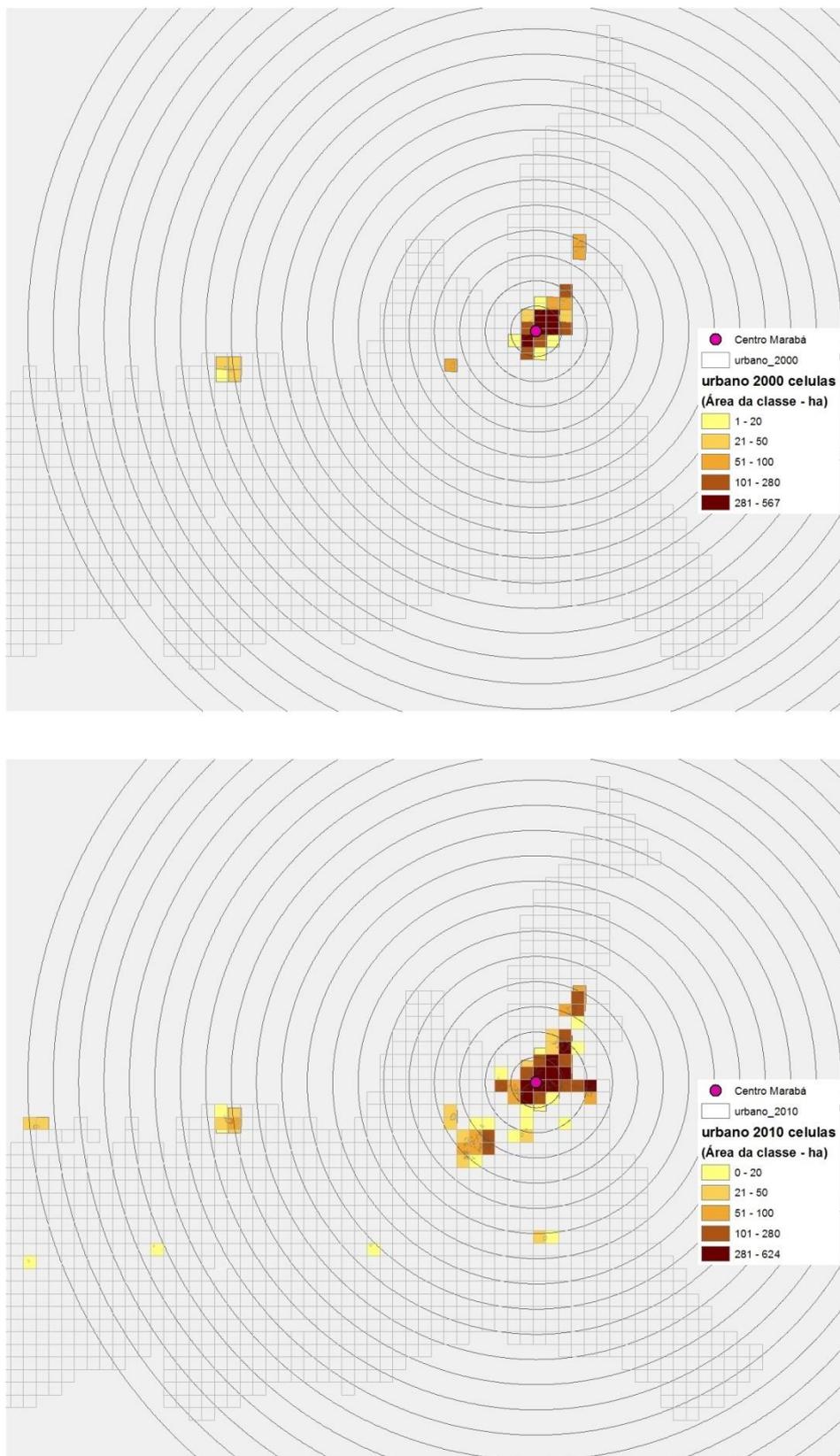
Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A33 - Gradientes de paisagem para classe Pasto Limpo - Marabá 2000 e 2010



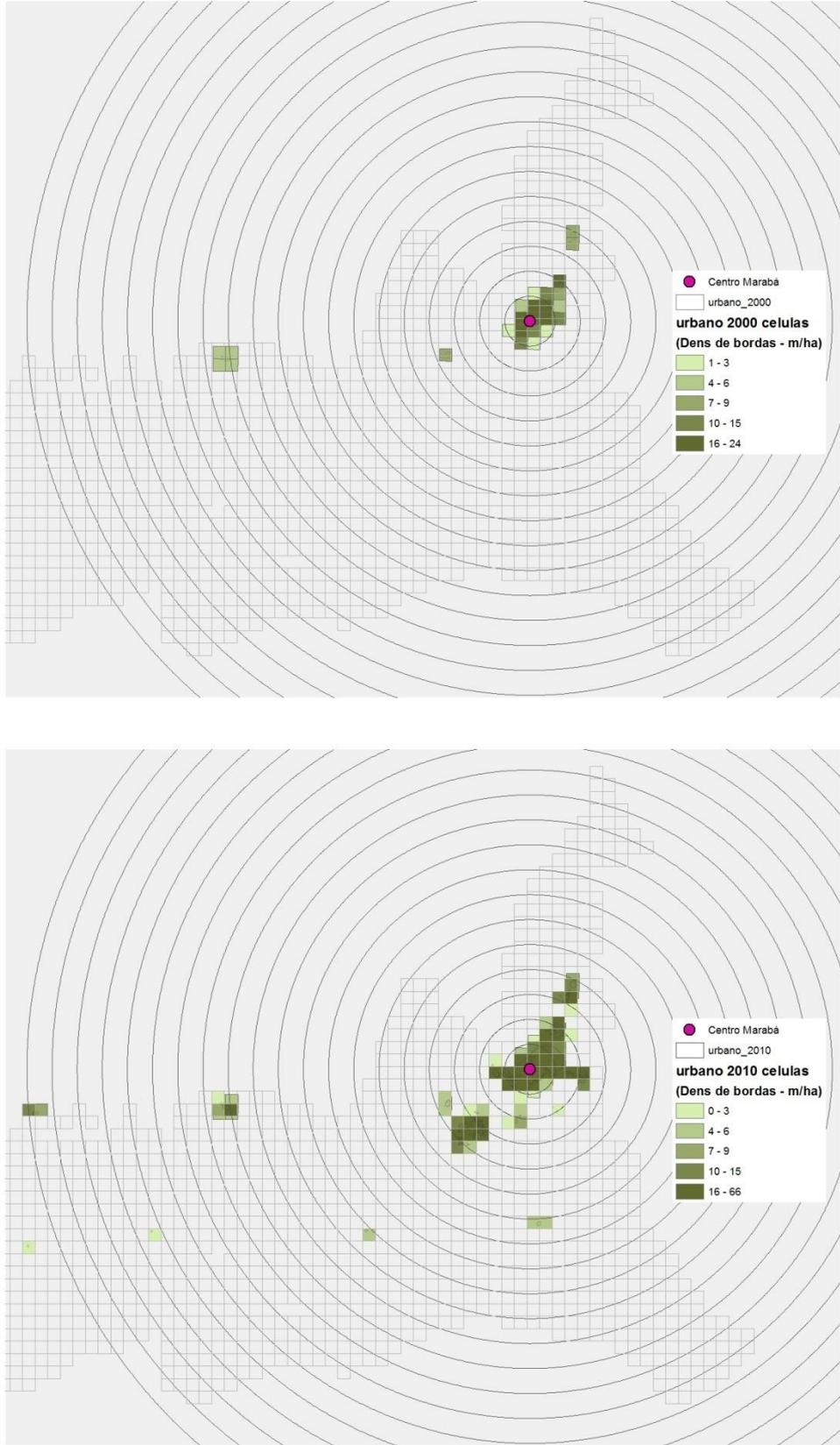
Fonte: Elaboração própria

Figura A34 - Métricas de paisagem no espaço celular a classe Urbano - Marabá 2000 e 2010



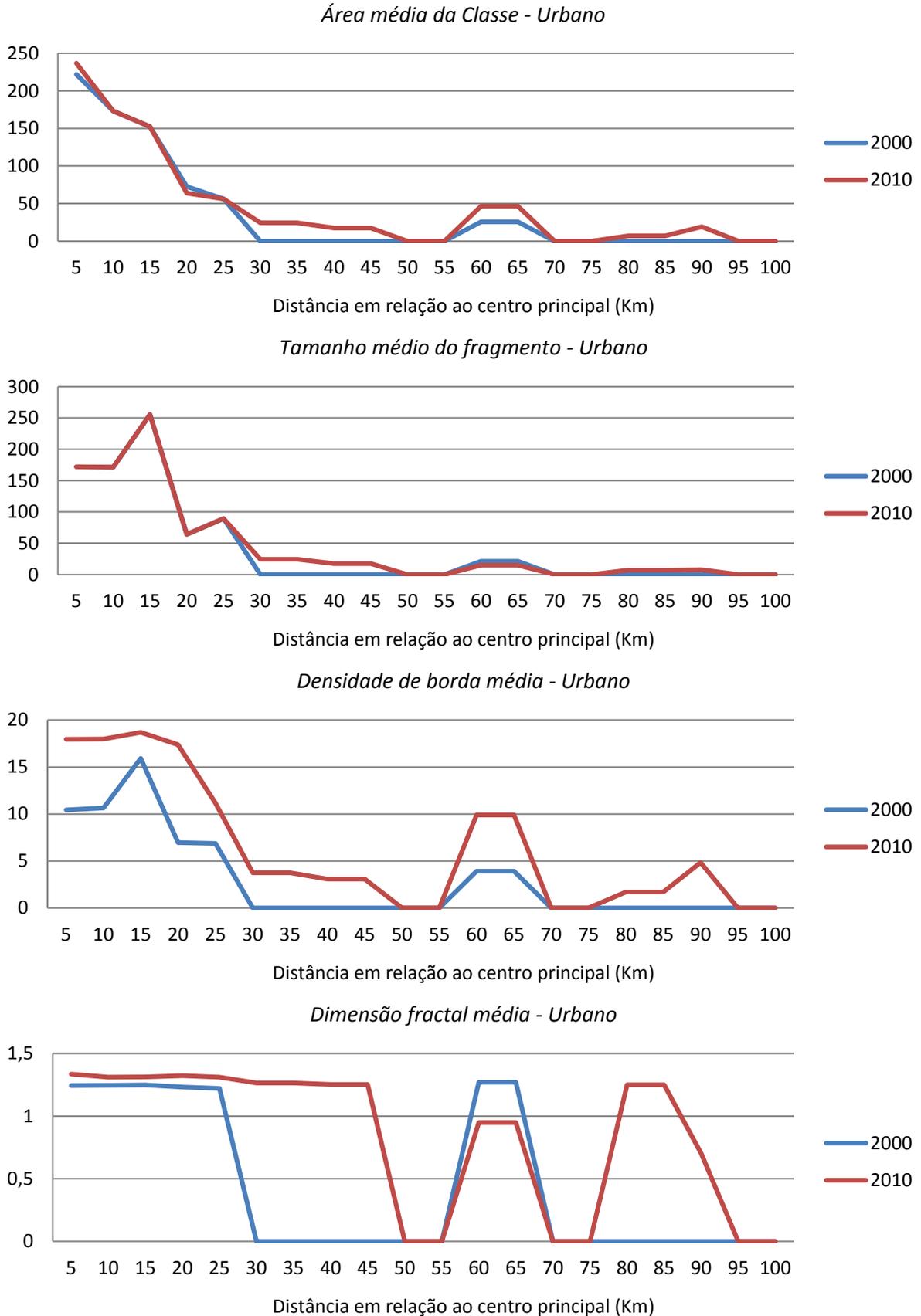
Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A35 - Métricas de paisagem no espaço celular a classe Urbano - Marabá 2000 e 2010



Fonte: Elaboração própria a partir dados Terraclass INPE 2000 e 2010

Figura A36 - Gradientes de paisagem para classe Urbano - Marabá 2000 e 2010



Fonte: Elaboração própria