



GRACIELI TRENTIN

**DIMENSÃO FRACTAL, DINÂMICA ESPACIAL E PADRÕES DE
FRAGMENTAÇÃO URBANA DE CIDADES MÉDIAS DO ESTADO DE
SÃO PAULO**

CAMPINAS – SP

2012



NÚMERO: 192/2012

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

GRACIELI TRENTIN

**DIMENSÃO FRACTAL, DINÂMICA ESPACIAL E PADRÕES DE FRAGMENTAÇÃO
URBANA DE CIDADES MÉDIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO**

**TESE DE DOUTORADO APRESENTADA
AO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIA DA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
CAMPINAS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE DOUTORA EM GEOGRAFIA, NA ÁREA
DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA
TERRITORIAL.**

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCOS CÉSAR FERREIRA

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA TESE DEFENDIDA PELA ALUNA GRACIELI TRENTIN
E ORIENTADA PELO PROF. DR. MARCOS CÉSAR FERREIRA**

CAMPINAS / 2012.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
CÁSSIA RAQUEL DA SILVA – CRB8/5752 – BIBLIOTECA “CONRADO PASCHOALE” DO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
UNICAMP

T723d Trentin, Gracieli, 1983-
Dimensão fractal, dinâmica espacial e padrões de
fragmentação urbana de cidades médias do estado de
São Paulo / Gracieli Trentin-- Campinas, SP.: [s.n.],
2012.

Orientador: Marcos César Ferreira.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de
Campinas, Instituto de Geociências.

1. Fractais. 2. Planejamento urbano. 3. Análise
espacial. I. Ferreira, Marcos César, 1957- II.
Universidade Estadual de Campinas, Instituto de
Geociências. III. Título.

Informações para a Biblioteca Digital

Título em inglês: Fractal dimension, spatial dynamic and urban
fragmentation patterns of medium-sized cities of São Paulo state.

Palavras-chaves em inglês:

Fractals

Urban planning

Spatial analysis

Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Doutora em Ciências

Banca examinadora:

Marcos César Ferreira (Orientador)

Carlos Roberto de Souza Filho

Cláudia Maria de Almeida

Lindon Fonseca Matias

Reinaldo Paul Pérez Machado

Data da defesa: 21-11-2012

Programa de Pós-graduação em Geografia



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

AUTORA: Gracieli Trentin

"Dimensão fractal, dinâmica espacial e padrões de fragmentação urbana de cidades médias do estado de São Paulo"

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcos César Ferreira

Aprovado em: 21 / 11 / 2012

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Marcos César Ferreira

Presidente

Profa. Dra. Cláudia Maria de Almeida

Prof. Dr. Carlos Roberto de Souza Filho

Prof. Dr. Lindon Fonseca Matias

Prof. Dr. Reinaldo Paul Pérez Machado

Campinas, 21 de novembro de 2012.

*Aos meus pais Gilberto e Luizinha,
pelo apoio incondicional.*

*Ao Ivan,
pelo companheirismo e carinho.*

Dedico...

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Marcos César Ferreira, pela orientação, apoio e confiança ao longo do desenvolvimento desta pesquisa. Além do aprendizado de enorme valor, do convívio e da atenção dispensada.

Ao programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas, pela oportunidade de realização do curso de doutorado.

À professora Dra. Cláudia Maria de Almeida e ao professor Dr. Lindon Fonseca Matias, pelas valiosas contribuições na etapa de qualificação da pesquisa e uma vez mais na defesa da tese.

Ao professor Dr. Reinaldo Paul Pérez Machado e ao professor Dr. Carlos Roberto de Souza Filho pela participação e contribuições na etapa de defesa da tese.

Aos meus pais, Gilberto e Luizinha, e minhas irmãs, Edicarla e Fernanda, pelo incentivo, apoio e presença constante em minha vida.

Ao Ivan, pelo companheirismo de sempre, carinho e motivação.

Ao amigo Adriano, pelas boas conversas geográficas e troca de ideias.

Às minhas amigas de laboratório, Ana Isabel e Eliana, pelas descobertas, aprendizados e convivência saudável regada a muitos cafés!

Aos amigos de laboratório, Amélia, Danilo, Cassiano, Marco, Edson, Daniel, pelas conversas e convivência.

Ao grupo de estudos Análise Geoespacial de Dados Ambientais e de Saúde - GEODAS, pelas discussões, troca de ideias e contribuições nos seminários realizados.

Aos amigos e colegas que conheci e convivi durante a realização do curso.

Aos funcionários do Instituto de Geociências e, em especial, da Pós-Graduação, pela atenção e disponibilidade sempre que necessário.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela concessão da bolsa de doutorado.

A todos que de alguma maneira estiverem presentes e contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos...



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**DIMENSÃO FRACTAL, DINÂMICA ESPACIAL E PADRÕES DE FRAGMENTAÇÃO
URBANA DE CIDADES MÉDIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO**

RESUMO

Tese de Doutorado

Gracieli Trentin

A maioria das metodologias convencionais empregadas em estudos urbanos não considera o grau de irregularidade dos perímetros e a complexidade morfológica das cidades, pois tendem a aproximar a forma urbana à geometria euclidiana. Entretanto, o fenômeno urbano pode ser também estudado, em sua forma real, a partir da geometria fractal. Neste caso, o grau de fragmentação e preenchimento urbano pode ser estimado a partir da dimensão fractal, contribuindo para análises da dinâmica espacial e temporal das formas urbanas. O objetivo desta pesquisa foi analisar a dinâmica de expansão urbana de um conjunto de cidades médias, com base na dimensão fractal e, posteriormente, identificar possíveis padrões de crescimento associados à fragmentação urbana. Foram escolhidas 14 cidades com população entre 100.000 e 500.000 habitantes, representando uma amostra do universo de cidades médias do estado de São Paulo. De acordo com a proposta de análise espaço-tempo em escala regional e a disponibilidade de material cartográfico, foram definidas quatro datas de análise da dinâmica espacial da forma urbana destas cidades: 1938, 1985, 1995 e 2005. Inicialmente, a expansão urbana das cidades foi mapeada e relacionada ao processo de urbanização paulista, destacando-se a influência da rede viária na configuração urbana. Em seguida, a dimensão fractal foi estimada por meio de três métodos: perímetro-resolução (PRE), perímetro-área (PAR) e densidade de ocupação (DOC). A análise dos resultados revelou grande dinâmica espacial e temporal nestas cidades, sobretudo entre 1938 e 1985 - fase de maior intensidade no processo de urbanização. Além disso, a rede viária mostrou ser determinante no direcionamento e definição dos principais eixos de expansão urbana. Estas características se refletiram nos valores de D calculados, os quais caracterizaram as cidades quanto à irregularidade, à complexidade e à fragmentação urbana. A variação temporal da dimensão fractal (D) demonstrou estar relacionada ao índice de forma, o que possibilitou a associação das formas urbanas a formatos alongados ou circulares. Com base nos valores de D para o método DOC - cuja variação foi maior no período - foram delimitados grupos de cidades para cada data de análise e para a dinâmica de todo o período (1938-2005). A partir deste agrupamento, foram definidos padrões de fragmentação urbana: formas fragmentadas; formas fragmentadas por imposições físicas e ambientais; e formas com maior regularidade. A caracterização dos grupos de cidades, com base na população, área, perímetro e fatores físico-geográficos dos sítios urbanos, possibilitou observar diferenças quanto à fragmentação e preenchimento das formas ao longo do tempo. O comportamento espacial e temporal de cada padrão sugere a continuidade no crescimento urbano, com maior influência do período recente, o que demonstra a existência de autocorrelação temporal no processo de fragmentação. Por fim, a dimensão fractal, utilizada como categoria de análise espacial, comprovou sua eficiência como método de monitoramento e mapeamento dinâmico de formas irregulares e complexas, como são as formas urbanas.

Palavras chaves: dimensão fractal; expansão urbana; forma urbana; análise espacial.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**FRACTAL DIMENSION, SPATIAL DYNAMIC AND URBAN FRAGMENTATION
PATTERNS OF MEDIUM-SIZED CITIES OF SÃO PAULO STATE**

ABSTRACT

Doctorate Thesis

Gracieli Trentin

Most of the conventional methodologies employed in urban studies do not consider the level of perimeter irregularity and the morphological complexity of cities, because they tend to approximate the urban form to the Euclidean geometry. However, the urban phenomenon can also be studied in its real form, based on the fractal geometry. In this case, the urban grade fill and fragmentation can be estimated by fractal dimension (D), contributing to the analysis of the spatial and temporal dynamics of urban forms. The aim of this work was to analyze the urban sprawl dynamic of a set medium-sized cities, based on fractal dimension to identify possible grow patterns associated to urban fragmentation. We chose 14 cities with population between 100.000 and 500.000 inhabitants, which represents a sample of the total medium-sized cities in São Paulo state. According to the proposed space-time analysis at a regional scale and the availability of cartographic material, four dates were defined to analyze the spatial dynamic of urban forms: 1938, 1985, 1995 and 2005. Firstly, the urban sprawl was mapped and related to the São Paulo urbanization process, highlighting the influence of the road network on the urban configuration. Afterwards, the fractal dimension was estimated by three methods: perimeter-resolution (PRE), perimeter-area (PAR) and occupation density (DOC). The analysis of the results showed great spatial and temporal dynamic in these cities, mainly between 1938 and 1985 – a phase of greater intensity in the urbanization process. Furthermore, the road network was determinant in the direction and definition of the main axes of urban sprawl. These characteristics were reflected in the estimated D values, which characterized the cities as regards irregularity, complexity and urban fragmentation. The temporal changes in the fractal dimension were related to shape index, which enabled the association of urban forms to elongated or circular formats. Based on the D values for the DOC method – which presented greater variation in the period – groups of cities to each date of analysis and for the dynamic of the entire period (1938-2005) were delimited. From this grouping, the following urban fragmentation patterns were defined: fragmented forms; fragmented forms by environment and physical constraints; and forms with more regularity. The characterization of groups of cities was based on population, area, perimeter and physical-geographical factors of urban sites. This allowed to observe differences concerning the fill and fragmentation of forms along time. The spatial and temporal behavior of each pattern suggests continuity in the urban growth, with a great influence from the most recent period, which demonstrates the existence of temporal autocorrelation in the fragmentation process. In conclusion, the fractal dimension used as a category for spatial analysis proved its efficiency as a dynamic mapping and monitoring method for complex and irregular forms, those observed in urban environments.

Key words: fractal dimension; urban sprawl; urban form; spatial analysis.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xviii
LISTA DE TABELAS.....	xxii
LISTA DE QUADROS	xxiii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xxv
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xxvii
LISTA DE APÊNDICES	xxiv
Capítulo 1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos da pesquisa	3
1.1.1 Objetivo geral.....	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 Hipóteses da pesquisa.....	4
1.3 Apresentação da pesquisa.....	4
Capítulo 2. CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA, SELEÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO E ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS ESPACIAL.....	7
2.1 Contextualização da pesquisa.....	7
2.1.1 A escola de análise espacial e as funções de análise do espaço.....	8
2.1.2 Aspectos conceituais.....	10
2.2 Seleção do objeto de estudo.....	12
2.3 Material.....	16
2.4 Organização da base de dados espacial	19
2.4.1 Processamento digital das imagens orbitais.....	19
2.4.1.1 Registro de imagens	19
2.4.1.2 Recorte das imagens.....	21
2.4.1.3 Definição das composições coloridas	21
2.4.2 Processamento digital dos mapas históricos de 1938	24
2.4.2.1 Registro dos mapas.....	24
2.4.3 Processamento digital dos mapas DER (2009).....	25
2.4.3.1 Registro dos mapas DER.....	25

2.4.3.2 Delimitação da base cartográfica DER	26
2.4.4 Processamento digital do material complementar da pesquisa	26
2.5 Conclusões	27
Capítulo 3. DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DE EXPANSÃO URBANA DAS CIDADES MÉDIAS NO PERÍODO ENTRE 1938 E 2005.....	29
3.1 Expansão das áreas urbanas: considerações iniciais.....	29
3.2 Orientações metodológicas para a análise de expansão urbana	32
3.2.1 Delimitação das formas urbanas	32
3.2.2 Análise da dependência espacial na localização de loteamentos urbanos: estudo de caso na cidade de Piracicaba-SP	34
3.3. Contextualização e caracterização da expansão urbana no período entre 1938 e 2005	37
3.3.1 Contexto inicial da ocupação urbana: 1938	37
3.3.2 As grandes mudanças espaço-temporais: de 1938 até o ano de 1985.....	40
3.3.3 Expansão urbana no cenário de abertura comercial: o ano de 1995	43
3.3.4 O panorama recente de crescimento urbano: 2005	46
3.4 Dinâmica espacial das cidades no período entre 1938 e 2005	48
3.4.1 Expansão da forma urbana a partir da inserção de novos loteamentos: estudo de caso para a cidade de Piracicaba (1985-2010)	57
3.5 Conclusões.....	63
Capítulo 4. CARACTERIZAÇÃO DAS FORMAS URBANAS POR MEIO DA ESTIMATIVA DA DIMENSÃO FRACTAL.....	65
4.1 Análise espacial das formas urbanas	65
4.1.2 A dimensão fractal como categoria de análise espacial.....	66
4.2 Metodologia para caracterização das formas urbanas quanto à dimensão fractal	70
4.2.1 Métodos de cálculo da dimensão fractal (D)	71
4.2.1.1 Método perímetro-resolução (PRE)	72
4.2.1.2 Método perímetro-área (PAR)	73
4.2.1.3 Método da densidade de ocupação (DOC).....	74
4.3 Comportamento da morfologia urbana com base na dimensão fractal	77
4.3.1 A irregularidade de perímetro da forma urbana.....	78
4.3.2 A complexidade da forma urbana	81

4.3.3 A densidade de preenchimento urbano	84
4.4 Conclusões	91
Capítulo 5. A VARIABILIDADE TEMPORAL DA DIMENSÃO FRACTAL E SUA RELAÇÃO COM A EXPANSÃO DAS FORMAS URBANAS.....	93
5.1 A dinâmica espacial e temporal das formas urbanas a partir da dimensão fractal	93
5.2 Procedimentos metodológicos	94
5.2.1 Análise comparativa dos métodos de cálculo para a estimativa da dimensão fractal ...	94
5.2.2 Relação da forma urbana com os valores de dimensão fractal	96
5.3 A dinâmica temporal de D e sua relação com as formas urbanas	97
5.3.1 Variação temporal da dimensão fractal.....	97
5.3.2 A dimensão fractal do grupo de cidades médias no ano de 2010	104
5.4 Relação da dimensão fractal com as formas urbanas	108
5.5 Conclusões	112
Capítulo 6. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PADRÕES DE FRAGMENTAÇÃO URBANA A PARTIR DA DIMENSÃO FRACTAL	115
6.1 Introdução	115
6.2 Procedimentos metodológicos	116
6.2.1 Análise de agrupamento.....	117
6.2.2 Análise espacial dos padrões de fragmentação urbana	117
6.3 Proposta de identificação e caracterização de padrões de fragmentação urbana para cidades médias a partir da análise de agrupamento	118
6.3.1 Análise de agrupamento para o crescimento urbano nas datas de análise	119
6.3.2 Dinâmica espacial e temporal do período: padrões de fragmentação urbana	122
6.4 Conclusões	139
CONSIDERAÇÕES FINAIS	141
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Procedimentos de seleção das áreas de estudo e organização da base de dados espacial.	8
Figura 2.2 - Cidades do estado de São Paulo com população urbana entre 100.000 e 500.000 habitantes em 2000.	13
Figura 2.3 - Grupos de cidades médias paulistas com população urbana semelhante em 2000. ...	14
Figura 2.4 - Divisão geomorfológica do estado de São Paulo e localização das cidades em estudo.	15
Figura 2.5 - Extensão territorial dos municípios que compõem o objeto de estudo.	16
Figura 2.6 - Distribuição dos pontos de controle sobre a imagem LANDSAT TM 5 órbita/ponto 221/74 (1995).	20
Figura 2.7 - Composições coloridas selecionadas para a vetorização das áreas urbanizadas. Recorte da imagem para o município de São José do Rio Preto no ano de 2005..	23
Figura 3.1 - Escala de visualização fixa 1:50.000 e composição colorida RGB 357 utilizadas na vetorização em tela das áreas urbanizadas	33
Figura 3.2 - Representação da escala <i>R</i>	36
Figura 3.3 - População urbana em 1940 e a área urbanizada em 1938, para o grupo de cidades em estudo.	38
Figura 3.4 - Representação das áreas urbanizadas em 1938.	39
Figura 3.5 - População urbana do ano de 1985 para o grupo de cidades.	41
Figura 3.6 - Área ocupada pelas cidades em 1985, para as áreas urbanizadas totais e para as manchas principais.	41
Figura 3.7 - Representação das áreas urbanizadas em 1985.	42
Figura 3.8 - População urbana do ano de 1995 para o grupo de cidades.	43
Figura 3.9 - Área ocupada pelas cidades em 1995, para as áreas urbanizadas totais e para as manchas principais.	44
Figura 3.10 - Representação das áreas urbanizadas em 1995.	45
Figura 3.11 - População urbana do ano de 2005 para o grupo de cidades.	46

Figura 3.12 - Área ocupada pelas cidades em 2005, para as áreas urbanizadas totais e para as manchas principais.	46
Figura 3.13 - Representação das áreas urbanizadas em 2005.	47
Figura 3.14 - Valores médios de população total e urbana e taxa de urbanização para o grupo de municípios.	50
Figura 3.15 - Expansão urbana das cidades médias no período entre 1938 e 2005.	51
Figura 3.16 - Rede viária principal e ferrovias sobrepostas às áreas urbanizadas do estado de São Paulo (2000).	54
Figura 3.17 - Área urbanizada no período (1938-2005), para a totalidade urbana e para a mancha principal em cada cidade.	55
Figura 3.18 - Distribuição espacial dos loteamentos de Piracicaba-SP, segundo as datas de seus respectivos lançamentos.	58
Figura 3.19 - Vetores de expansão urbana (setas verdes) indicados na revisão do plano diretor de planejamento urbano de Piracicaba (1995).	59
Figura 3.20 - Curva de frequência absoluta anual de loteamentos aprovados em Piracicaba entre 1985 e 2010, representada pela média móvel.	60
Figura 3.21 - Distribuição espacial dos loteamentos de Piracicaba entre 1985 e 2010, e respectivos valores de R	61
Figura 3.22 - Dinâmica temporal dos valores de R calculados para a distribuição espacial dos loteamentos de Piracicaba (1985-2010).	63
Figura 4.1 - Formas geométricas das dimensões.	67
Figura 4.2 - Sequência metodológica para obtenção dos valores de dimensão fractal (D).	71
Figura 4.3 - Representação da área urbanizada de Itapetininga para o ano de 2005 no formato vetor e nas cinco resoluções utilizadas.	73
Figura 4.4 - Obtenção dos círculos concêntricos	75
Figura 4.5 - Intersecções entre os círculos e a área urbanizada de São José do Rio Preto em 1938.	76
Figura 4.6 - Valores de D pelo método PRE para as áreas urbanizadas totais (à esquerda) e para as manchas principais (à direita).	79
Figura 4.7 - Valores de D pelo método PAR para as áreas urbanizadas totais (à esquerda) e para as manchas principais (à direita).	82

Figura 4.8 - Valores de D pelo método DOC a partir da distância em relação ao centro urbano para as áreas urbanizadas totais e manchas principais.	85
Figura 4.9 - Valores de D pelo método DOC para as áreas urbanizadas totais (à esquerda) e para as manchas principais (à direita), para a última distância atingida pelas cidades a partir do centro urbano.	90
Figura 5.1 - Sequência dos procedimentos para a análise da variação de D e sua relação com as formas urbanas.	94
Figura 5.2 - Valores médios de D para o período (1938-2005) nos três métodos utilizados, para as áreas urbanizadas totais (à esquerda) e manchas principais (à direita) de cada cidade.	100
Figura 5.3 - Estrutura básica para a interpretação da relação entre os valores de D e CV.	101
Figura 5.4 - Variação temporal de D a partir dos três métodos utilizados, para as áreas urbanizadas totais (à esquerda) e manchas principais (à direita) de cada cidade.	102
Figura 5.5 - Áreas ocupadas pelas cidades no ano de 2010.	105
Figura 5.6 - Taxa de variação da área urbanizada total e da mancha principal entre os anos de 2005 e 2010.	106
Figura 5.7 - Valores de D para os métodos PRE, PAR e DOC no ano de 2010, para as áreas urbanizadas totais (à esquerda) e manchas principais (à direita).	107
Figura 5.8 - Dinâmica das formas urbanas no período (1938-2005), comparando a área urbanizada total e a mancha principal de cada cidade.	109
Figura 5.9 - Distribuição das cidades médias em relação ao índice de forma (IF) e ao coeficiente de variação deste índice entre 1938 e 2005, considerando-se a área urbanizada total e a mancha principal.	110
Figura 5.10 - Relação entre os valores médios de D e IF para as áreas urbanizadas totais e manchas principais, no período 1938-2005.	111
Figura 6.1 - Sequência metodológica para identificação e caracterização dos padrões de fragmentação urbana para o grupo de cidades médias, de acordo com a dimensão fractal.	116
Figura 6.2 - Dendrogramas dos grupos de cidades médias formados em 1938, 1985, 1995 e 2005.	119
Figura 6.3 - Distribuição espacial dos grupos de cidades médias resultantes da análise de agrupamento em cada data de análise.	121
Figura 6.4 - Formação dos grupos para a dinâmica temporal das cidades médias (1938-2005).	122
Figura 6.5 - Grupos de cidades médias resultantes da análise de agrupamento para o período 1938-2005, sobrepostos ao mapa geomorfológico do estado de São Paulo (IPT, 1981).	123

Figura 6.6 - Comportamento da população urbana em cada grupo (1940-2010).	125
Figura 6.7 - Área urbanizada e respectivo perímetro em cada grupo no período (1938-2005). ..	126
Figura 6.8 - Comportamento das formas urbanas, quanto ao IF, em cada grupo no período (1938-2005).....	127
Figura 6.9 - Comportamento das formas urbanas quanto à fragmentação, com base nos valores de D, em cada grupo, no período (1938-2005).	127
Figura 6.10 - Representações topográficas das cidades que compõem o Grupo 1.	130
Figura 6.11 - Representações topográficas das cidades que compõem o Grupo 2.	131
Figura 6.12 - Representações topográficas das cidades que compõem o Grupo 3.	132
Figura 6.13 - Relação entre o desvio padrão (DP) das altitudes e os valores de D para as manchas urbanas principais nos grupos identificados.....	135
Figura 6.14 - Comportamento da dimensão fractal dos padrões de fragmentação urbana para as cidades médias e para a Região Metropolitana de São Paulo - RMSP (MARQUES; FERREIRA, 2006).....	137
Figura 6.15 - Comportamento temporal e linha de tendência para os padrões de fragmentação urbana.	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Cenas do satélite LANDSAT TM 5 para os anos de 1985, 1995 e 2005 selecionadas para os 14 municípios.....	18
Tabela 2.2 - Pontos de controle e raiz do erro médio quadrático (<i>Root Mean Square Error - RMSE</i>) em cada imagem das órbitas/pontos para os anos de 1985 e 1995.	21
Tabela 2.3 - Pontos de controle e raiz do erro médio quadrático (<i>Root Mean Square Error - RMSE</i>) para os mapas de 1938.	24
Tabela 2.4 - Pontos de controle e raiz do erro médio quadrático (<i>Root Mean Square Error - RMSE</i>) para os mapas do DER (2009).	25
Tabela 2.5 - Datas de aquisição das imagens de 2010, pontos de controle utilizados no registro e raiz do erro médio quadrático (<i>Root Mean Square Error - RMSE</i>).....	27
Tabela 2.6 - Cenas ASTER GDEM utilizadas para o conjunto de cidades em estudo.	27
Tabela 3.1 - Síntese dos dados de loteamentos obtidos para Piracicaba-SP.	35
Tabela 3.2 - Taxa de urbanização para o grupo de cidades, no período entre 1940 e 2010, ordenada pelos dados de 2010.....	48
Tabela 5.1 - Valores médios de D, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para o método PRE (1938-2005).....	98
Tabela 5.2 - Valores médios de D, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para o método PAR (1938-2005).	98
Tabela 5.3 - Valores médios de D, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para o método DOC (1938-2005).	99
Tabela 5.4 - Valores médios de D, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para os valores do último círculo do método DOC (1938-2005).	99
Tabela 5.5 - Valores do coeficiente de Spearman (r_s), entre IF e D (três métodos), para as áreas urbanizadas totais e manchas principais, segundo as datas de análise.	111
Tabela 5.6 - Valores do coeficiente de correlação de Spearman (r_s), entre IF e D (três métodos) no período inteiro para as áreas urbanizadas totais e manchas principais.	112
Tabela 6.1 - Frequência de associação de cada cidade, por grupo, no período entre 1938 e 2005.....	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 6.1 - Situação geográfica de cada grupo quanto às unidades de relevo e população urbana em 2005.	124
Quadro 6.2 - Síntese dos padrões de fragmentação urbana para o grupo de cidades médias.	136

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Dados e informações utilizadas na seleção do objeto de estudo.	159
Apêndice B - Cidades médias selecionadas e características físico-geográficas predominantes.	160
Apêndice C - Matrizes geográficas da série temporal (1938-2005) agregando características das 14 cidades médias.	162
Apêndice D - Representações cartográficas da expansão urbana das 14 cidades médias para o período 1938-2005.	166
Apêndice E - Comparação entre o uso dos marcos zero (IBGE) e dos centros médios a partir da forma urbana de 1938, para o cálculo de D pelo método DOC.	173
Apêndice F - Sobreposição dos círculos às áreas urbanizadas para o ano de 2005 e número de círculos utilizados em cada data de análise.	176
Apêndice G - Tabelas de cálculo de D pelo método perímetro-resolução (PRE) para as áreas urbanizadas totais e manchas principais.	179
Apêndice H - Tabelas de cálculo de D pelo método perímetro-área (PAR) para as áreas urbanizadas totais e manchas principais.	189
Apêndice I - Exemplo de tabelas de cálculo para o método da densidade de ocupação (DOC). ..	194
Apêndice J - Comparação dos métodos de cálculo de D por mínimos quadrados para as manchas urbanas principais.	196
Apêndice K - Assinaturas fractais das cidades para o ano de 2010, comparadas ao ano de 2005.	199
Apêndice L - Tabelas resultantes da análise de agrupamento, utilizando os valores de D para a mancha principal pelo método DOC e índice de validação para a definição do número de grupos a ser considerado.	203
Apêndice M - Representações das cidades médias segundo perspectiva com base na composição colorida da <i>imagem Landsat TM 5, MDE, hidrografia e rede viária</i> , de acordo com os grupos de fragmentação urbana	208

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<i>ASTER GDEM</i>	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Global Digital Elevation Model</i>
<i>CAD</i>	<i>Computer Aided Design</i>
<i>CV</i>	<i>Coeficiente de Variação</i>
<i>D</i>	<i>Dimensão Fractal</i>
<i>DER</i>	<i>Departamento de Estradas de Rodagem</i>
<i>DOC</i>	<i>Densidade de Ocupação</i>
<i>DOC_{uc}</i>	<i>Densidade de Ocupação para o Último Círculo</i>
<i>DP</i>	<i>Desvio Padrão</i>
<i>IBGE</i>	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
<i>IGG</i>	<i>Instituto Geográfico e Geológico</i>
<i>IF</i>	<i>Índice de Forma</i>
<i>INPE</i>	<i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i>
<i>IPEA</i>	<i>Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada</i>
<i>IPPLAP</i>	<i>Instituto de Pesquisas e Planejamento de Piracicaba</i>
<i>IPT</i>	<i>Instituto de Pesquisas Tecnológicas</i>
<i>LANDSAT</i>	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
<i>MDE</i>	<i>Modelo Digital de Elevação</i>
<i>MMQ</i>	<i>Método de Mínimos Quadrados</i>
<i>ONU</i>	<i>Organização das Nações Unidas</i>
<i>PAR</i>	<i>Perímetro-Área</i>
<i>PIB</i>	<i>Produto Interno Bruto</i>
<i>PRE</i>	<i>Perímetro-Resolução</i>
<i>REI</i>	<i>Região de Entorno Imediato</i>
<i>RMSE</i>	<i>Root Mean Square Error (Raiz do Erro Médio Quadrático)</i>
<i>RMSP</i>	<i>Região Metropolitana de São Paulo</i>
<i>RMSSTD</i>	<i>Roat Mean Square Standard Deviation (Raiz Quadrada do Desvio Padrão)</i>
<i>S</i>	<i>South</i>
<i>SAD</i>	<i>South American Datum</i>

<i>SEADE</i>	<i>Sistema Estadual de Análise de Dados</i>
<i>SIG</i>	<i>Sistema de Informação Geográfica</i>
<i>TM</i>	<i>Thematic Mapper</i>
<i>UN-HABITAT</i>	<i>United Nations Human Settlements Programme</i>
<i>UTM</i>	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
<i>W</i>	<i>West</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A	<i>Área ocupada ou área em estudo</i>
$A(r)$	<i>Área total ocupada por cada círculo no método DOC</i>
C	<i>Uma constante, correspondente ao valor do intercepto, estimada por regressão linear</i>
H_0	<i>Hipótese nula</i>
H_1	<i>Hipótese alternativa</i>
I_a	<i>Índice de afastamento</i>
km	<i>Quilômetro</i>
km^2	<i>Quilômetro quadrado</i>
L^2	<i>Comprimento máximo da forma urbana ao quadrado</i>
$L(r)$	<i>Perímetro da área urbanizada em uma determinada resolução espacial (r)</i>
Ln	<i>Logaritmo natural</i>
Log	<i>Logaritmo</i>
m	<i>Metros</i>
m^2	<i>Metros quadrados</i>
n	<i>Número de pontos que representam o fenômeno ou unidades de observação</i>
$N(R)$	<i>Quantidade de pixels ocupados em um círculo de raio (R)</i>
P	<i>Perímetro</i>
R	<i>Escala R de valores que representa padrões de agrupamento</i>
re	<i>Média das distâncias esperada entre os pontos</i>
ra	<i>Média de todas as distâncias entre os pontos</i>
r_s	<i>Coefficiente de correlação de Spearman</i>
$\bar{X}$	<i>Média dos valores de D</i>
Z	<i>Valores normalizados de D e DP das altitudes para cada cidade</i>
$\rho(R)$	<i>Densidade de ocupação de um objeto de raio R, a partir do centro urbano</i>
$\sum (X_t - X_{t-1})$	<i>Soma das diferenças entre os valores de D no tempo ou no espaço</i>
$\sum d^2$	<i>Soma dos valores quadrados das diferenças entre os valores das variáveis ordenadas (ranking)</i>
$\%$	<i>Percentual</i>

Capítulo 1.

INTRODUÇÃO

Estudos sobre áreas urbanas, especialmente quanto a sua expansão, são bastante recorrentes em pesquisas científicas. Embora sejam numerosas as pesquisas sobre o tema, aquelas que têm como objeto de estudo o processo espacial de expansão urbana apresentam lacunas quanto às metodologias de abordagem da forma urbana.

A importância de pesquisas que envolvam áreas urbanas se justifica pelo fato de que estas áreas abrigam a maior parte da população do planeta; concentram o controle da economia mundial; gerenciam os fluxos de capital financeiro, recursos naturais e manufaturados; capital humano, informação, conhecimento tecnológico e científico e poder de decisão. Assim, os empreendimentos humanos dependerão de sua correta administração e gerenciamento (ALMEIDA, 2003).

Os métodos comumente utilizados na identificação e análise das áreas urbanas têm se mostrado insuficientes, pois não contemplam a morfologia urbana, os vazios urbanos e os efeitos de borda do perímetro urbano, uma vez que tomam como base os pressupostos da geometria euclidiana. Os métodos e técnicas convencionais não conseguem identificar a diversidade e a complexidade dos fatores que influenciam na forma geométrica dos fenômenos espaciais (LONGLEY; BATTY, 1989). De acordo com Mandelbrot (1983), idealizador da teoria fractal, a geometria euclidiana descreve as estruturas uniformes, regulares e contínuas, por meio de representações que buscam correspondência de igualdade e similaridade entre os objetos. Por outro lado, a geometria fractal trata das estruturas fragmentadas, não-uniformes, irregulares e descontínuas, ou seja, estruturas naturais que preservam a riqueza original dos fenômenos.

As cidades exibem formas irregulares e complexas, que se diferenciam ao longo do tempo e do espaço, de acordo com as influências do meio em que se inserem, tornando-se impossível adequá-las à regularidade da geometria euclidiana. Esta pesquisa propõe utilizar a abordagem fractal, sobretudo, a dimensão fractal, como uma categoria de análise espacial das formas urbanas e de sua dinâmica temporal.

A aproximação das formas urbanas à geometria fractal permite identificar maior similaridade entre o modelo em estudo e a forma real. Por meio da dimensão fractal (D), a

expansão urbana pode ser mensurada com relação à fragmentação do preenchimento urbano, no tempo e no espaço.

As cidades passam por várias fases ao longo de seu desenvolvimento, o que reflete diretamente na morfologia de seu perímetro. Compreender seu processo de crescimento urbano com maior aproximação do fenômeno à forma real, considerando-se também a irregularidade das formas urbanas - possibilitada pela dimensão fractal - poderá contribuir com ações de planejamento urbano, com vistas à melhoria na distribuição de serviços à comunidade.

Cidades médias caracterizam-se por apresentar maiores taxas de crescimento urbano e, conseqüentemente, por maiores alterações em sua morfologia urbana. Este fato tem sido observado, principalmente nas últimas décadas, quanto às novas tendências de urbanização, que confirmam a necessidade de metodologias para a compreensão da dinâmica espacial de expansão urbana.

Esta dinâmica espacial particular, associada à importância econômica e social desses centros urbanos - que tendem a abrigar parcela significativa de população, em vista dos atrativos de qualidade de vida - constituiu-se em elemento motivador para sua seleção como objeto de estudo. Cidades médias do estado de São Paulo foram selecionadas a partir de critérios de tamanho, demográficos e físico-geográficos. A dinâmica espacial e temporal dessas áreas urbanas foi caracterizada considerando diferentes fases dos processos de urbanização e industrialização do estado de São Paulo e do Brasil; em seguida, analisada por meio de métodos para a estimativa da dimensão fractal (D). A caracterização das cidades com base em D subsidiou a identificação de padrões espaciais para a fragmentação urbana, considerando-se a forma urbana, aspectos físico-geográficos e demográficos que caracterizam os sítios urbanos.

A busca por padrões de fragmentação apoiou-se na análise da influência que os aspectos físico-geográficos ainda desempenham na construção da morfologia urbana, aliados a demais fatores socioespaciais, como ações de planejamento e expansão das cidades, especulação imobiliária e dispersão urbana. A forma de expansão das cidades foi direcionada, inicialmente, no passado, por elementos físicos, como, por exemplo, a posição inicial da ocupação urbana - áreas de vale ou de maior elevação. As características físicas ainda atuam na definição dos eixos de crescimento e expansão de cidades, em maior ou menor nível, a depender das características locais de cada sítio urbano.

Nesta perspectiva, a presente pesquisa se insere na área de análise espacial, no sentido de

agregar métodos e técnicas da cartografia, dos sistemas de informação geográfica e do sensoriamento remoto. Agrega ainda, conceitos e temas da geografia urbana e do planejamento urbano. A integração dessas áreas do conhecimento permitiu uma análise de cunho regional, portanto, de situação geográfica, a partir da dinâmica morfológica, no espaço e no tempo, do grupo de cidades selecionadas, com base na dimensão fractal como categoria de análise.

1.1 Objetivos da pesquisa

1.1.1 Objetivo geral

Esta pesquisa teve como objetivo central analisar a dinâmica evolutiva da expansão urbana de um conjunto de cidades médias do estado de São Paulo, por meio de métodos de estimativa da dimensão fractal. A análise espacial do universo de cidades que compõe esta pesquisa relaciona características fractais a possíveis padrões de fragmentação urbana, a partir da diversidade apresentada pelas áreas urbanas selecionadas, considerando-se aspectos históricos, demográficos e físico-geográficos.

1.1.2 Objetivos específicos

A partir do objetivo principal definido para esta pesquisa, foram delimitados os seguintes objetivos específicos:

1. Delimitar a expansão urbana apresentada pelas cidades médias, para quatro datas de análise - 1938, 1985, 1995 e 2005;
2. Analisar a dinâmica espacial da morfologia das cidades ao longo da série temporal, a partir de métodos de estimativa da dimensão fractal;
3. Identificar e comparar a evolução do comportamento fractal em cada cidade, a fim de identificar as cidades com padrões similares de fragmentação da forma urbana;
4. Verificar e apontar as possíveis tendências do crescimento dessas áreas urbanas com base na análise fractal, considerando-se os padrões urbanos identificados e também o comportamento de D em uma nova data de análise (2010);
5. Avaliar a utilização de metodologias vinculadas à dimensão fractal, na análise da dinâmica espacial de cidades médias, identificando-se assim, possíveis contribuições às ações de planejamento urbano.

1.2 Hipóteses da pesquisa

1. A integração da dimensão fractal de cidades médias à análise espacial possibilita a compreensão da dinâmica de crescimento urbano a partir da fragmentação da borda urbana, ao longo de uma série histórico-temporal.
2. O crescimento e o preenchimento urbanos identificados pelo comportamento fractal das cidades estão diretamente vinculados às diferentes fases do processo histórico de urbanização.
3. A partir da identificação de padrões de fragmentação urbana, é possível identificar possíveis tendências de crescimento para as cidades, por meio da análise fractal.
4. A dimensão fractal mostra a contribuição do quadro físico regional à evolução da forma urbana das cidades e a relação entre esta forma e o uso e ocupação do solo na região de entorno imediato.

1.3 Apresentação da pesquisa

O tema central da pesquisa, aliado aos objetivos propostos e às hipóteses de trabalho compreenderam a primeira parte deste capítulo inicial de **Introdução**. Adicionalmente, é apresentada a estruturação dos demais capítulos que se propõem a responder o objetivo desta proposta.

O **Capítulo 2** contextualiza a temática da pesquisa no âmbito da análise espacial. Trata da seleção do objeto de estudo, apresentando os critérios definidos e o processo de seleção das cidades médias. Apresenta ainda, a organização do banco de dados da pesquisa. Esta etapa é constituída pela coleta de materiais espaciais e a definição do intervalo temporal, com base no objeto de estudo, bem como pelo processamento digital e consequente organização dos dados espaciais.

A partir da base de dados do Capítulo 2, as demais etapas da pesquisa foram desenvolvidas. Assim, o **Capítulo 3** trata da identificação das formas urbanas e sua análise relacionada com o processo histórico de urbanização do estado de São Paulo, considerando-se a evolução das formas urbanas ao longo do tempo. Além disso, neste capítulo é apresentado um teste de dependência espacial para mostrar o processo espacial decorrente das ações de interesses imobiliários na expansão da morfologia urbana.

As formas urbanas para cada cidade e as datas de análise compreendem a base para a obtenção da dimensão fractal, segundo três métodos de cálculo, selecionados e apresentados no **Capítulo 4**. Este capítulo introduz a dimensão fractal como categoria de análise e monitoramento de formas irregulares, no caso, as formas urbanas; apresenta os métodos selecionados e seus respectivos processos de cálculo; e, por fim, caracteriza as formas urbanas a partir dos resultados calculados de dimensão fractal em cada método.

Uma análise comparativa entre os métodos de cálculo de D é apresentada no **Capítulo 5**, contemplando a variação dos valores de D pela média, desvio padrão e coeficiente de variação, no período em estudo. Um teste de mínimos quadrados foi aplicado aos resultados com intuito de verificar o método que permite maior separação entre os valores, e então, maior variabilidade temporal. Neste contexto, D foi estimado para uma nova data de análise, o ano de 2010. Ainda no Capítulo 5, o índice de forma foi calculado, analisado e correlacionado aos valores de D .

No **Capítulo 6**, são apresentados os padrões de crescimento urbano que caracterizam as formas urbanas do grupo de cidades, a partir dos valores de D para o método de cálculo que apresentou maior variação temporal. Para isto, foi utilizada análise de agrupamento considerando-se cada data de análise, e em seguida, a dinâmica do período, que se constituiu nos padrões de fragmentação urbana. Na segunda parte deste capítulo, os padrões de fragmentação foram caracterizados, com base nos atributos dos sítios urbanos, abordando aspectos da forma urbana, físico-geográficos e demográficos. Por fim, são apresentadas possíveis tendências de crescimento para cada padrão, incluindo os valores de D obtidos para o ano de 2010, apresentados no Capítulo 5.

O capítulo de **Considerações Finais** da pesquisa sintetiza as principais conclusões, relaciona os resultados obtidos às hipóteses lançadas no capítulo introdutório, avalia a utilização da metodologia proposta e aponta os desafios que ainda permanecem, juntamente com sugestões para futuras pesquisas sobre o tema deste doutoramento.

Capítulo 2.

CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA, SELEÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO E ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS ESPACIAL

2.1 Contextualização da pesquisa

O crescimento acelerado de novos usuários de sistemas de informação geográfica (SIG) bem como de novos *softwares* constitui-se, conforme Ferreira (2007), em um indicador de que houve avanços em direção a uma sociedade informacional. O SIG passou a ser considerado um importante instrumento na aquisição, elaboração de análises e representação de informações sobre o espaço geográfico. Aglutina, de acordo com Matias (2003), conhecimentos e práticas tecnológicas de diversas áreas do conhecimento científico e permite tratar dados de diversas fontes (redes de monitoramento por satélites, levantamentos de campo, mapeamentos sistemáticos e temáticos com escala de abrangência do local ao global), em um mesmo ambiente de trabalho, o qual tem se tornado cada vez mais acessível em termos financeiros e também tecnológicos.

Entretanto, o desenvolvimento do SIG ocorreu a partir dos pressupostos da análise espacial, que incluem um conjunto de diversas funções e técnicas de análise. Esta pesquisa insere-se no contexto da análise espacial, em vista dos métodos e técnicas de análise utilizados para o estudo das formas urbanas. Sua contribuição relaciona-se com as áreas de geografia urbana e de planejamento urbano.

Neste contexto, são destacadas, inicialmente, as bases conceituais da pesquisa, posteriormente, a metodologia de seleção do objeto de estudo, a partir de critérios considerados satisfatórios diante dos objetivos propostos, e também, em conformidade com as hipóteses lançadas. Após a seleção do objeto de estudo, foram desenvolvidas as etapas de coleta de dados e informações espaciais que permitiram delimitar as datas de análise e elaborar a base de dados espacial. Este capítulo trata do detalhamento de cada uma destas fases de estruturação da pesquisa, conforme a síntese dos procedimentos metodológicos da Figura 2.1.

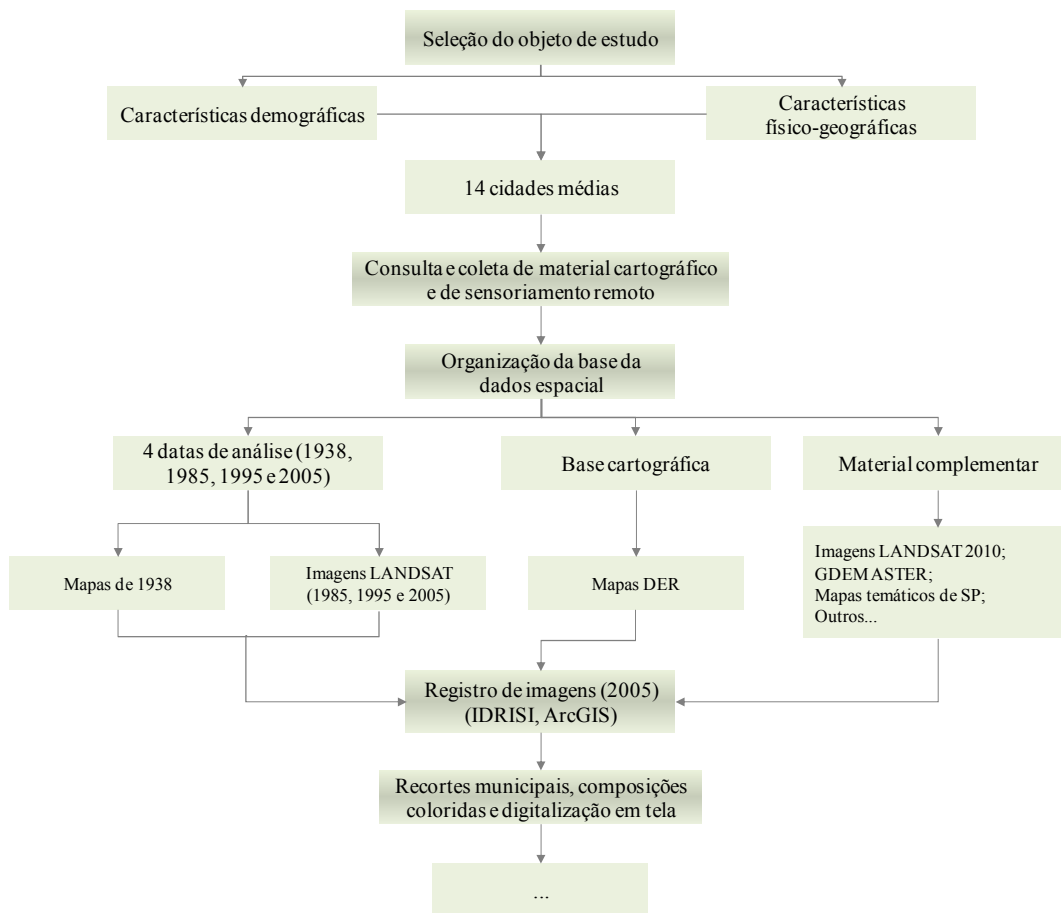


Figura 2.1 - Procedimentos de seleção das áreas de estudo e organização da base de dados espacial.

2.1.1 A escola de análise espacial e as funções de análise do espaço

O período compreendido entre 1960 e 1970, de acordo com Gould (1969) citado por Christofletti (1976), caracterizou-se por grande fermentação intelectual, talvez a mais intensa da história da geografia. Neste período, destacaram-se a verificação dos procedimentos utilizados até então, novos ângulos quanto ao tratamento de antigos problemas e o envolvimento metodológico da análise quantitativa de problemas que antes eram tratados de maneira descritiva e verbal.

A dicotomia entre corológico e espacial remonta a esta época a partir de trabalhos de Sack na década de 1970, conforme ressalta Ferreira (2007). No entanto, esta temática já havia sido sistematizada na década anterior por Berry (1964), quando apresenta os conceitos de situação (espacial) e sítio (corológico).

Enquanto a escola corológica trata da natureza e das relações entre lugares ou regiões específicas, a escola espacial preocupa-se com o arranjo geométrico de padrões de fenômenos (SACK, 1974). De acordo com Ferreira (2007), o arcabouço da visão corológica está no

pensamento da escola francesa liderada por Vidal de La Blache e pela antropogeografia alemã praticada por Ratzel, no final do século XIX. Já a noção de arranjo geométrico refere-se à parte da ciência geográfica praticada pela cartografia, pela análise espacial e pelo sistema de informação geográfica, cujo elemento comum de interface é o mapa.

Os conceitos de sítio e de situação estão diretamente relacionados a esta pesquisa, sobretudo a situação geográfica, uma vez que a abordagem é espacial. O sítio refere-se a uma visão vertical, às características locais descritas por atributos corológicos, limita-se ao lugar. A situação é horizontal e associa-se a propriedades de interdependência regional, a conexões entre os lugares e à interação espacial (BERRY, 1964; FERREIRA, 2007).

Considerando estas definições, a situação vincula-se à escola espacial, constituindo-se também na base de desenvolvimento do próprio sistema de informação geográfica. Segundo Ferreira (2007), o SIG é resultado da escola espacial, o estudo da distribuição espacial dos fenômenos, que nada mais é do que o objetivo central da escola espacial.

A evolução representada a partir do período dominado pela quantificação dos fenômenos geográficos (décadas de 1960 e 1970), até sua visualização possibilitada pelo SIG (período atual), ocorreu por meio da utilização de técnicas de análise espacial residentes no SIG. A difusão do uso dessas novas tecnologias possibilitou grandes avanços em diferentes campos do conhecimento científico.

Ferreira (2007) refere-se à análise espacial como o coração do SIG, uma vez que as técnicas de análise espacial disponíveis nestes sistemas foram concebidas sem a necessidade prioritária de computadores. De acordo com o autor, o objetivo principal, ainda na década de 1960, era que a computação produzisse sistemas que permitissem maior agilidade na análise de grandes quantidades de dados, a partir de modelos já estruturados na teoria.

O grande desenvolvimento e utilização do SIG atualmente, sobretudo no sentido de aglutinar dados e espacializá-los, não significa a prática de análise espacial. Isto porque, de acordo com Berry (1996), o termo análise espacial tem assumido várias definições ao longo do tempo e nas diferentes disciplinas. A definição de análise espacial, no entanto, envolve operações, cujos resultados dependem de sua posição (arranjo), caso os dados se alterem, haverá mudanças nos resultados. Então, a análise espacial relaciona-se com a obtenção de nova informação espacial, não a simples reembalagem de dados existentes.

No escopo da análise espacial, Berry (1964) propôs uma forma eficiente de organizar um

corpo de dados, utilizando uma grade regular ou matriz, a denominada matriz de Berry. Cada característica nesta matriz se refere a uma linha, e cada lugar corresponde a uma coluna. A intersecção de uma determinada linha com uma determinada coluna define uma célula, e cada célula compreende um fato geográfico que corresponde às características identificadas na linha e o lugar na coluna.

Assim, a distribuição das células em uma linha, isto é, o arranjo espacial de uma característica em todos os lugares (todas as colunas), corresponde à distribuição espacial de uma característica e, então, a uma situação geográfica. O oposto, a análise de uma coluna (lugar) e todas as linhas (características) corresponde a uma caracterização de um lugar específico, um sítio geográfico.

Nesta perspectiva, o SIG assume o papel de importante instrumento na implementação de métodos de análise espacial, tornando-os mais acessíveis a uma ampla gama de usuários, e possibilitando sua maior utilização em tomadas de decisão e também no suporte de pesquisas científicas (GOODCHILD; LONGLEY, 1999).

Neste breve contexto relativo à abordagem espacial, é possível destacar sua efetiva importância para a geografia, quanto à busca pela compreensão da organização espacial dos fenômenos, a identificação de padrões espaciais, que é objeto de estudo desta ciência. A análise espacial, especificamente suas funções de análise, permite entender o ordenamento do espaço e, assim, auxilia na proposição de planos de ação, no caso de estudos temporais que façam referência à evolução de um fenômeno, como, por exemplo, a expansão das formas urbanas, caso desta pesquisa.

De acordo com Berry (1964), dentro da totalidade de ecossistemas mundiais, dos quais o homem é a parte dominante, ele cria para si muitos ambientes. Estes ambientes não são estudados em sua totalidade pelos geógrafos, somente em seus aspectos espaciais. Na perspectiva citada pelo autor, o estudo morfológico das cidades encontra sustentação, sobretudo em se tratando de um estudo com abordagem regional ou de situação geográfica.

2.1.2 Aspectos conceituais

Em vista das grandes discussões que envolvem o conceito de cidade média e de porte médio, torna-se conveniente ressaltar sua utilização nesta pesquisa. Além de outras terminologias que também são utilizadas ao longo do texto, como urbanização, forma e morfologia urbana.

O conceito de cidade média envolve uma extensa e complexa discussão, a qual está relacionada a muitas pressuposições teóricas que não constituem foco deste trabalho. Não há consenso, segundo Sposito (2006), sobre a noção e parâmetros dos termos “cidade média” e “cidade de porte médio”. No Brasil, cidades de porte médio são denominadas com base em um intervalo populacional - entre 50.000 e 500.000 habitantes. Entretanto, a autora afirma que nem todas as “cidades de porte médio” são, de fato, cidades médias, pois outros elementos, além dos indicadores demográficos, deveriam ser analisados, opinião compartilhada por Branco (2006). De acordo com Sposito (2006, p. 175), as cidades médias são “aquelas que desempenham papéis regionais ou de intermediação no âmbito de uma rede urbana, considerando-se, no período atual, as relações internacionais e nacionais que têm influência na conformação de um sistema urbano”.

As definições para cidade média e seu papel na rede urbana constituem uma problemática relevante no âmbito da geografia urbana (BRANCO, 2006). Não se constitui em objetivo desta pesquisa, discutir o conceito, e sim, analisar a expansão da forma urbana e relacioná-la a aspectos físico-geográficos que permitam caracterizar possíveis padrões de fragmentação. Para isto, foi adotado um intervalo populacional urbano, no caso, entre 100.000 e 500.000 habitantes.

Este intervalo é utilizado ou mencionado por vários autores, como Braga (2001; 2005), Almeida (2003), Andrade e Serra (1998; 2001), Andrade, Santos e Serra (2000). Braga (2004) afirma que no Brasil, grande parte da bibliografia recente utiliza municípios na faixa populacional entre 100.000 e 500.000 habitantes, que não sejam metropolitanos ou capitais estaduais. O autor ressalta que não há consenso em se considerar a população total do município ou a população urbana. Neste contexto, o termo cidade média foi adotado para esta pesquisa e o intervalo populacional - entre 100.000 e 500.000 habitantes - corresponde à população urbana das cidades selecionadas.

Com relação ao termo urbanização, esta pesquisa faz uso nos dois sentidos também adotados por Reis Filho (2006). No sentido físico, como extensão da ocupação urbana, expansão da área urbanizada, e no sentido social e demográfico de urbanização, como por exemplo a transferência da população rural para as áreas urbanas, a adoção de modos de vida urbanos, as migrações entre áreas urbanas.

Quanto aos termos forma urbana e morfologia urbana, Lamas (2000) ressalta que, para falar de uma forma urbana, é preciso relacioná-la a um momento preciso. Constitui um aspecto da realidade ou se refere ao modo como se organizam os elementos morfológicos que constituem e

definem o espaço urbano. É a materialização dos aspectos de organização funcional e quantitativa e dos aspectos qualitativos e figurativos.

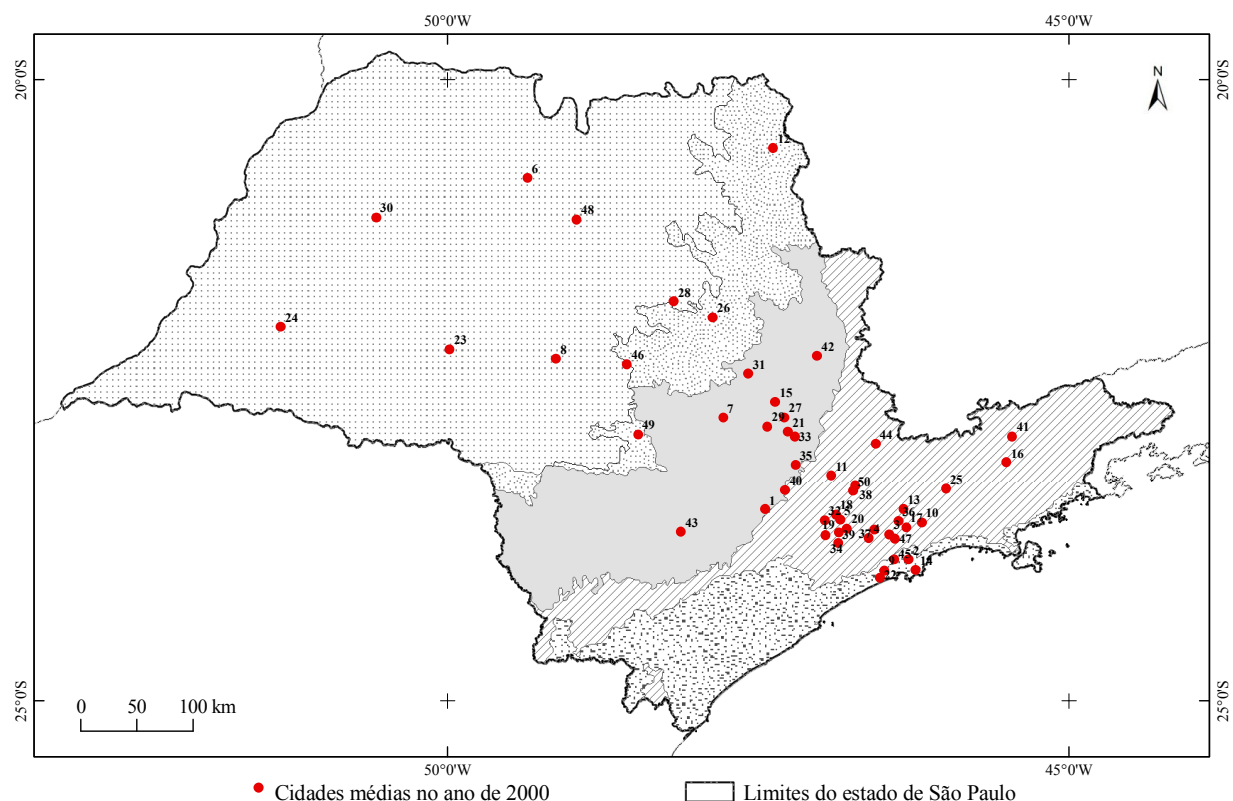
Já a morfologia urbana refere-se ao estudo das cidades no tempo. As cidades, segundo o autor, evoluem agregando modificações a suas formas. Assim, a morfologia designa o estudo da configuração e da estrutura exterior de um objeto, ou então das formas, relacionando-as com os fenômenos que as originaram (LAMAS, 2000).

2.2 Seleção do objeto de estudo

Os critérios para a seleção do objeto de estudo, que compreendeu um conjunto de cidades médias, foram definidos a partir das características demográficas para o ano de 2000 e dos aspectos físico-geográficos, especificamente relacionados ao relevo. Assim, constituíram o objeto de estudo cidades com população urbana no intervalo populacional entre 100.000 e 500.000 habitantes, selecionadas com base nas diferenças físico-geográficas.

A exemplo de Andrade e Lodder (1979), o intervalo populacional para a escolha das cidades médias que comporiam este estudo foi determinado sem a pretensão de ser definitiva. Estes autores utilizaram o intervalo populacional entre 50.000 e 250.000 habitantes com base em dados do censo demográfico para o ano de 1970. A definição do intervalo populacional da presente pesquisa considerou o crescimento populacional das cidades médias.

A etapa inicial deste processo de seleção compreendeu a consulta do total de cidades com população urbana no intervalo populacional adotado, no ano de 2000. Esta pesquisa foi realizada no sítio da Fundação SEADE, tendo sido identificadas 50 cidades no referido intervalo populacional (Figura 2.2). Na representação da Figura 2.2, observa-se que há maior concentração de cidades entre 100.000 e 500.000 habitantes nas áreas próximas às regiões metropolitanas do estado de São Paulo.



Divisão Geomorfológica

Cuestas Basálticas
 Depressão Periférica
 Planalto Atlântico
 Planalto Ocidental
 Província Costeira

Cidades entre 100.000 e 500.000 habitantes (2000)

1 - Sorocaba	11 - Jundiaí	21 - Sumaré	31 - Rio Claro	41 - Pindamonhangaba
2 - Santos	12 - Franca	22 - Praia Grande	32 - Itapevi	42 - Mogi Guaçu
3 - Mauá	13 - Itaquaquecetuba	23 - Marília	33 - Hortolândia	43 - Itapetininga
4 - Diadema	14 - Guarujá	24 - Presidente Prudente	34 - Cotia	44 - Bragança Paulista
5 - Carapicuíba	15 - Limeira	25 - Jacaré	35 - Indaiatuba	45 - Cubatão
6 - São José do Rio Preto	16 - Taubaté	26 - São Carlos	36 - Ferraz de Vasconcelos	46 - Jaú
7 - Piracicaba	17 - Suzano	27 - Americana	37 - São Caetano do Sul	47 - Ribeirão Pires
8 - Bauru	18 - Barueri	28 - Araraquara	38 - Francisco Morato	48 - Catanduva
9 - São Vicente	19 - Embu	29 - Santa Bárbara d'Oeste	39 - Itapeçerica da Serra	49 - Botucatu
10 - Mogi das Cruzes	20 - Taboão da Serra	30 - Araçatuba	40 - Itu	50 - Franco da Rocha

Figura 2.2 - Cidades do estado de São Paulo com população urbana entre 100.000 e 500.000 habitantes em 2000.

Fonte: Adaptado de SEADE (2008); IPT (1981).

As cidades selecionadas foram ordenadas e agrupadas segundo seu tamanho populacional urbano, ou seja, pelos dados de população urbana em 2000, conforme mostra a Figura 2.3. Para a formação dos grupos de cidades, foi utilizado o método de intervalos por quebras naturais, uma vez que este método permite ao usuário definir os limites de classe de acordo com as rupturas que os próprios dados apresentam.

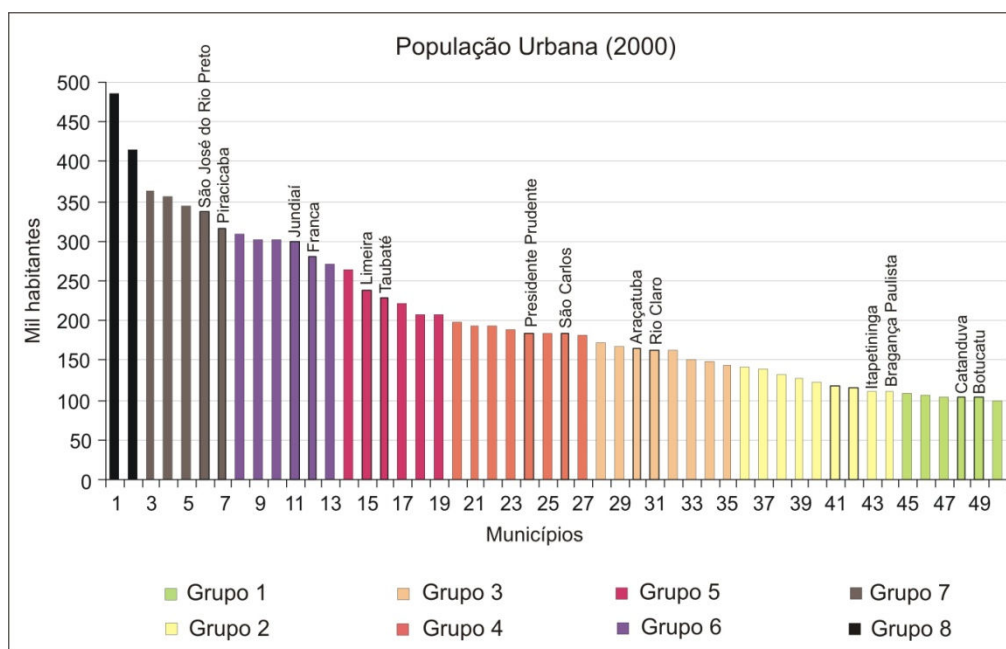


Figura 2.3 - Grupos de cidades médias paulistas com população urbana semelhante em 2000*.

Fonte: Adaptado de SEADE (2008).

* A numeração do eixo das abscissas (X) do gráfico corresponde à sequência das 50 cidades da legenda apresentada na Figura 2.2.

Após a formação dos oito grupos populacionais, optou-se pela exclusão do Grupo 8, uma vez que correspondeu às cidades de Santos e Sorocaba, as quais apresentam características predominantes de cidade grande, com populações urbanas superiores a 400.000 habitantes ainda no ano de 2000. A partir dos dados populacionais e do mapa geomorfológico do estado de São Paulo (IPT, 1981), foram selecionadas duas áreas urbanas em cada um dos sete grupos populacionais, totalizando 14 cidades médias. Estas cidades corresponderam a diferentes faixas populacionais urbanas e a distintos aspectos físicos, representando, por sua vez, o conjunto das cidades médias paulistas (Figura 2.4).

Para a seleção dos pares de cidades em cada grupo populacional, foi considerada a seguinte sequência de passos:

- ✓ Não pertencer às regiões metropolitanas de São Paulo, Campinas ou Santos;
- ✓ Pertencer a unidades geomorfológicas distintas;
- ✓ Apresentar pequena variação populacional urbana no grupo a que pertencem¹.

Cabe salientar que, no decorrer da pesquisa, foi verificada a conurbação em dois casos,

¹ Para maiores detalhes, consultar o Apêndice A, que traz os dados do procedimento de seleção do objeto de estudo.

entre as cidades que compõem o estudo: Jundiaí com a área urbana de Várzea Paulista, e Taubaté com Tremembé. Por este motivo, e considerando a continuidade espacial do fenômeno urbano, optou-se pela inclusão destas duas áreas urbanas ao objeto de estudo, embora distintas quanto aos critérios de seleção. Dessa forma, continuaram compondo a pesquisa 14 áreas urbanas², entre elas, os aglomerados urbanos³ de Jundiaí-Várzea Paulista e Taubaté-Tremembé.

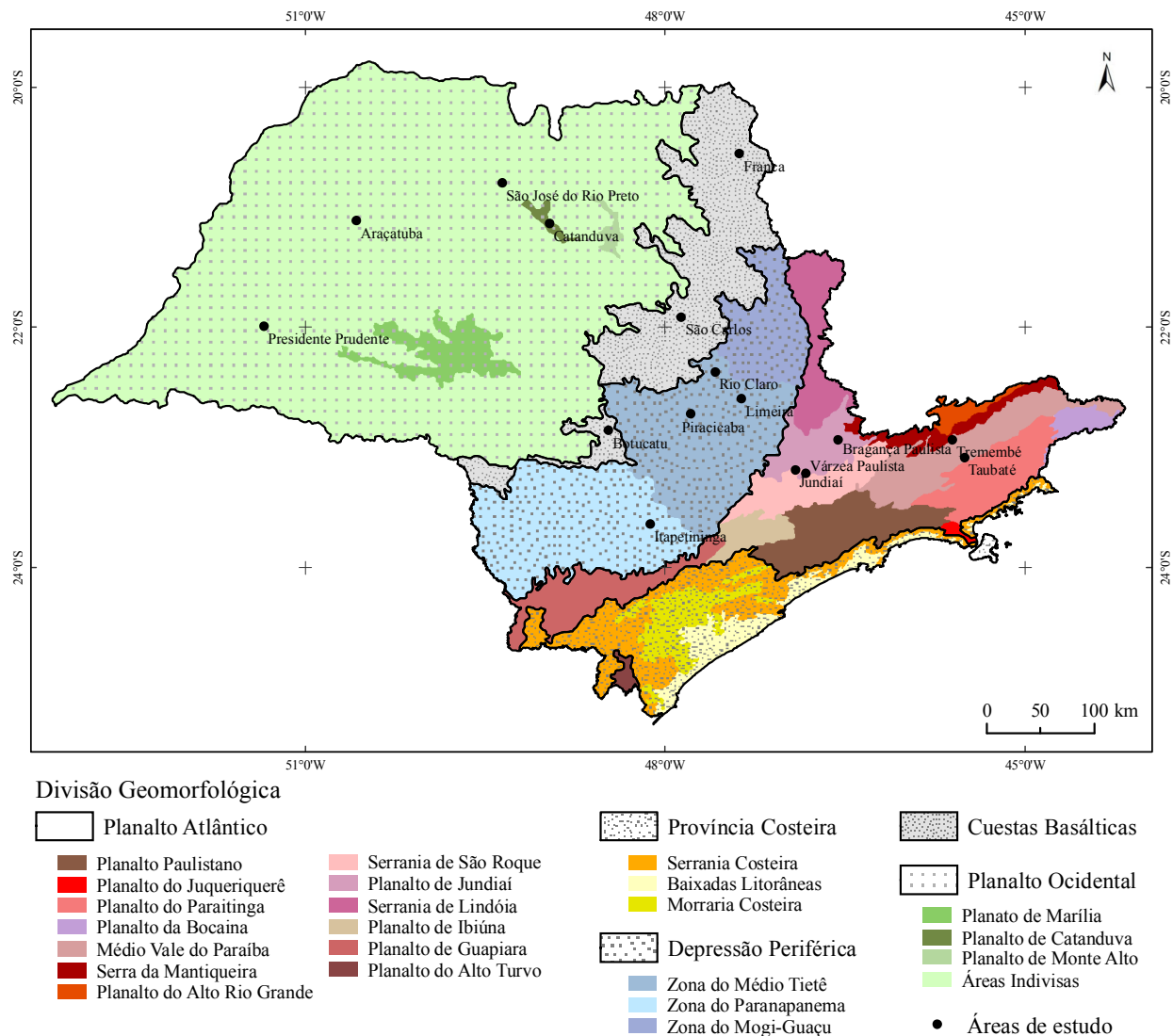


Figura 2.4 - Divisão geomorfológica do estado de São Paulo e localização das cidades em estudo.

Fonte: IPT (1981), com adaptações.

Com relação à extensão territorial dos municípios que compreendem as áreas urbanas

² Uma breve caracterização das cidades que compõem o objeto de estudo está no Apêndice B.

³ De acordo com o IBGE, constituem espaços urbanos que congregam mais de uma cidade, notadamente cidades que tendem a iniciar o processo de conurbação.

selecionadas, verifica-se uma grande variação em tamanho de área ocupada no estado de São Paulo (Figura 2.5). Itapetininga possui a maior área municipal (1.792,08 km²), enquanto Catanduva ocupa apenas 292,24 km². Ainda com base na Figura 2.5, é possível apontar uma separação quanto à extensão territorial. Seis municípios possuem área superior a 800 km², e o restante encontra-se abaixo desta faixa.

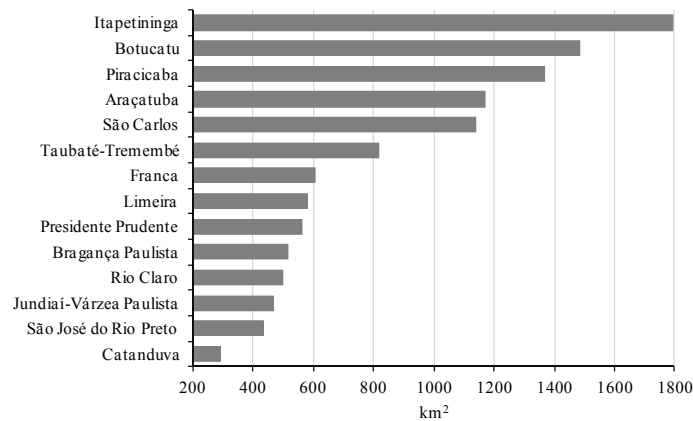


Figura 2.5 - Extensão territorial dos municípios que compõem o objeto de estudo.

Fonte: SEADE (2011).

*As áreas municipais de Jundiaí e Várzea Paulista, e Taubaté e Tremembé estão somadas.

O grupo de cidades médias selecionado foi considerado satisfatório para responder aos objetivos e às hipóteses levantadas nesta pesquisa. As cidades selecionadas compreendem diferenças de relevo, embora possuam semelhanças quanto ao seu contingente populacional urbano, permitindo que se verifique a possível existência de padrões espaciais de ocupação urbana bem como a influência das características físicas na configuração urbana dessas cidades.

2.3 Material

Após a definição do objeto de estudo, passou-se à fase de pesquisa e coleta de material cartográfico, o qual permitiu a delimitação do intervalo temporal utilizado, e então, as respectivas datas de análise. A identificação e análise da expansão urbana das cidades médias selecionadas para esta pesquisa foi realizada em quatro datas de análise, compreendendo o período entre os anos de 1938 e 2005. A definição deste período relacionou-se com a disponibilidade de material cartográfico, sobretudo para o período anterior a 1980, já que a partir desta data, imagens

procedentes do satélite LANDSAT estavam disponíveis. O ano de 1938 constituiu a primeira data de análise e representa o panorama espacial mais próximo da fase inicial de ocupação urbana. As outras três datas referem-se aos anos de 1985, 1995 e 2005, elaboradas com imagens do satélite LANDSAT TM 5.

As datas de análise selecionadas foram consideradas satisfatórias para os objetivos da pesquisa, uma vez que abarcam o período anterior ao êxodo rural mais intenso, na década de 1960, e as demais datas concomitantes e posteriores à fase de rápida expansão urbana e industrial das décadas de 1970 e 1980, sobretudo no estado de São Paulo. O grande intervalo temporal entre as datas de análise de 1938 e 1985 deveu-se à inexistência de material cartográfico com as mesmas características de elaboração e que contemplassem todas as áreas de estudo.

O material cartográfico e de sensoriamento remoto utilizado compreendeu:

- Mapas históricos dos municípios no ano de 1938: compõem o mapeamento dos municípios paulistas, realizado pelo Instituto Geográfico e Geológico (IGG), na escala 1:100.000. Neste mapeamento, as áreas urbanas estão representadas em escalas que variam de 1:8.000 até 1:30.000. Este mapeamento compreendeu todos os municípios da pesquisa, exceto o município de Jundiaí.
- Representação da área urbana do município de Jundiaí para o ano de 1940, em mapa da Prefeitura Municipal do referido município, na escala aproximada de 1:30.000. A partir deste mapa, elaborado em data próxima ao mapeamento de 1938 do IGG, a primeira data de análise da série temporal proposta tornou-se completa.
- Imagens do satélite LANDSAT TM 5 para os anos de 1985, 1995 e 2005: inicialmente, realizou-se um levantamento no catálogo de imagens disponível no sítio eletrônico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para verificação da disponibilidade de imagens para as 14 cidades médias. Na sequência, buscou-se selecionar imagens que pertencessem a uma mesma época do ano. No entanto, esta tarefa tornou-se inviável por causa das condições atmosféricas que restringiram o número de imagens para alguns municípios, revelando até a indisponibilidade para algumas datas, como foi o caso do município de Taubaté. Assim, as imagens necessárias foram selecionadas a partir da ausência ou mínima quantidade de nuvens presentes na cena e de forma a agrupar os municípios contidos nas mesmas órbitas/pontos, reduzindo-se o número de imagens adquiridas e, conseqüentemente, utilizando-se imagens de mesma data para tais

municípios.

A Tabela 2.1 traz as informações de data e abrangência das 24 imagens obtidas, de acordo com as respectivas oito órbitas/pontos.

Tabela 2.1 - Cenas do satélite LANDSAT TM 5 para os anos de 1985, 1995 e 2005 selecionadas para os 14 municípios.

Órbita/ponto	1985	1995	2005	Municípios
218/76	22/06/1984*	09/09	01/09/2004*	Taubaté
219/76	31/05	28/06	13/10	Jundiaí Bragança Paulista
220/74	09/07	02/05	01/08	Franca
220/75	13/10	05/07	01/08	São Carlos Rio Claro
220/76	13/10	02/05	01/08	Botucatu Piracicaba Itapetininga Limeira
221/74	16/07	25/05	05/06	São José do Rio Preto
221/75	16/07	25/05	05/06	Catanduva
222/75	07/07	30/04	14/07	Araçatuba Presidente Prudente

*Cenas com muitas nuvens para o ano de 1985 e indisponíveis para o ano de 2005. Dessa forma, foram selecionadas cenas do ano anterior (1984 e 2004), respectivamente, para estas duas datas.

Adicionalmente, outros materiais foram selecionados para a pesquisa, os quais constituíram a base cartográfica e integraram análises específicas ao longo do desenvolvimento do trabalho:

- Mapas das diretorias de planejamento do Departamento de Estradas de Rodagem do estado de São Paulo (DER) para o ano de 2009, na escala 1:250.000: utilizado para a obtenção da base cartográfica das cidades que compõem o objeto de estudo. Este material contém informações mais recentes e com maior detalhamento quanto às vias de circulação e também à rede hidrográfica. A utilização deste material cartográfico ocorreu em consequência do grande número de cartas topográficas que seriam necessárias para esta etapa.
- Base cartográfica digital do município de Piracicaba, atualizada até o ano de 2011, com o detalhamento dos loteamentos urbanos, obtida junto ao Instituto de Pesquisas e Planejamento de Piracicaba (IPPLAP).
- Imagens do satélite LANDSAT TM 5 para o ano de 2010: oito cenas referentes às mesmas órbitas/pontos das imagens integrantes das datas de análise descritas

anteriormente.

- Dados do *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model* - ASTER GDEM, disponibilizados no ano de 2009: utilizados na elaboração das representações topográficas dos municípios.
- Mapa geomorfológico do estado de São Paulo, elaborado pelo IPT (1981).
- Outras informações e dados socioeconômicos obtidos via consulta aos sítios eletrônicos da Fundação SEADE, IPEA e IBGE.

A operacionalização da pesquisa, ou seja, todo o processamento das imagens e análises foi conduzida, principalmente, nos softwares IDRISI Taiga (EASTMAN, 2009) e ArcGIS 9.3. Salienta-se, também, o suporte do software Google Earth, uma vez que disponibiliza imageamento em maior resolução espacial, permitindo o esclarecimento de pontos de dúvida advindos das composições coloridas utilizadas na vetorização das áreas urbanas e em outras etapas de verificação ao longo da pesquisa. Outros softwares foram utilizados ocasionalmente em algumas etapas da pesquisa, além dos pacotes estatísticos MYSTAT 12 e MATLAB 7.8 (2009).

2.4 Organização da base de dados espacial

2.4.1 Processamento digital das imagens orbitais

2.4.1.1 Registro de imagens

As imagens orbitais do satélite LANDSAT, obtidas em formato GeoTIFF (previamente georreferenciadas), foram importadas para o software IDRISI Taiga, informando-se o sistema de referência espacial (UTM SAD 69) e o respectivo fuso/zona UTM (22 S ou 23 S), de acordo com as informações contidas nas imagens originais. A análise prévia das imagens, ou seja, a sobreposição das correspondentes órbitas/pontos, inicialmente nas três datas (1985, 1995 e 2005), revelou um deslocamento espacial entre elas, o que tornou necessário o registro das mesmas. Optou-se pelo registro imagem a imagem, tomando como controle a imagem de 2005, para todas as oito órbitas/pontos selecionadas.

O registro foi realizado no módulo *Resample* do IDRISI. Com o objetivo de melhor ajuste neste procedimento, adotou-se o polinômio de terceiro grau (função cúbica), para o qual são necessários no mínimo 12 pontos de controle. Para a coleta dos pontos de controle, foram

priorizados os cruzamentos de vias de circulação, pontes e feições construídas que tendem a permanecer ao longo do tempo, como os talhões agrícolas; na escassez destes, foram utilizados os encontros de canais fluviais. Foram coletados 32 pontos de controle, em média, para cada cena, buscando distribuí-los por toda a área de cada imagem, conforme exemplificado na Figura 2.6.

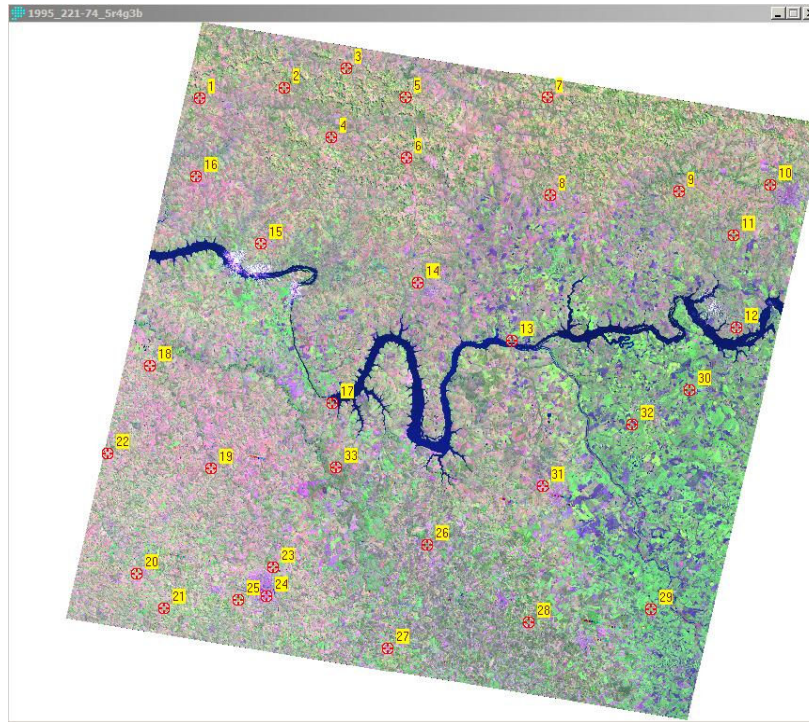


Figura 2.6 - Distribuição dos pontos de controle sobre a imagem LANDSAT TM 5 órbita/ponto 221/74 (1995).
Fonte: INPE (1995).

Após a obtenção dos pontos de controle, procedeu-se à verificação do erro médio quadrático individual e do conjunto de pontos, de forma a manter uma margem de erro menor que um (1) pixel (30 m, neste caso) para todas as imagens. Para isto, os pontos de controle com erros elevados foram excluídos do conjunto final (Tabela 2.2).

Cada conjunto de pontos de controle considerado satisfatório serviu como base para o registro das imagens de 1985 e 1995 em cada órbita/ponto, sendo processadas individualmente as seis bandas de cada imagem.

Tabela 2.2 - Pontos de controle e raiz do erro médio quadrático (*Root Mean Square Error* - RMSE) em cada imagem das órbitas/pontos para os anos de 1985 e 1995.

Órbita/ponto	1985		1995	
	Nº. de pontos	RMSE (m)	Nº. de pontos	RMSE (m)
218/76*	37	27,4327	46	21,6929
219/76	35	24,0701	37	18,6127
220/74	34	20,5469	29	17,9118
220/75	34	21,4846	35	18,7482
220/76	27	23,6428	17	20,8204
221/74	28	20,0865	33	18,7225
221/75	31	19,7129	30	19,1448
222/75	31	21,3692	30	17,1312
Média	32,125	22,2932	32,125	19,0981

*A cena de 1985 desta órbita/ponto refere-se ao ano de 1984, conforme já mencionado anteriormente.

2.4.1.2 Recorte das imagens

Após o registro, as imagens foram recortadas com base na área total de cada município. Para este procedimento, inicialmente foram sobrepostos os arquivos vetoriais dos limites municipais (IBGE, 2007) às imagens orbitais. Com a sobreposição, foram identificadas as coordenadas métricas ou valores de linhas e colunas na imagem que cobrem a área ocupada de cada município, conforme a representação vetorial. As coordenadas obtidas foram utilizadas nos recortes a partir do módulo *Window* do IDRISI.

Assim, a área recortada de cada município foi correspondente em todas as datas, o que permitiu a sobreposição das imagens e, posteriormente, também a sobreposição dos polígonos das áreas urbanizadas.

2.4.1.3 Definição das composições coloridas

A terceira etapa de processamento das imagens orbitais compreendeu a definição de composições coloridas utilizadas na delimitação das áreas urbanizadas. De acordo com Cròsta (1999) e Novo (2008), é necessário ter cuidado na combinação das três bandas para a composição colorida, de modo que esteja contida a informação almejada e que ela possa ser traduzida para o olho humano. Não devem ser aceitas composições como adequadas para um determinado uso, já que cada cena de satélite tem suas próprias características. Dessa forma, é importante testar várias combinações de três bandas até obter alguma composição que seja agradável à visualização e contenha a informação necessária.

Assim, foram realizados testes combinando as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, pelo sistema RGB,

verificando-se o comportamento dos alvos, principalmente da área urbanizada, para obter uma ou algumas composições que permitissem a maior separação da área urbanizada em relação às demais feições. Após os testes, foram definidas três composições coloridas para a delimitação das manchas urbanas: RGB 357, RGB 347 e RGB 741, conforme exemplificado na Figura 2.7.

Com base na Figura 2.7, pode-se perceber que a composição RGB 357 destaca melhor a área urbanizada. No entanto, as outras duas composições fornecem informações adicionais para a delimitação urbana, sobretudo ao se considerar que este procedimento foi realizado em 14 áreas urbanas e as imagens orbitais referiram-se a diferentes épocas do ano.

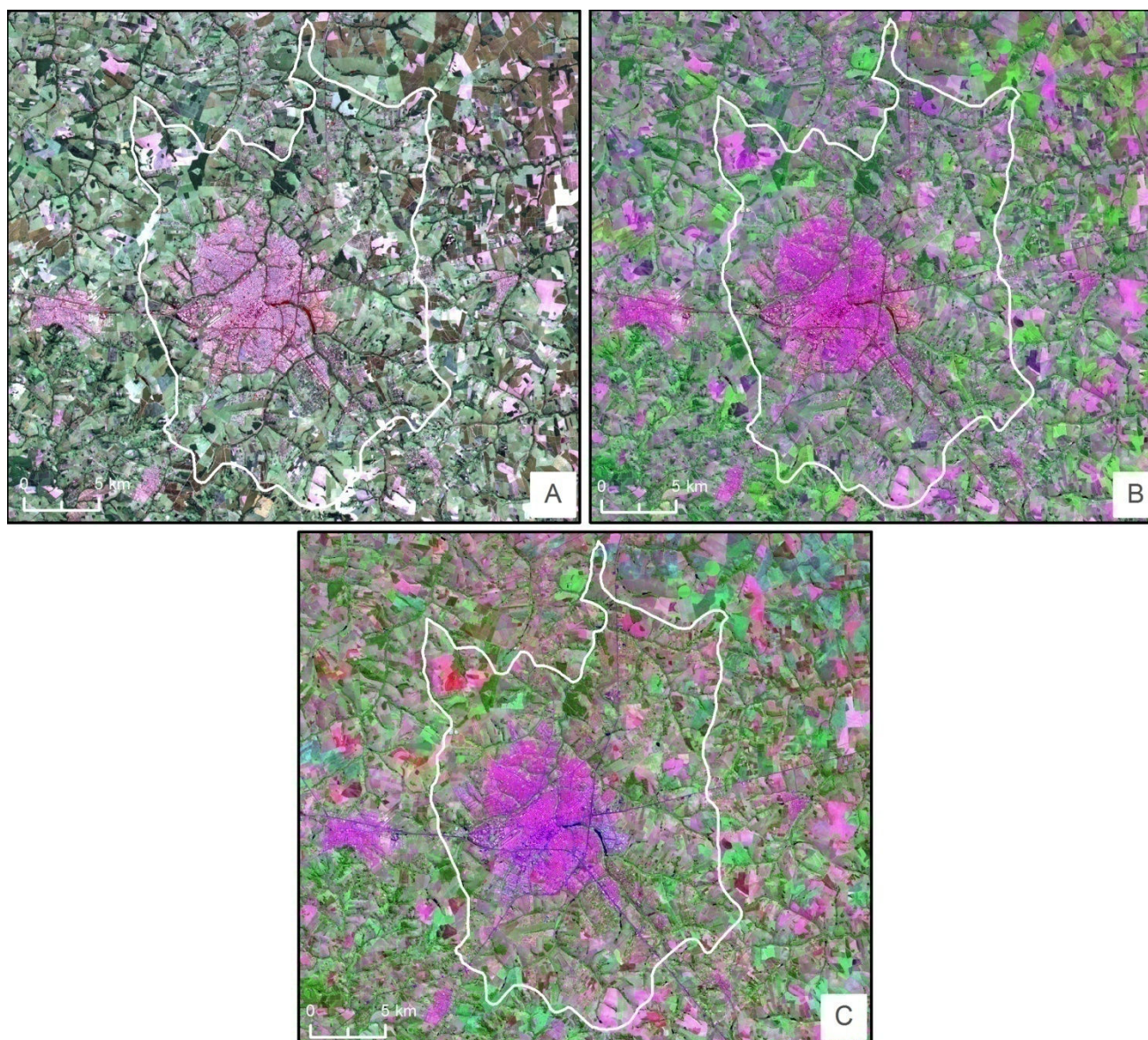


Figura 2.7 - Composições coloridas selecionadas para a vetorização das áreas urbanizadas. Recorte da imagem para o município de São José do Rio Preto no ano de 2005. A) Composição RGB 357; B) Composição RGB 347 e C) Composição RGB 741. Em branco, está representado o limite municipal.

2.4.2 Processamento digital dos mapas históricos de 1938

A partir do mapeamento realizado pelo IGG para o ano de 1938, foram obtidos em formato analógico os mapas para as cidades, objetos desta pesquisa. Estes mapas foram digitalizados via *scanner*, e dos arquivos digitais gerados, a área urbana de cada cidade foi recortada em cada um dos mapas. Este procedimento foi necessário, pois as áreas urbanas estavam representadas em *box* separados das áreas municipais nos referidos mapas, com objetivo de maior detalhamento (escalas entre 1:8.000 e 1:30.000).

Neste item está incluso o processamento do mapa da área urbana de Jundiaí para 1940, concedido pela Prefeitura Municipal do referido município, o qual passou a integrar a data de análise de 1938 da pesquisa.

2.4.2.1 Registro dos mapas

O registro destes mapas foi realizado no ArcGIS, tomando como referência as composições coloridas obtidas por meio dos recortes das imagens orbitais para cada município, especificamente para o ano de 2005. Pelo fato de os mapas de 1938 apresentarem maior limitação na aquisição de pontos de controle, utilizou-se o polinômio de primeira ordem (função linear) para o procedimento de registro, no qual são necessários no mínimo seis pontos de controle (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Pontos de controle e raiz do erro médio quadrático (*Root Mean Square Error* - RMSE) para os mapas de 1938.

Cidade	Nº. de pontos de controle	RMSE (m)
Araçatuba	9	27,4408
Botucatu	9	31,3883
Bragança Paulista	11	18,2441
Catanduva	14	24,4544
Franca	9	19,4331
Itapetininga	9	32,5637
Jundiaí	13	20,9549
Limeira	7	28,6223
Piracicaba	10	23,2215
Presidente Prudente	10	27,3486
Rio Claro	10	27,3565
São Carlos	12	23,6419
São José do Rio Preto	12	26,5540
Taubaté	11	30,0677
Média	10,429	25,8066

Após a obtenção dos pontos de controle distribuídos espacialmente na área mapeada, os mesmos foram analisados quanto ao erro de posicionamento individual e do conjunto de pontos, excluindo-se aqueles com erros elevados, a fim de melhorar a precisão do registro. Foram coletados, em média, 10 pontos para cada um dos mapas, atingindo-se erro médio de aproximadamente, 26 m (Tabela 2.3).

2.4.3 Processamento digital dos mapas DER (2009)

A partir dos mapas das diretorias de planejamento do DER (2009), a área de cada um dos 14 municípios foi recortada. Os arquivos resultantes foram inseridos no ArcGIS, onde foram base para a obtenção das vias de circulação e da rede hidrográfica. Também se obteve o limite municipal em virtude do maior detalhamento apresentado.

2.4.3.1 Registro dos mapas DER

O mesmo procedimento, descrito anteriormente na etapa de registro dos mapas de 1938, foi aplicado aos recortes dos mapas do DER. Utilizou-se como referência a composição colorida RGB 357 do ano de 2005, de cada um dos 14 municípios. Como os mapas apresentaram maior detalhamento de informações, foi possível utilizar o polinômio de terceiro grau (função cúbica). Foram coletados em média 14 pontos para cada representação, alcançando-se um erro em torno de 13 m (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Pontos de controle e raiz do erro médio quadrático (*Root Mean Square Error* - RMSE) para os mapas do DER (2009).

Município	Nº. de pontos	RMSE (m)
Araçatuba	14	12,7089
Botucatu	13	11,9337
Bragança Paulista	14	17,0254
Catanduva	14	13,6333
Franca	16	13,9765
Itapetininga	15	16,7790
Jundiaí-Várzea Paulista	16	13,7049
Limeira	15	10,9682
Piracicaba	14	16,3551
Presidente Prudente	16	11,7794
Rio Claro	14	9,7268
São Carlos	16	10,6183
São José do Rio Preto	14	12,9871
Taubaté-Tremembé	15	9,9738
Média	14,714	13,0122

2.4.3.2 Delimitação da base cartográfica DER

A utilização deste material teve como objetivo a extração da base cartográfica dos municípios em estudo, uma vez que este material contém generalização cartográfica adequada para os objetivos desta pesquisa. Após o pré-processamento, foram vetorizados em tela no *software* ArcGIS, os limites municipais, as vias de circulação e a rede de drenagem.

2.4.4 Processamento digital do material complementar da pesquisa

Os materiais adicionais que compreenderam a pesquisa, ou seja, as imagens LANDSAT TM 5 para o ano de 2010, os dados ASTER GDEM, a base cartográfica para o município de Piracicaba e o mapa geomorfológico do estado de São Paulo também passaram pela etapa de registro a partir da imagem de 2005 de cada cidade, possibilitando sobreposição à base de dados espaciais que compreendem as datas de análise.

O mapa geomorfológico (IPT, 1981) foi registrado à base de dados da pesquisa e digitalizado, compreendendo a caracterização e a contextualização das cidades no estado de São Paulo ao longo da pesquisa.

As oito imagens LANDSAT para o ano de 2010, selecionadas para as mesmas órbitas/pontos das imagens LANDSAT que compõem as datas de análise 1985, 1995 e 2005, também foram registradas com base nas imagens de 2005. A especificação das datas de aquisição e o erro obtido no procedimento de registro destas imagens compõem a Tabela 2.5. Foram utilizados em média 34 pontos de controle em cada cena, obtendo-se um erro médio de aproximadamente 17 m.

Os dados ASTER GDEM corresponderam a 18 cenas com resolução espacial de 30 m. A partir destes dados, foram elaboradas as representações da topografia para cada cidade, de forma a caracterizar a posição geográfica de cada sítio urbano. A Tabela 2.6 apresenta a associação das cenas às cidades do grupo em estudo.

O detalhamento quanto à utilização dos materiais será realizado no decorrer do trabalho, ou seja, quando de sua efetiva participação nas análises. Assim, a base cartográfica de Piracicaba será detalhada no Capítulo 3, as imagens para 2010 serão retomadas no Capítulo 5, e os dados ASTER GDEM, no Capítulo 6.

Tabela 2.5 - Datas de aquisição das imagens de 2010, pontos de controle utilizados no registro e raiz do erro médio quadrático (*Root Mean Square Error* - RMSE).

Municípios	Órbita/ponto	2010	Nº. de pontos	RMSE (m)
Taubaté	218/76	02/09	36	20,1905
Jundiaí Bragança Paulista	219/76	18/04	39	18,4088
Franca	220/74	12/06	32	17,2690
São Carlos Rio Claro	220/75	12/06	32	14,8913
Botucatu Piracicaba Itapetininga Limeira	220/76	03/11	45	17,0908
São José do Rio Preto	221/74	19/06	31	18,7090
Catanduva	221/75	19/06	30	14,8722
Araçatuba Presidente Prudente	222/75	26/06	30	12,7644

Tabela 2.6 - Cenas ASTER GDEM utilizadas para o conjunto de cidades em estudo.

Município	Cenas
Araçatuba	S21W051 e S22W051
Botucatu	S23W049 e S24W049
Bragança Paulista	S23W047 e S24W047
Catanduva	S21W049; S22W049 e S22W050
Franca	S21W048
Itapetininga	S24W048 e S24W049
Jundiaí-Várzea Paulista	S24W047 e S24W048
Limeira	S23W048
Piracicaba	S23W048 e S23W049
Presidente Prudente	S22W052 e S23W052
Rio Claro	S23W048
São Carlos	S22W048; S22W049; S23W048 e S23W049
São José do Rio Preto	S21W050
Taubaté-Tremembé	S23W046 e S24W046

2.5 Conclusões

Neste capítulo, tratou-se da contextualização da pesquisa no âmbito da análise espacial, das etapas e critérios definidos na seleção do objeto de estudo e da coleta e organização da base de dados espacial, que compreendeu todo o desenvolvimento da pesquisa.

A partir da seleção do objeto de estudo, os materiais que constituíram a base de dados

foram pesquisados, e então, definido o intervalo temporal, o qual correspondeu a quatro datas de análise - os anos de 1938, 1985, 1995 e 2005. O período de estudo constitui, portanto, um intervalo temporal de 67 anos.

A base de dados espacial foi organizada, sendo inicialmente realizado o procedimento de registro das imagens, após o recorte espacial dos municípios selecionados, para permitir a análise da dinâmica espacial e temporal das formas urbanas. Todos os procedimentos metodológicos e análises que compreendem a sequência da pesquisa foram elaborados a partir desta base de dados.

Capítulo 3.

DINÂMICA ESPACIAL E TEMPORAL DE EXPANSÃO URBANA DAS CIDADES MÉDIAS NO PERÍODO ENTRE 1938 E 2005

3.1 Expansão das áreas urbanas: considerações iniciais

Por milênios, a presença humana em quase todos os ecossistemas deixa clara sua participação nas alterações daqueles que faz parte. Nenhum outro lugar tem mais intensa participação humana do que as cidades e seus arredores. A urbanização é tida como tendência demográfica dominante e um importante componente dos processos de transformação de uso ao redor do mundo. Além disso, o crescente impacto das áreas urbanas sobre a superfície da Terra constitui-se em razão suficiente para estudá-las (GRIMM et al., 2000).

A comprovação desse impacto pode ser verificada pelo crescimento da população urbana do planeta. O século XX marcou o maior aumento demográfico na história da humanidade. Entre os anos de 1950 e 2000, a população mundial mais do que duplicou (2,6 bilhões para 6 bilhões de pessoas). Atualmente, estima-se que a população do planeta seja de 7 bilhões de habitantes. Este crescimento demográfico ocorreu paralelo ao enorme aumento da taxa de urbanização mundial. O século XXI assinala a continuidade do processo de urbanização, que resultou na maioria da população mundial vivendo em áreas urbanas (RODRIGUES, 2009; ONU, 2011).

O urbano refere-se à ocupação concentrada e densa do espaço por uma determinada população que se diferencia cada vez mais quanto a aspectos funcionais e sociais. Já a urbanização caracteriza a forma espacial de ocupação, indicando a passagem de uma distribuição populacional menos densa e espalhada no espaço para uma forma concentrada (CASTELLS, 2000).

Então, ao longo do processo de expansão urbana, a densidade de ocupação e a aleatoriedade quanto à disposição das estruturas influenciam a morfologia urbana. De acordo com Batty, Fotheringham e Longley (1993), a análise morfológica urbana concebe a cidade como ramificações de estruturas em que os espaços entre estas ramificações apresentam reduzida possibilidade de crescimento, acelerando ainda mais o processo de ramificação. O crescimento ao

longo de vias de transporte deixa espaços não ocupados que tendem a diminuir a densidade de ocupação, à medida que aumenta a distância do centro da cidade.

As ramificações urbanas, segundo Marques (2005), formam uma estrutura com dendritos que crescem em um processo centrífugo de acordo com a disponibilidade de vias de circulação. Muitas vezes, ocorrem limitações neste processo de crescimento devido às características físicas do espaço e do próprio perfil econômico dessas cidades.

A inserção do automóvel possibilitou o surgimento de novas concentrações urbanas na segunda metade do século XX (RODRIGUES, 2009). Nesta mesma linha de pensamento, Salingaros (2003) atribui ao advento do automóvel às grandes alterações que ocorreram no contexto urbano. O autor afirma que a morfologia urbana é resultado do sistema de transportes estabelecido pelo governo quando a cidade começa a ser construída. Mudanças posteriores resultam em alterações na estrutura da cidade. Então, o momento atual caracteriza-se pelo estabelecimento de cidades para os automóveis, em consequência disso, a cidade para o pedestre estaria sendo destruída.

Outra mudança morfológica que vem sendo discutida diz respeito ao crescimento periférico das cidades e com baixa densidade, sendo este processo denominado por vários autores como urbanização dispersa ou difusa. Esta forma de crescimento caracteriza-se pela descontinuidade do tecido urbano, formando novos núcleos, com diferentes formas de utilização, em pontos isolados, e entre as cidades (EWING, 1994; TORRENS; ALBERTI, 2000; REIS FILHO, 2006). Esta expansão urbana periférica pode estar associada a maior mobilidade que exige mais espaço e privilegia áreas de baixa densidade, além do aumento populacional (BATTY; XIE, 2005).

Este processo é reconhecido também em cidades médias como evidenciam Reis Filho (2006) e Branco (2006). A importância crescente das cidades médias ou intermediárias como denomina Branco (2006), no cenário brasileiro, pode ser verificada por meio da análise do crescimento da população urbana dos municípios, por categoria de tamanho populacional, considerando o período entre os anos de 1970 e 2000. Neste intervalo, a autora aponta o aumento constante dessa categoria de centros urbanos tanto em número quanto em população.

O início do processo de urbanização brasileiro ocorreu ao longo da costa, relacionado a questões de defesa do território. A partir desses primeiros núcleos, desenvolveu-se a exploração e ocupação do interior. Inicialmente, as alterações na rede urbana do país ocorriam conforme o cenário econômico predominante em cada período, como, por exemplo, os ciclos do ouro, do café

e da cana-de-açúcar (COSTA, 1982).

Com base nesses processos de ocupação do território brasileiro, pode-se destacar que o primeiro padrão espacial urbano foi o padrão dendrítico, em função da posição do sítio urbano, caracterizado por vales e serras, delimitados por rios. Este padrão é caracterizado principalmente pelas cidades do litoral, que inicialmente serviam de ponto de defesa do território e vias de penetração para o interior, a exemplo do Rio de Janeiro e de Recife. Já com a industrialização, identifica-se um padrão espacial de áreas urbano-industriais caracterizadas pelos corredores urbanizados (VILLAÇA, 2001).

O processo de urbanização brasileiro foi influenciado pela industrialização e seus desdobramentos. As mudanças resultantes na interação dos dois processos referem-se ao surgimento de um sistema urbano hierarquizado em escala nacional e à emergência de uma metrópole - a cidade de São Paulo (ANDRADE; LODDER, 1979).

No caso do estado de São Paulo, segundo Gonçalves (1994), a demanda de condições para assumir um modo de produzir capitalista foi promovida pela própria economia agrário-exportadora com base no café, relacionada com a força de trabalho, os investimentos em infraestrutura (principalmente viária e de transportes), a agricultura de alimentos e de matérias-primas, os serviços de apoio à produção e à reprodução da força de trabalho. Estas condições, de acordo com a autora, resultaram na construção de ampla e articulada rede urbana ocupando todo o território do estado.

Gonçalves (1994) diferencia macrorregiões no estado de São Paulo, sendo elas: a) metropolitana; b) densamente urbanizada e industrializada, onde se concentram as grandes e médias cidades; e c) predominantemente agrícola e pecuária, com desenvolvimento urbano mais limitado. A autora cita ainda, a região do Vale do Ribeira e Litoral Sul, que se diferencia das demais pela pequena extensão territorial e expressão econômica e especificidade de incluir grande área de reserva ambiental.

De acordo com estudo desenvolvido pela Fundação SEADE (1992), as características que estabeleceram a metrópole paulistana se refletiram nas áreas urbanas do interior do estado. Essas características compreenderam a expansão urbana decorrente da demanda ocasionada pelo grande acréscimo populacional, derivado do êxodo rural (modernização agrícola); pela desconcentração industrial a partir da metrópole que intensificou a urbanização, sobretudo de cidades do próprio interior paulista. O período de maior intensidade desses processos ocorreu nas décadas de 1960,

1970 e 1980.

“Assim, se a década de 70 foi marcada pela interiorização do desenvolvimento liderada pela indústria, a de 80 assistiu a uma verdadeira “interiorização dos serviços”. A instalação dos grandes supermercados, cadeias de lojas ou shoppings, de bancos estrangeiros, empresas de consultoria, engenharia, informática, agências de publicidade, dos hotéis das maiores redes ou de emissoras de TV são fenômenos da última década nas principais cidades do interior.” (SEADE, 1992, p. 44).

O desenvolvimento do interior do estado de São Paulo foi condicionado, desde cedo, pela ação pública, que ampliou a infraestrutura, sobretudo de transportes. O processo de crescimento periférico das cidades, que até os anos de 1970 era restrita aos limites de cada município, definia um desenho urbano que compreendia um núcleo central denso, sucedido por áreas de densidade mais baixa, ambos, parcialmente envolvidos por uma periferia rarefeita, cujo traçado partia da respectiva sede urbana (SEADE, 1992).

No entanto, cada situação apresenta suas características próprias que dependem, por exemplo, dos aspectos geográficos, das barreiras físicas, das áreas institucionais e da forma histórica com que evoluiu cada mancha urbana e diferenciou-se quanto ao uso do solo. Assim, o modelo de ocupação pode ter sido reflexo da metrópole, contudo, a evolução de cada área urbana foi influenciada por suas próprias características de sítio, resultando na diversificação morfológica da rede urbana.

A identificação das formas urbanas para o conjunto de cidades médias deste estudo e sua dinâmica espacial permitiu contextualizá-las quanto ao processo de urbanização do estado de São Paulo e ainda caracterizá-las quanto à morfologia urbana, relacionando-as também, com a evolução de suas populações urbanas e de suas áreas urbanizadas ao longo do tempo. Adicionalmente, propôs-se um estudo de caso para verificar a influência de novos loteamentos urbanos sobre a forma urbana, ao longo do tempo. Este estudo de caso estrutura-se em uma análise de dependência locacional.

3.2 Orientações metodológicas para a análise de expansão urbana

3.2.1 Delimitação das formas urbanas

As formas urbanas para as cidades médias em estudo foram obtidas para as quatro datas de análise delimitadas e constantes na base de dados espacial da pesquisa: 1938, 1985, 1995 e 2005 (ver Capítulo 2).

A etapa de delimitação das áreas urbanizadas nas datas de análise foi desenvolvida em tela, no software ArcGIS 9.3. Inicialmente, foram vetorizadas as áreas urbanizadas para as datas de análise derivadas de imagens do satélite LANDSAT, ou seja, os anos de 1985, 1995 e 2005, a partir das composições coloridas já definidas, com ajustes de contraste. Para as três datas de cada cidade, foi gerado um arquivo com extensão *.shp* do tipo polígono, com as mesmas características espaciais (sistema de coordenadas e *Datum*) das imagens, no módulo ArcCatalog do ArcGIS. Na sequência, os novos arquivos foram adicionados à área de trabalho do ArcGIS.

Para a etapa de vetorização das áreas urbanizadas, foram adotados os seguintes critérios: escala de visualização fixa em 1:50.000 e delimitação de feições urbanas consolidadas. Inicialmente, a mancha contínua em cada data foi delimitada e, em seguida, os fragmentos urbanos consolidados no entorno urbano, quando existentes (Figura 3.1). As áreas de urbanização consolidada compreenderam a efetiva ocupação urbana. A sua identificação foi realizada visualmente, considerando características espaciais, como a ocupação de maior densidade e a existência de estrutura urbana.

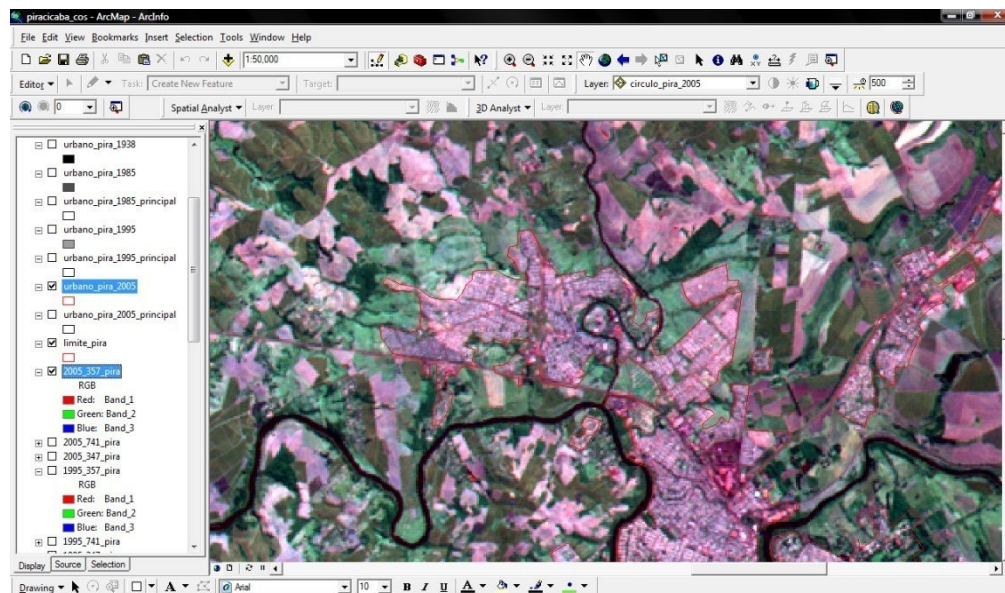


Figura 3.1 - Escala de visualização fixa 1:50.000 e composição colorida RGB 357 utilizadas na vetorização em tela das áreas urbanizadas. No exemplo, delimitação parcial da área urbanizada de Piracicaba no ano de 2005.

A vetorização das áreas urbanizadas para 1938, também realizada no ArcGIS, seguiu o mesmo procedimento das imagens orbitais (escala fixa e vetorização em tela). Por se tratar de mapas históricos, a delimitação obedeceu ao contorno da malha urbana contida nos mapas, já que

o perímetro urbano representado não estava efetivamente ocupado pela estrutura urbana. Ao final, obteve-se a representação da área urbanizada de cada cidade para o ano de 1938.

A etapa de análise espacial, referente à evolução das manchas urbanas ao longo da série temporal adotada, considerou a área urbanizada total (com fragmentos de entorno) e a mancha urbana principal (contínua), exceto para o ano de 1938, que por derivar de mapeamento pré-elaborado, constituiu representação única de cada cidade.

As manchas urbanas de cada cidade (área total com fragmentos e contínua) e datas de análise foram quantificadas quanto à área ocupada. Adicionalmente, dados demográficos foram inseridos na análise de expansão das formas urbanas, de modo a caracterizar a morfologia urbana do grupo de cidades em relação ao processo de urbanização do estado de São Paulo. De modo geral, esta fase da pesquisa considerou análises de cunho regional, enfatizando assim, a situação geográfica a partir do contexto histórico e socioeconômico do período delimitado (1938-2005).

Em conformidade com a proposta da matriz geográfica de Berry (1964), os dados secundários bem como os resultados obtidos (características) foram detalhados para as cidades (lugares), em matrizes que representam cada tempo ou data de análise (Apêndice C).

3.2.2 Análise da dependência espacial na localização de loteamentos urbanos: estudo de caso na cidade de Piracicaba-SP

A partir da base cartográfica e dos dados de loteamentos aprovados entre 1985 e 2010, cedidos pelo Instituto de Pesquisas e Planejamento de Piracicaba (IPPLAP), foi desenvolvido um estudo de caso, com objetivo de verificar se há dependência espacial no processo de criação de novos loteamentos urbanos em relação à morfologia pré-existente.

Para este estudo de caso, consideraram-se somente dados fornecidos pelo IPPLAP, sem pretensões de maior aprofundamento quanto à situação de regularidade ou irregularidade de cada loteamento. Como a listagem de dados fornecida contemplava os loteamentos aprovados a partir da década de 1950, foi necessária a seleção dos loteamentos compreendidos no período entre os anos de 1985 e 2010.

Considerando a inexistência de data de aprovação para alguns dados do conjunto fornecido, buscou-se levantar tais dados diretamente junto ao IPPLAP e também junto à Secretaria de Obras do município. A Tabela 3.1 mostra o total dos dados de loteamentos para a referida cidade, sendo que para o período previamente delimitado foram identificados 132 loteamentos.

A base cartográfica com a distribuição dos loteamentos foi fornecida em formato CAD, sendo necessário exportá-la para o software ArcGIS e, conseqüentemente, organizar seu banco de dados, inserindo a data de aprovação, a correção de nomenclatura e localização dos loteamentos em nível de bairro.

Tabela 3.1 - Síntese dos dados de loteamentos obtidos para Piracicaba-SP.

Loteamentos entre 1949-2011	Número de loteamentos	% do total
Loteamentos no período entre 1985 e 2010	132	28,51
Loteamentos sem data de aprovação	21	4,54
Demais loteamentos	310	66,95
Total	463	100

Para a realização do teste de não aleatoriedade da localização dos loteamentos urbanos e comprovação da existência de dependência locacional, delimitaram-se as seguintes hipóteses:

H0: a localização dos loteamentos é aleatória e não sofre influências locacionais;

H1: a localização dos loteamentos é direcionada por interesses e influencia a morfologia urbana da cidade.

Para esta análise, foi utilizado o método do vizinho mais próximo (*Nearest Neighbor Analysis*), de acordo com metodologia proposta por Taylor (1977). Este método estima o padrão espacial para um fenômeno geográfico e permite classificá-lo de acordo com uma escala de valores, denominada *R*, que varia de 0 (zero) a 2,149. De acordo com Taylor (1977), este método foi inicialmente desenvolvido e utilizado pelos ecologistas, e mais tarde, modificações foram feitas por Michael Dacey.

A escala *R* representa padrões de agrupamento que variam do randômico ao regular (Figura 3.2). De modo geral, valores de *R* abaixo de 1,0, indicam distribuições que tendem a um padrão agrupado (*cluster*), e valores maiores que 1,0, indicam padrões que tendem à dispersão.

O valor de *R* é obtido pela relação entre a média de todas as distâncias (*ra*) e a média das distâncias esperada (*re*).

$$R = \frac{ra}{re} \quad (3.1)$$

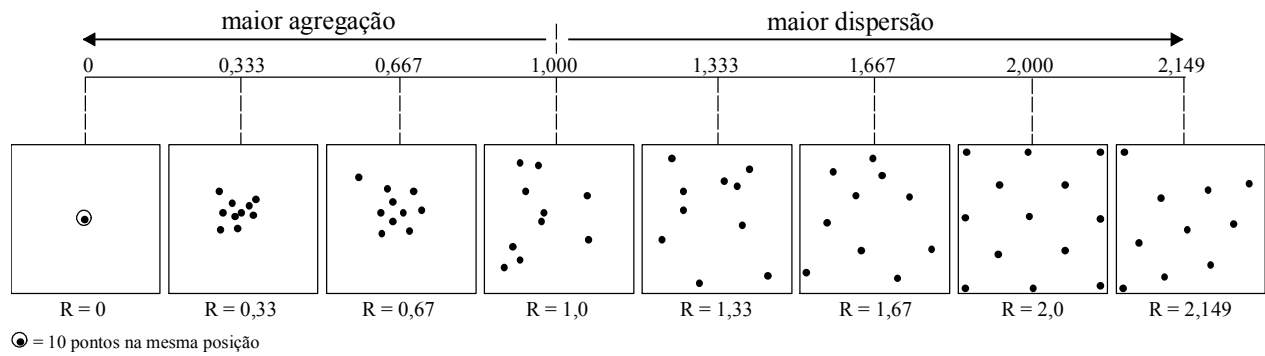


Figura 3.2 - Representação da escala R .
Fonte: Adaptado de Taylor (1977).

A obtenção dos parâmetros ra e re dependerá do tamanho da área de estudo e da escala de medida utilizada. Para este estudo de caso, foi delimitada como área de estudo, o retângulo envolvente ao perímetro urbano de Piracicaba, para o ano de 2009 (IPPLAP, 2012). Em seguida, por meio do arquivo contendo os dados de loteamentos, foram gerados arquivos individuais para cada ano do período em estudo. Todos os produtos foram convertidos para o formato matricial com resolução espacial⁴ de 30 m.

O valor do parâmetro re foi obtido pela seguinte relação:

$$re = \frac{1}{2\sqrt{\frac{n}{A}}} \quad (3.2)$$

em que n é o número de pontos, ou o número de loteamentos em cada ano da série temporal e A é a área em estudo ou a área do retângulo envolvente do perímetro urbano de Piracicaba.

Para obter o valor de ra foi gerada uma superfície de isodistâncias para os dados de loteamentos em cada ano da série temporal, e posteriormente, obtida a média desta superfície, que correspondeu ao Índice de afastamento (Ia) entre os pontos. Este índice varia, portanto, de acordo com as distâncias entre os pontos. Considerando o valor de Ia , o qual é inversamente proporcional a ra ($ra=1/Ia$), foi estimado o valor de R para cada um dos anos que compõem a série temporal.

⁴ A utilização desta resolução espacial está de acordo com a base de dados da pesquisa.

3.3. Contextualização e caracterização da expansão urbana no período entre 1938 e 2005

A dinâmica de crescimento urbano para o grupo de cidades está relacionada com o panorama histórico e socioeconômico que caracterizou cada época ao longo do período em análise (1938 - 2005). Os itens subsequentes se referem aos resultados obtidos para o crescimento urbano em cada uma das quatro datas de análise e à análise espaço-temporal para o grupo de cidades no período. Além disso, será apresentado e discutido o teste de dependência espacial quanto à localização de loteamentos na área urbana de Piracicaba, considerando o intervalo temporal entre os anos de 1985 e 2010.

3.3.1 Contexto inicial da ocupação urbana: 1938

As cidades médias que constituem esta pesquisa tornaram-se municípios autônomos entre os anos de 1842 e 1921. Taubaté foi o primeiro município autônomo do grupo selecionado (1842), enquanto os municípios de Araçatuba e Presidente Prudente são os mais recentes (1921)⁵. A ocupação inicial do território de todas as cidades associou-se a um povoamento inicial com objetivos agrícolas ou como ponto de parada de movimentos, como as bandeiras e as entradas. O início da ocupação também esteve sempre atrelado com a construção de uma capela. Além disso, na maioria dos casos, o impulso decisivo ao desenvolvimento destas cidades decorreu da construção e inauguração de estradas, sobretudo de estações e vias ferroviárias (SEADE, 2011).

A introdução das estradas de ferro promoveu uma grande revolução no setor dos transportes neste período, o que daria maior estímulo ao surgimento e desenvolvimento de redes urbanas (GEIGER, 1963). A ferrovia também impulsionou a cultura do café, conforme Negri (1996), à medida que esta cultura desenvolvia-se, aumentava a demanda por áreas urbanas que oferecessem transportes e comércio para escoar a produção, além de atender à própria população. Desse modo, a cafeicultura gerou em paralelo o processo de urbanização.

Os centros urbanos apresentaram maior crescimento a partir de 1930, e com maior intensidade durante a década de 1940, em decorrência do desenvolvimento do processo de industrialização e da modernização da agricultura que impulsionou o êxodo rural. A mão-de-obra proveniente do campo já não era totalmente absorvida, o que desencadeou o crescimento das periferias dos centros urbanos em condições precárias (ANDRADE, 1979). É válido ressaltar

⁵ O ano de fundação de cada cidade está no Apêndice B.

aqui a importância do estado de São Paulo, concentrando grande parte do desenvolvimento industrial brasileiro, ou seja, uma infraestrutura significativa, aliada à principal agricultura nacional e a uma rede de cidades sem paralelo no país, estabelecida desde a expansão da cultura cafeeira durante o século XIX (SEADE, 1992).

O grupo de cidades médias em estudo apresentava população inferior aos 50.000 habitantes na década de 1940. A área urbanizada dessas cidades também era reduzida, em média, cada cidade ocupava 4,40 km² no ano de 1938 (Figura 3.3).

Na Figura 3.4⁶, são apresentadas as formas urbanas para o ano de 1938. Adicionalmente, estão inclusas as vias férreas quando existentes, isto porque esta informação limita-se à fonte de obtenção (Mapas do DER, 2009), a rede hidrográfica e o sistema viário dos municípios. Pode-se supor que nesta época o sistema ferroviário teve maior influência quanto à localização espacial dos núcleos urbanos e também no próprio direcionamento das formas urbanas, cuja posição geográfica ocorria, na maioria das vezes, associada a uma estação férrea ou ainda nas proximidades de um rio.

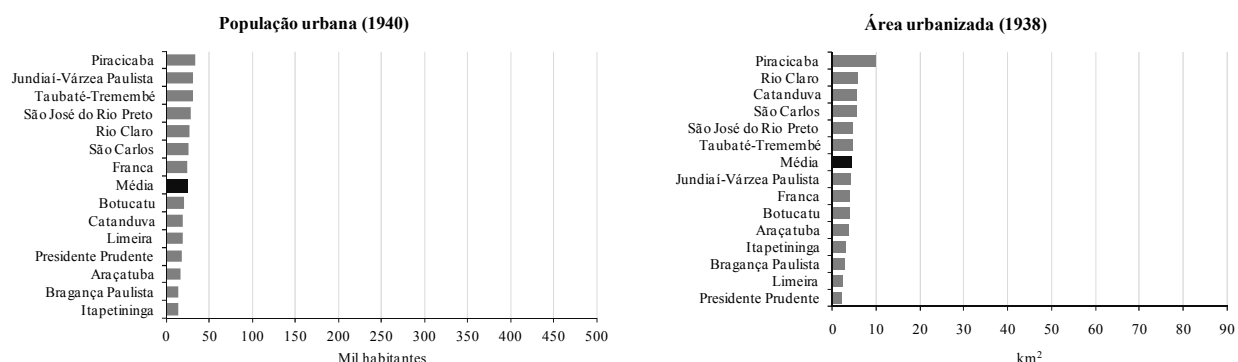


Figura 3.3 - População urbana em 1940 e a área urbanizada em 1938, para o grupo de cidades em estudo.
Fonte: IPEA (1940); IGG (1938).

De modo geral, as formas urbanas mostram-se compactas, o que se relaciona às características do material cartográfico utilizado na sua delimitação. Entretanto, a forma assumida pelas cidades permite verificar que algumas são alongadas acompanhando as margens de rios ou mesmo ao longo da ferrovia.

⁶ Detalhes de toponímia estão nas representações cartográficas do Apêndice D.

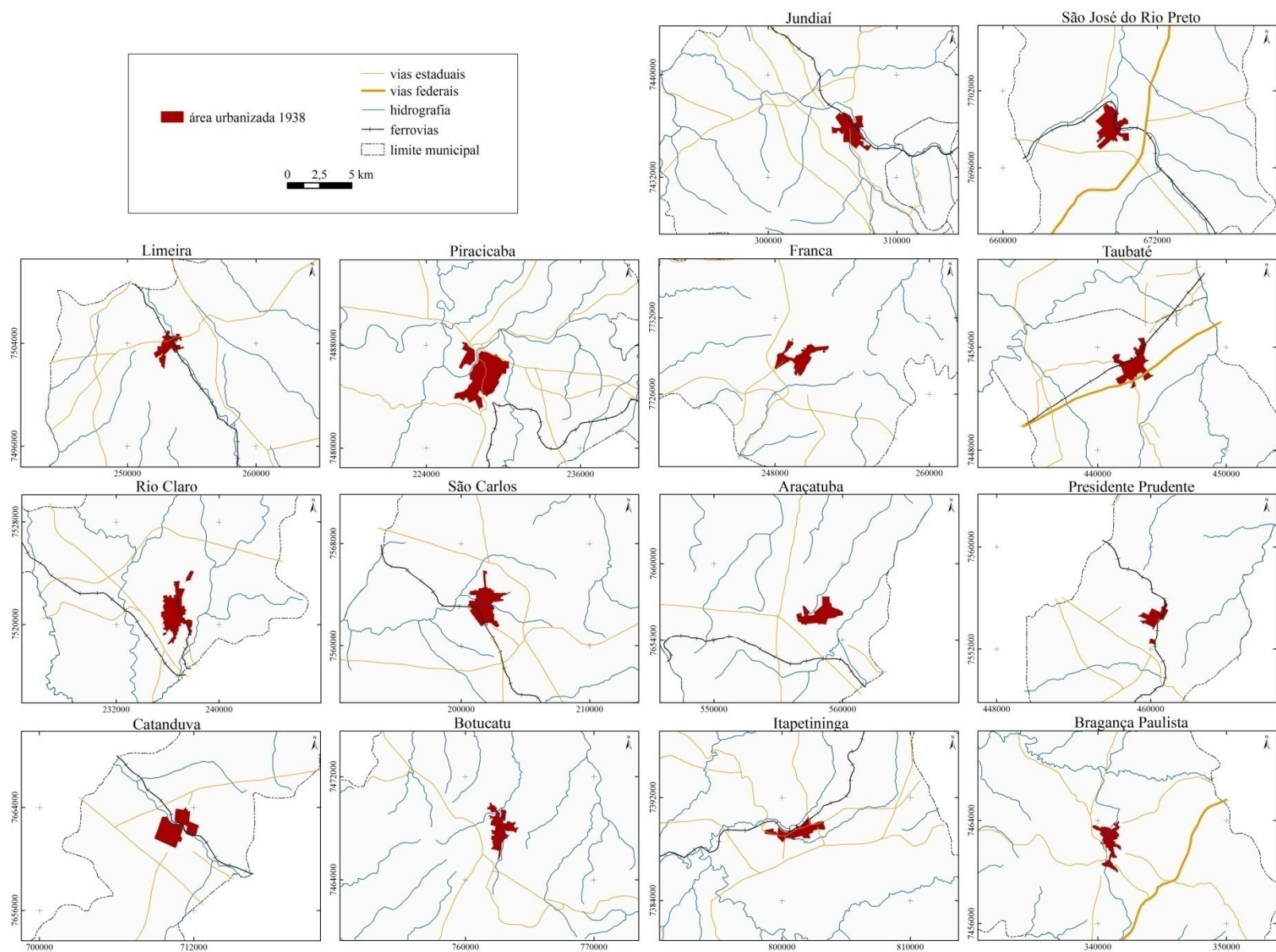


Figura 3.4 - Representação das áreas urbanizadas em 1938.
 Fonte: IGG (1938).

3.3.2 As grandes mudanças espaço-temporais: de 1938 até o ano de 1985

O intervalo temporal compreendido entre 1938 e 1985 (segunda data de análise) foi marcado por grandes mudanças espaciais nas cidades em estudo. O destacado crescimento da urbanização, no respectivo período, foi resultado de uma fase de muitos acontecimentos no cenário histórico e socioeconômico do país. De acordo com alguns autores, como Prado Júnior (1979), Andrade (1979), SEADE (1992), Negri (1996), Lencioni (1998), podem ser apontados alguns fatos que promoveram esta grande dinâmica.

Ao longo deste período, o desenvolvimento da atividade industrial foi impulsionado em razão da situação de quase isolamento do Brasil, mediante a queda das exportações em decorrência da Segunda Guerra Mundial. Em seguida, pode ser citada a modernização da agricultura, que culminou no êxodo rural. A proposição de políticas econômicas por parte do governo (Planos de Desenvolvimento Nacional I e II), com objetivo de promover o desenvolvimento do país e a desconcentração industrial e econômica, principalmente da metrópole paulistana. A própria população urbana brasileira passou a ser maioria ainda na década de 1970 (56% da população total), conforme registrado pelo censo demográfico do IBGE (1970).

Por outro lado, Reis Filho (2006) ao analisar a dispersão da indústria como impulsionadora do processo de urbanização, destaca a questão de localização aliada aos fatores econômicos apontados anteriormente. Segundo o autor, as indústrias estabeleceram-se inicialmente próximas às ferrovias, por causa da dependência de fontes de energia e linhas de transporte. Com a construção das rodovias estas dependências começaram a desaparecer, assim as indústrias puderam prescindir da proximidade com a ferrovia e também com as áreas urbanas. Dessa forma, tanto razões de ordem técnica como relativas à reorganização produtiva levaram à dispersão industrial, fato este que permitiu o crescimento de muitas cidades, principalmente do interior paulista, em face da disponibilidade de infraestrutura básica (vias de transporte e proximidade com a Região Metropolitana de São Paulo).

Neste contexto de mudanças espaciais, o contingente populacional urbano sofreu acréscimos consideráveis neste período. A média populacional urbana para o ano de 1985 nas 14 cidades médias foi de 150.000 habitantes. Somente as cidades de Catanduva, Bragança Paulista, Itapetininga e Botucatu não alcançaram os 100.000 habitantes (Figura 3.5).

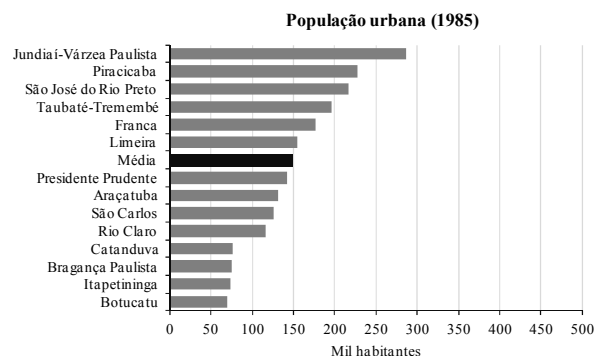


Figura 3.5 - População urbana do ano de 1985 para o grupo de cidades.
Fonte: SEADE (1985).

Estas mesmas cidades também apresentaram menores proporções quanto às áreas urbanizadas, se comparadas às demais cidades em 1985 (Figura 3.6), tanto para a área urbanizada total (com fragmentos) como para a mancha principal. De qualquer maneira, a área ocupada por todas as manchas urbanas foi intensamente acrescida se comparada à primeira data de análise, refletindo as transformações que caracterizaram o período entre os anos de 1940 e 1980.

A representação espacial das formas urbanas confirma a grande expansão das cidades. O desenho das principais vias de transporte permite verificar a influência das mesmas sobre o direcionamento das formas urbanas, já dissociadas das ferrovias (Figura 3.7). Além disso, é importante salientar a relação da forma urbana de 1938 com a forma urbana de 1985, no sentido de que houve expansão da ocupação considerada como inicial, preservando, na maioria dos casos, o formato alongado ou circular.

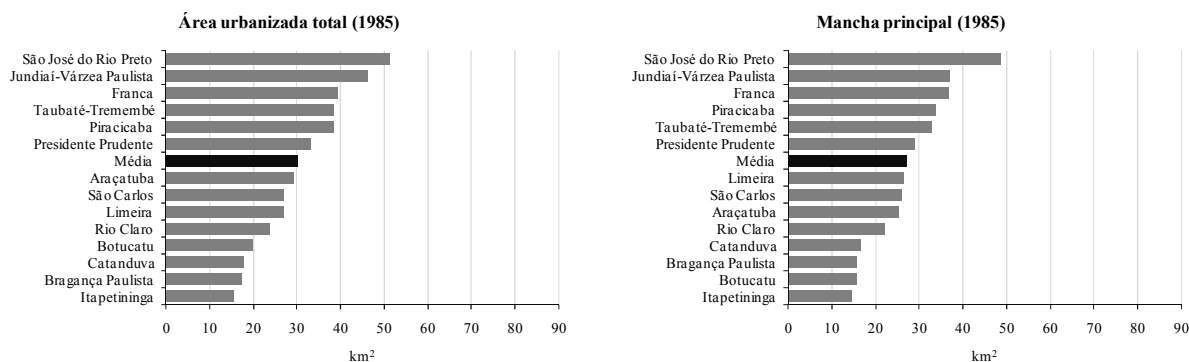


Figura 3.6 - Área ocupada pelas cidades em 1985, para as áreas urbanizadas totais e para as manchas principais.

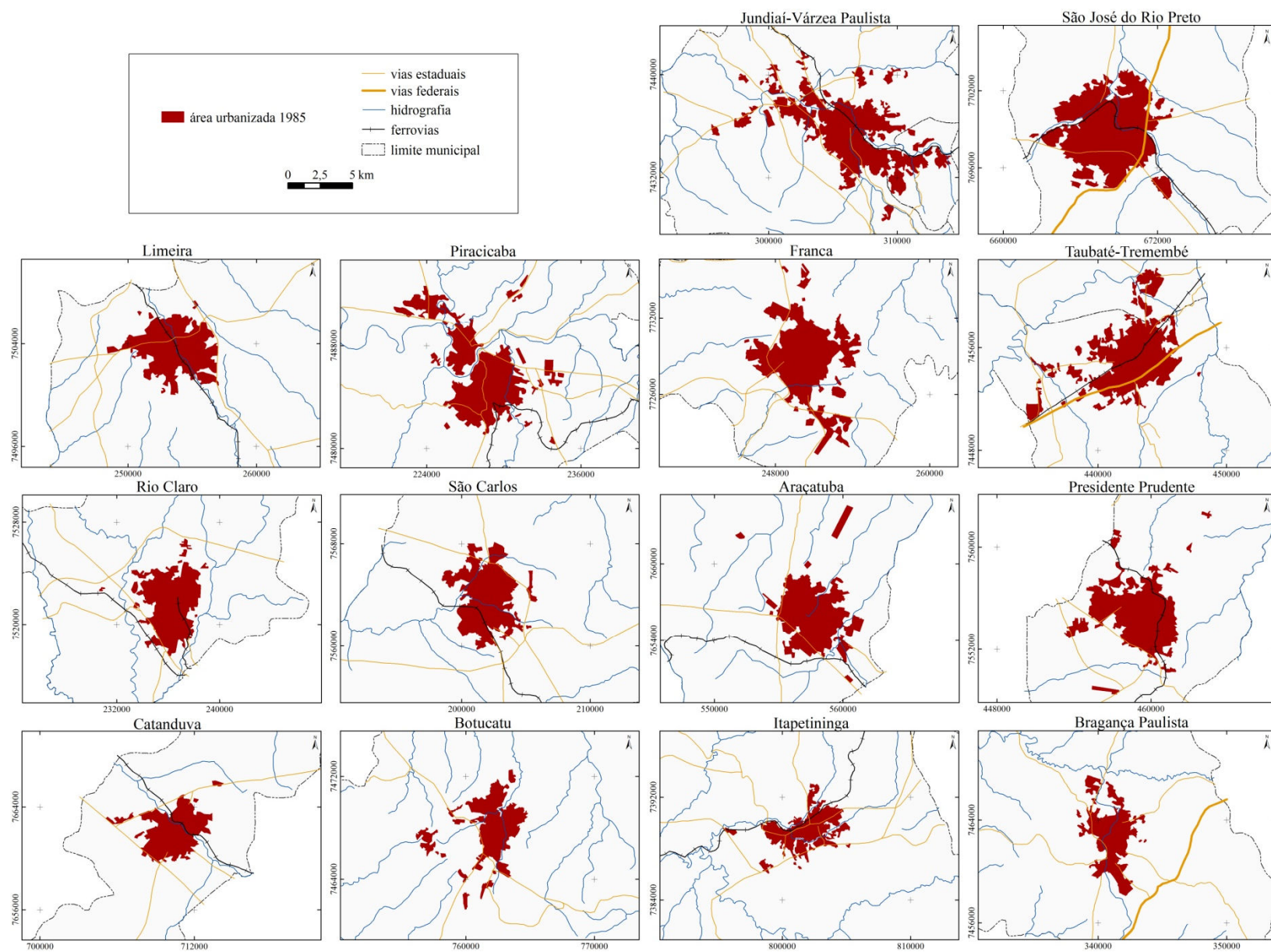


Figura 3.7 - Representação das áreas urbanizadas em 1985.

3.3.3 Expansão urbana no cenário de abertura comercial: o ano de 1995

O impulso à urbanização, aliado aos processos de industrialização e modernização agrícola, incentivando o êxodo rural, contribuíram para a configuração espacial urbana das cidades no ano de 1995.

Embora os anos de 1980 sejam considerados como década perdida, a agricultura paulista apresentou crescimento e atenuou os efeitos da crise (Proálcool, lavouras de exportação). Assim, foram asseguradas rendas mais elevadas que exigiram o desenvolvimento de segmentos complementares do setor terciário, repercutindo no adensamento da rede urbana estadual (SEADE, 1992).

A década de 1990 foi marcada pela abertura comercial que afetou o desempenho econômico brasileiro e pela recessão no mercado interno (PIRES; SAMPAIO, 2000). Nesta década, a questão do desemprego foi agravada, principalmente no estado de São Paulo, em decorrência da modernização da agricultura e da saída de alguns segmentos industriais para outros estados, atraídos por incentivos fiscais e vantagens econômicas, o que acentuou os problemas sociais e urbanos. Aliado a isso, a queda nas taxas de crescimento populacional repercutiram em um menor ritmo no processo de urbanização, tanto na metrópole como nas cidades do interior paulista, em contraste ao crescimento acelerado verificado no período precedente (ALMEIDA, 2003).

A população urbana do conjunto de cidades confirma este cenário de menor crescimento, embora um incremento populacional possa ser verificado nesta terceira data de análise, correspondente ao ano de 1995 (Figura 3.8).

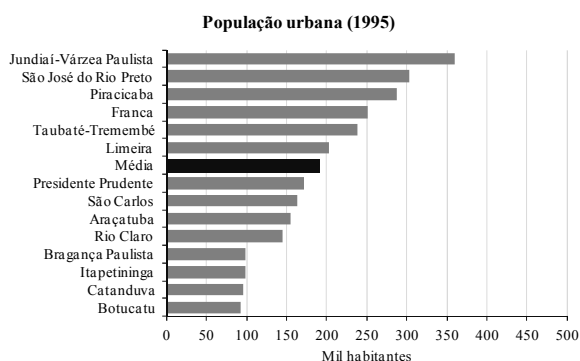


Figura 3.8 - População urbana do ano de 1995 para o grupo de cidades.
Fonte: SEADE (1995).

A área urbanizada de cada cidade (Figura 3.9) assim como a respectiva configuração espacial de cada forma urbana (Figura 3.10) apresentaram alterações. Novas áreas foram ocupadas pelas manchas urbanas, e suas formas urbanas tenderam a expandir-se ainda mais, no entanto, mantiveram-se similares ao formato apresentado no período anterior. As vias de circulação novamente mostraram grande influência no processo de expansão urbana.

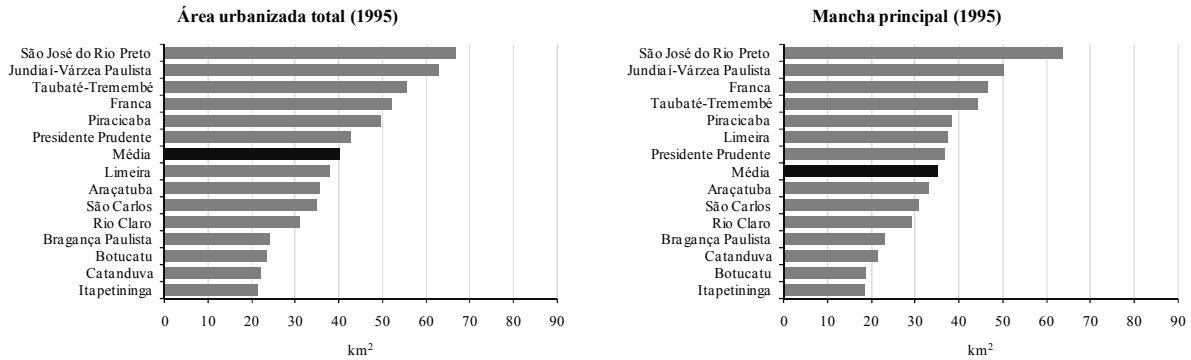


Figura 3.9 - Área ocupada pelas cidades em 1995, para as áreas urbanizadas totais e para as manchas principais.

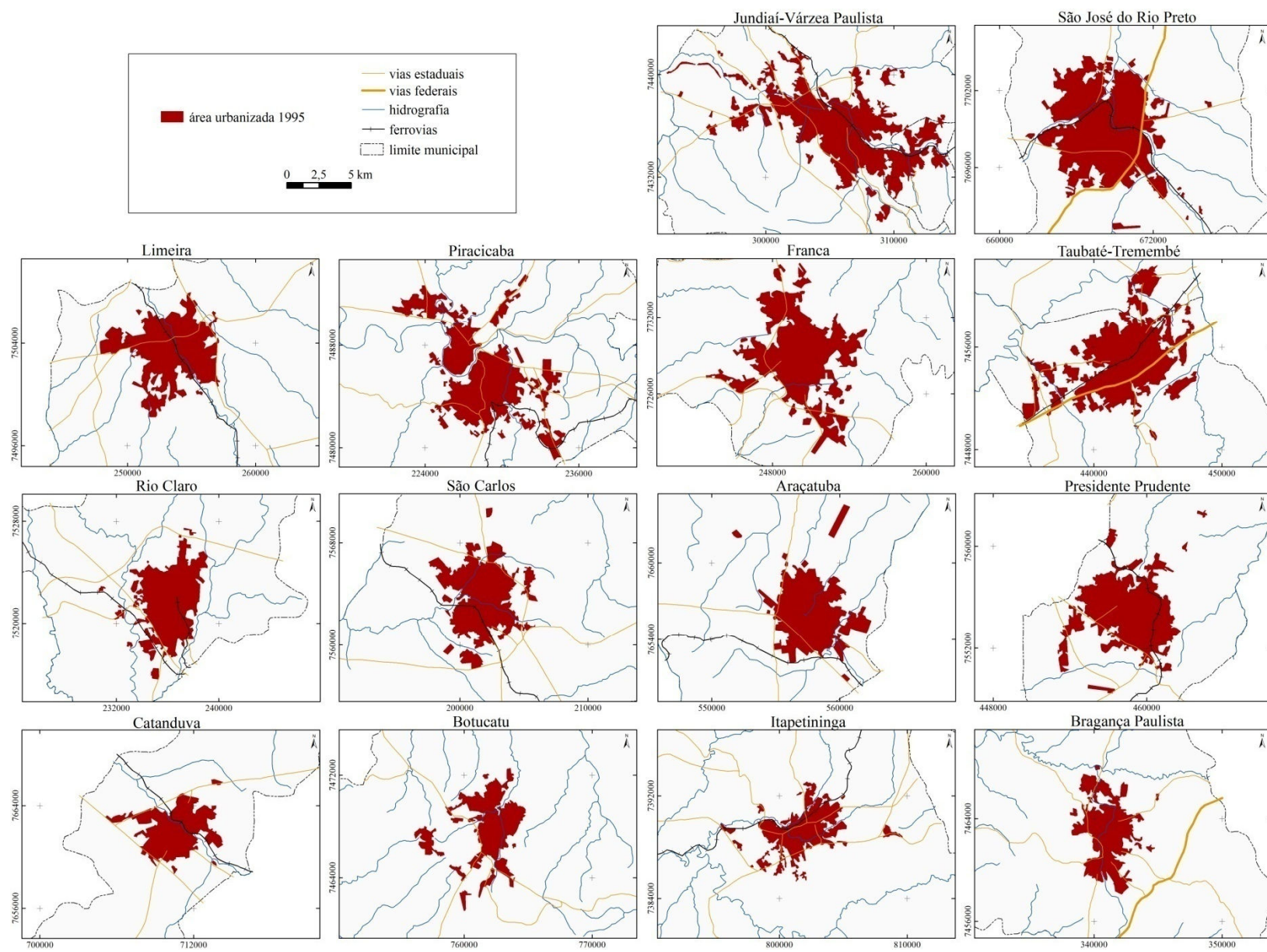


Figura 3.10 - Representação das áreas urbanizadas em 1995.

3.3.4 O panorama recente de crescimento urbano: 2005

O ano de 2005 representa a última data de análise deste estudo. A partir das Figuras 3.11, 3.12 e 3.13, é possível verificar a continuidade no crescimento populacional, tanto na área ocupada pela estrutura urbana como na forma de cada uma das cidades.

A população urbana do grupo de cidades variou de pouco mais de 100.000 habitantes até aproximadamente 425.000. A maior população urbana ocorreu nas cidades com maior área urbanizada, de forma semelhante ao verificado nos períodos anteriores, à exceção de 1938.

As formas urbanas agregaram novas áreas, uma vez mais, localizadas nas proximidades das vias de circulação, nas próprias bordas urbanas ou mesmo em fragmentos urbanos na região de entorno das cidades. Contudo, o formato alongado ou circular foi mantido.

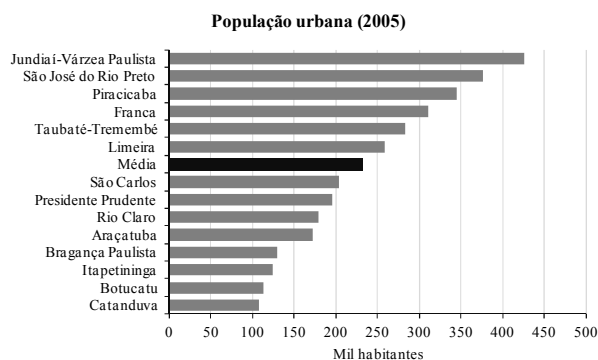


Figura 3.11 - População urbana do ano de 2005 para o grupo de cidades.
Fonte: SEADE (2005).

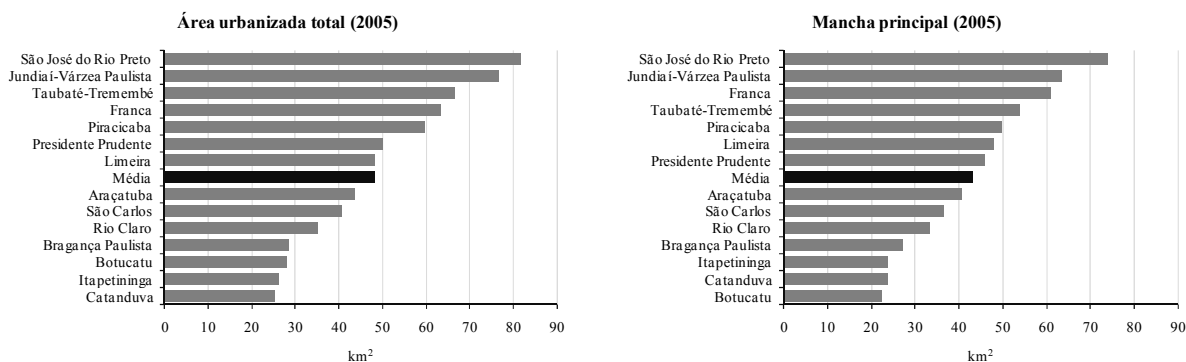


Figura 3.12 - Área ocupada pelas cidades em 2005, para as áreas urbanizadas totais e para as manchas principais.

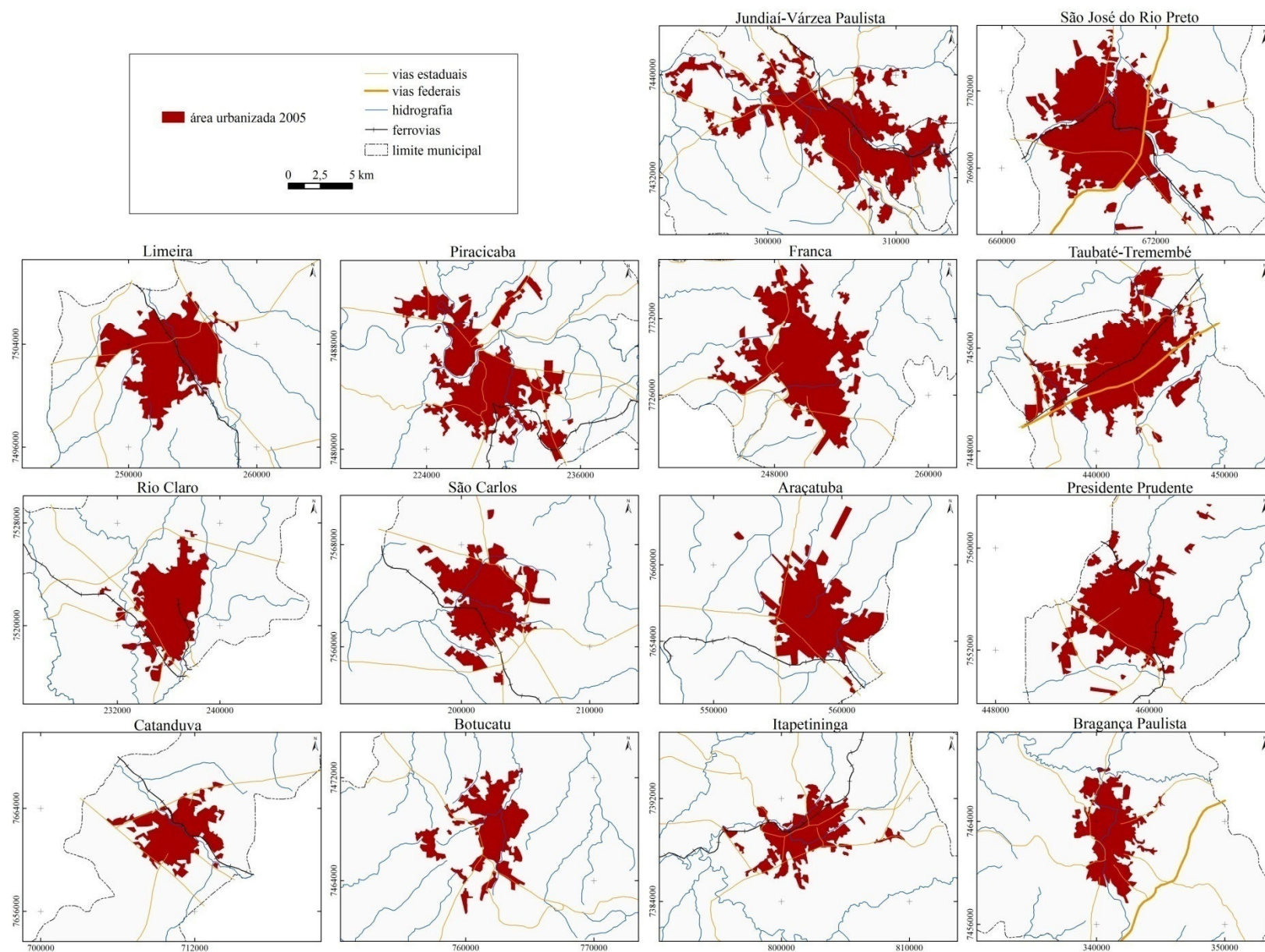


Figura 3.13 - Representação das áreas urbanizadas em 2005.

3.4 Dinâmica espacial das cidades no período entre 1938 e 2005

Em conformidade com os dados apresentados nos itens anteriores, a população urbana das cidades mostrou supremacia a partir da segunda data de análise, o ano de 1985, ou seja, este fato ocorreu ao longo do intervalo temporal entre os anos de 1938 e 1985. Somente as cidades de Bragança Paulista, Itapetininga, Botucatu e Catanduva não atingiram os 100.000 habitantes em 1985. Estas áreas urbanas ultrapassaram este limite populacional após a terceira data de análise (1995)⁷.

Como complemento aos dados de população, a taxa de urbanização de cada cidade ao longo da série temporal adotada, confirma uma vez mais a superioridade da população urbana (Tabela 3.2). Enquanto que em 1938, a população que se concentrava em áreas urbanas era superior a 50% para cinco cidades do grupo em estudo, no período entre 1938 e a segunda data de análise (1985), este cenário modificou-se totalmente.

Tabela 3.2 - Taxa de urbanização para o grupo de cidades, no período entre 1940 e 2010, ordenada pelos dados de 2010.

cidade	Taxa de urbanização (%)				
	1940	1985	1995	2005	2010
Catanduva	47,39	93,17	97,64	98,81	99,20
Franca	43,11	97,20	97,89	98,42	98,23
Araçatuba	37,31	92,11	96,73	97,64	98,07
Presidente Prudente	23,65	95,70	97,29	98,19	97,95
Rio Claro	56,19	95,18	96,53	97,69	97,57
Piracicaba	44,19	93,62	95,92	97,02	97,33
Limeira	43,07	88,85	90,15	96,45	97,02
Bragança Paulista	26,77	79,24	88,78	94,53	96,94
Taubaté-Tremembé	63,81	94,38	93,98	94,73	96,85
Jundiaí-Várzea Paulista	53,41	89,94	93,93	95,64	96,66
Botucatu	52,22	91,95	94,59	96,13	96,35
São Carlos	52,96	92,94	94,41	95,93	96,01
São José do Rio Preto	38,47	95,90	95,55	95,43	93,91
Itapetininga	39,56	79,12	87,45	90,18	90,75
Média	44,44	91,38	94,35	96,20	96,63

A transferência das populações rurais para as áreas urbanas vem sendo verificada e apontada pela ONU e IBGE, e ambos indicam ainda o aumento deste processo no cenário atual.

⁷ A comparação entre os dados de população urbana para o grupo de cidades pode ser verificada nas matrizes geográficas do Apêndice C.

Um estudo recentemente divulgado pela revista *Nature* discutiu a importância da cidade nas pesquisas científicas atuais e também apontou para o grande crescimento da população urbana e os problemas atrelados a este crescimento. Segundo esta pesquisa, mais da metade da população mundial passou a viver em cidades no ano de 2008. Este número tende a aumentar em 2030, quando quase seis em cada dez pessoas passarão a viver em áreas metropolitanas, em razão da grande atração econômica e social. Esta dinâmica populacional urbana repercute na evolução morfológica das cidades com o aumento na demanda por infraestrutura urbana (NATURE, 2010).

De acordo com publicação da UN-HABITAT (2008), até meados do século XX, três em cada dez pessoas no planeta residiam em áreas urbanas. Naquele período, a expansão demográfica foi mais rápida nas cidades ao redor do mundo. Posteriormente, houve um lento e contínuo processo de desaceleração. Hoje, metade da população mundial vive em áreas urbanas, e em meados deste século, todas as regiões serão predominantemente urbanas. Até 2030, todas as regiões em desenvolvimento, incluindo a Ásia e a África, terão mais pessoas vivendo em áreas urbanas que rurais. De acordo com as atuais projeções, praticamente toda a população mundial estará concentrada em áreas urbanas nos próximos 30 anos.

Esta lenta desaceleração no crescimento urbano que ocorreu em escala mundial pode ser verificada também no conjunto de cidades que compõem este estudo. O período entre 1940 e 1985 que representa o primeiro intervalo dos dados, engloba o grande impulso à urbanização que caracterizou o desenvolvimento econômico brasileiro e, especificamente, do estado de São Paulo, com a desconcentração industrial e o êxodo rural, entre outros elementos que contribuíram para este processo. A taxa de variação quanto ao crescimento da população urbana deste período aponta valores superiores a 200%, em vista do grande intervalo entre as primeiras datas de análise. Já entre 1985 e 1995, a taxa de variação permanece entre 18% e pouco mais de 40%, reduzindo-se ainda mais nos intervalos entre 1995-2005 e 2005-2010⁸.

A variação no crescimento populacional pode ser entendida ainda pelos valores médios para população total e urbana do conjunto de cidades, os quais vêm se aproximando ao longo do tempo (Figura 3.14) e confirmam a grande concentração populacional nos centros urbanos. A partir da Figura 3.14, uma vez mais é possível verificar o grande crescimento até 1985 e então a tendência de diminuição no ritmo de incremento populacional no período recente.

⁸ A taxa de variação foi obtida a partir dos dados de população de cada cidade, constantes no Apêndice C.

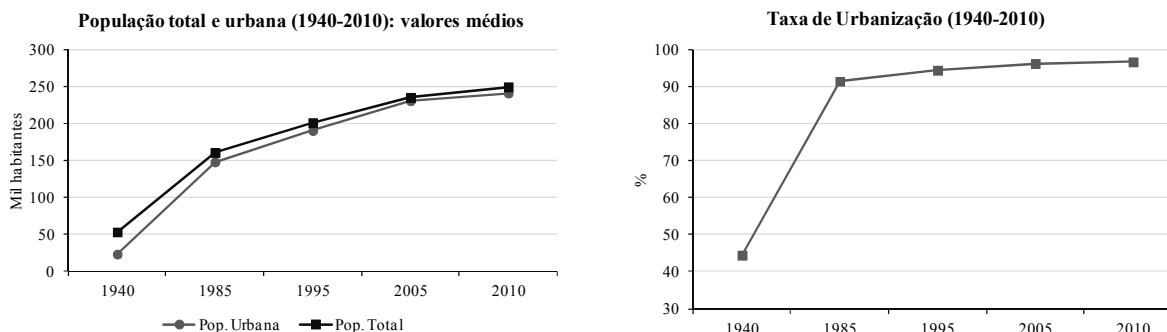


Figura 3.14 - Valores médios de população total e urbana e taxa de urbanização para o grupo de municípios.
Fonte: IPEA (1940); SEADE (1985; 1995; 2005; 2010).

As representações espaciais das áreas urbanizadas permitem identificar a dinâmica de expansão urbana do conjunto de cidades (Figura 3.15) ao longo da série temporal (1938-2005). A dinâmica espacial de expansão urbana das datas de análise também pode ser consultada no Apêndice D, que traz a representação cartográfica da expansão urbana de cada uma das 14 cidades médias no período. As representações estão agrupadas em pares de cidades ordenadas a partir das menores cidades do conjunto, sendo que este Apêndice contém ainda um maior detalhamento da base cartográfica e inclui elementos de toponímia.

Em uma primeira análise, é perceptível a grande dinâmica espacial que se processou no período entre 1938 e 1985. Todas as áreas urbanas aumentaram sua área ocupada a partir da mancha que caracterizava a área urbanizada de 1938. Na maioria dos casos, observa-se que a morfologia inicial (1938) teve participação no direcionamento da expansão urbana das datas posteriores. Ainda, com base nos aspectos morfológicos das cidades, pode-se indicar a existência de impedâncias espaciais que estariam atuando e direcionando o processo de expansão urbana.

As representações cartográficas da expansão urbana permitem observar também a variação quanto ao formato urbano, de alongado à circular. A própria fragmentação no entorno da mancha principal, caracterizada pelos pequenos fragmentos de ocupação urbana que se localizam, na maioria das vezes, nas proximidades das vias de circulação, determinam os principais eixos de expansão. A comparação da morfologia urbana das cidades (Figura 3.15) revela a influência dos principais eixos viários no crescimento urbano.

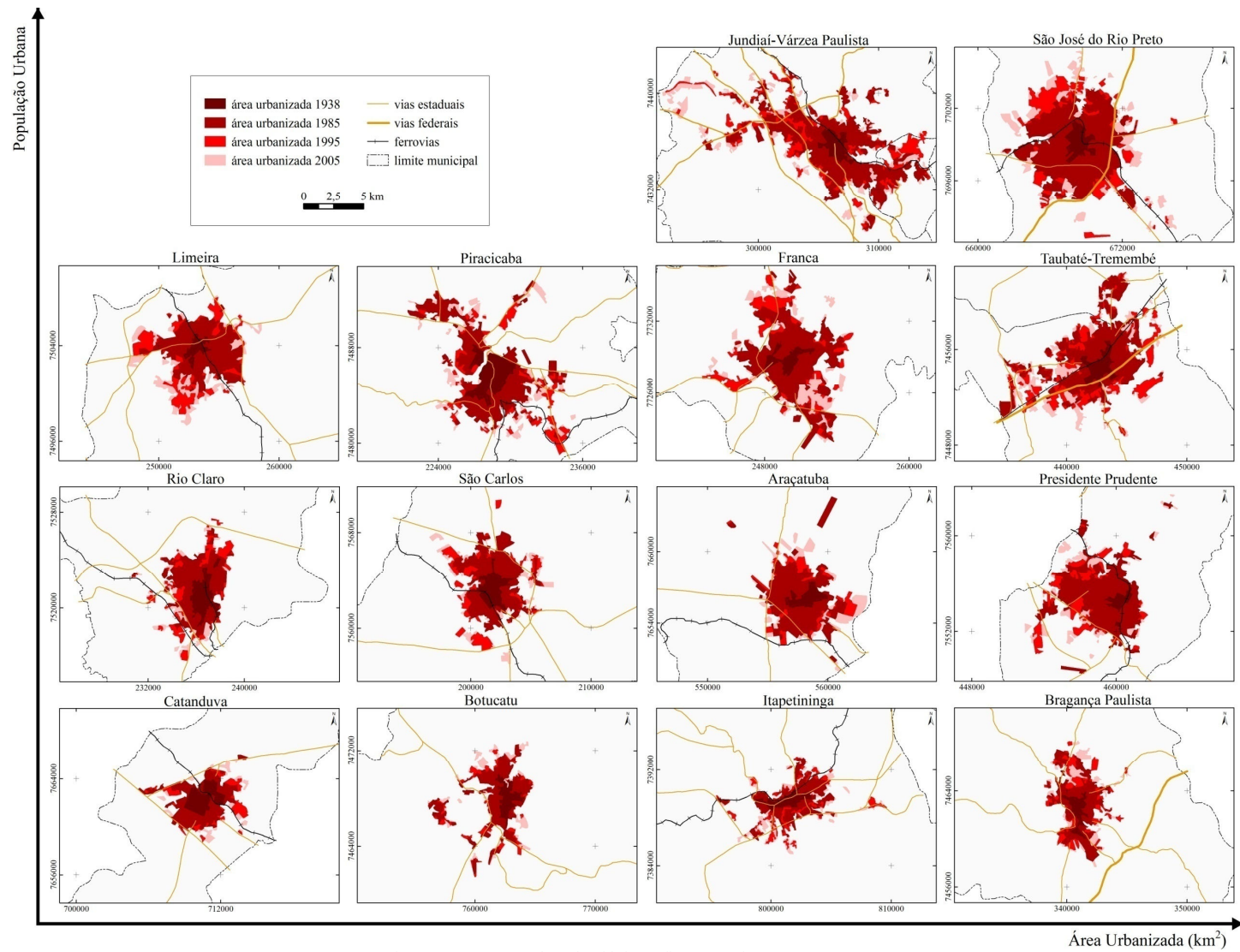


Figura 3.15 - Expansão urbana das cidades médias no período entre 1938 e 2005.

Neste contexto, Reis Filho (2006) também enfatiza a influência das vias de circulação no crescimento e dispersão das áreas urbanas. Considerando as áreas urbanizadas no estado de São Paulo no ano de 2000 (Figura 3.16), pode-se observar que as cidades de maior porte tendem a se concentrar no entorno dos principais entroncamentos viários. O grupo de cidades médias em estudo confirma este fato.

Isto vem de encontro ao que expõe Villaça (2001), quando aponta para a possível estreita relação entre as vias regionais de transporte e o crescimento físico das cidades. Este autor destaca o papel das ferrovias no crescimento descontínuo e fortemente nucleado, em que o núcleo ou pólo se desenvolve junto às estações. Já as rodovias tendem a provocar um crescimento mais rarefeito e descontínuo, assim, menos nucleado que as ferrovias. Este fato, segundo o autor, se deve às diferenças de acessibilidade oferecidas pelos dois tipos de via. Enquanto na ferrovia, a acessibilidade só se concretiza nas estações; na rodovia, pode se concretizar em qualquer ponto.

A área urbanizada do grupo de cidades pode ser observada na Figura 3.17, pela sua quantificação e comparação ordenada com base na data mais recente, no caso o ano de 2005, para cada cidade no período (área urbanizada total e mancha principal). Conforme destacado anteriormente, a maior dinâmica na expansão urbana ocorreu no período entre 1938 e 1985. A menor área urbanizada em 2005 foi a de Catanduva, com pouco mais de 25 km²; a maior área ocupada correspondeu a São José do Rio Preto, com 81,6 km², o que representa um intervalo de pouco mais de 56 km².

Em 1938, a maior área urbanizada era a de Piracicaba, e a menor, a de Presidente Prudente. No entanto, já na segunda data de análise (1985), São José do Rio Preto passou a ter a maior área ocupada, e Itapetininga, a menor. Esta sequência se repete para os dados de área ocupada considerando a mancha principal (Figura 3.17). Este quadro altera-se somente em 2005 para a menor área ocupada, que passa a ser Catanduva, quando se considera a área urbanizada como um todo, e Botucatu, para a mancha principal.

Estes extremos, quanto à área urbanizada, são compatíveis com os dados de população, uma vez que São José do Rio Preto, Piracicaba e Jundiaí-Várzea Paulista apresentaram maiores populações urbanas ao longo da série temporal. Por outro lado, as cidades que apresentaram menores áreas urbanizadas também apresentaram populações menores (ver item 3.3). Assim como a população urbana variou ao longo do tempo, apresentando menor crescimento no período recente, as áreas urbanizadas também evidenciaram esta redução de crescimento, ou seja, um

ritmo menor de urbanização.

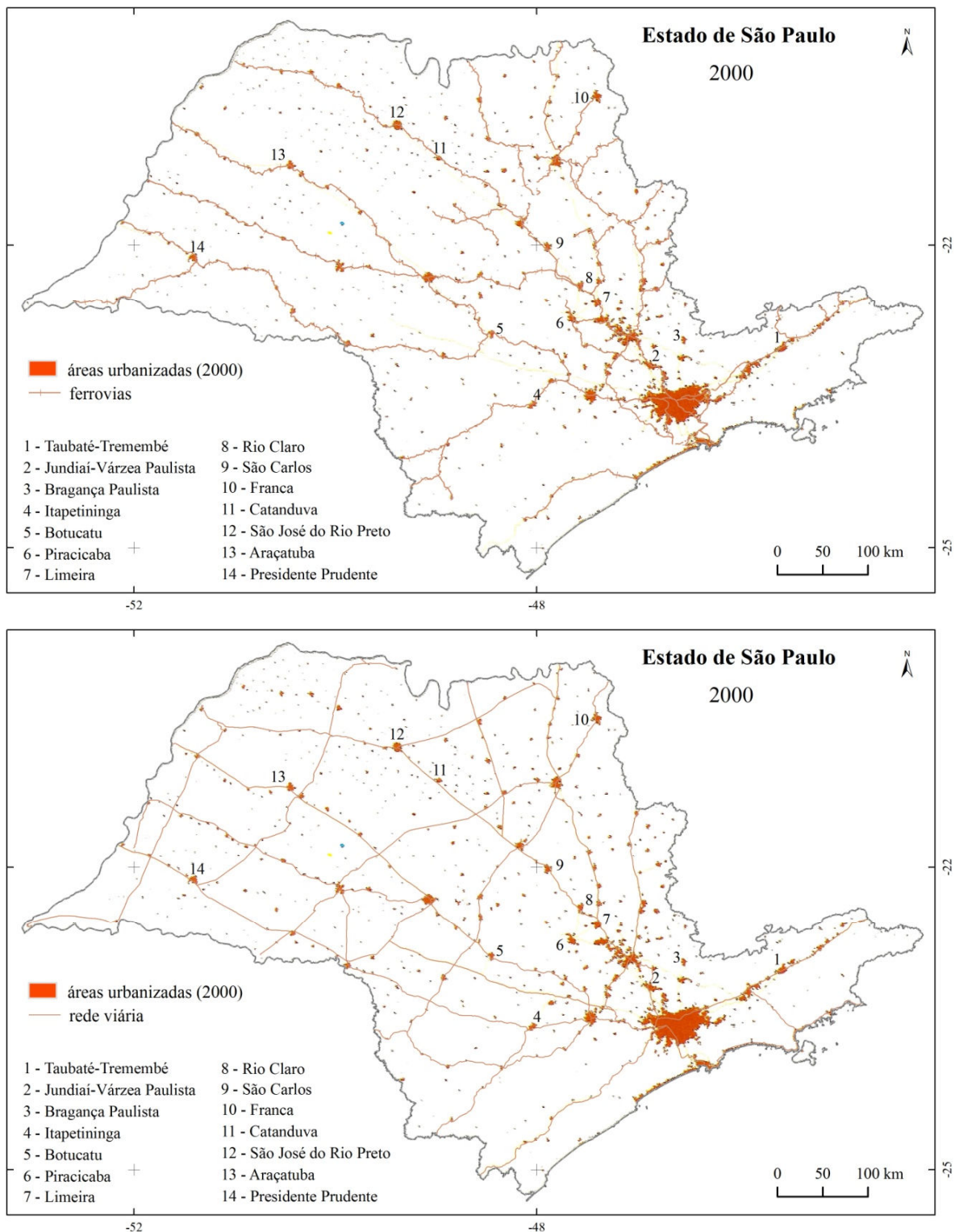


Figura 3.16 - Rede viária principal e ferrovias sobrepostas às áreas urbanizadas do estado de São Paulo (2000).
Fonte: Adaptado de Direito Minerário (2012); Reis Filho (2006).

A análise da forma urbana permite inferir quanto à irregularidade que cada cidade mostra. A forma urbana tende a ser mais irregular em formatos urbanos alongados, como é o caso do aglomerado Jundiaí-Várzea Paulista. No entanto, pode ser mais regular em formatos urbanos que tendem à circularidade (Figura 3.15).

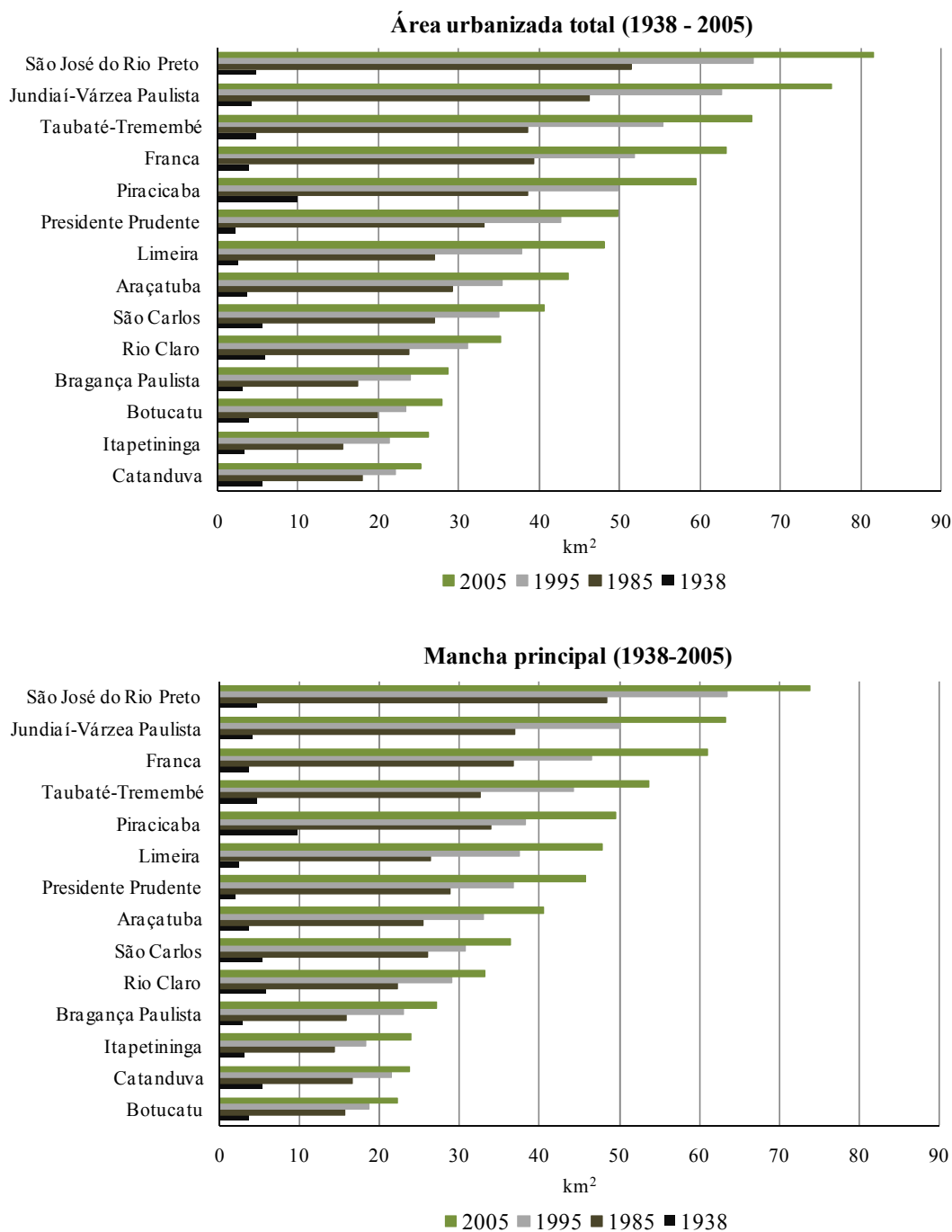


Figura 3.17 - Área urbanizada no período (1938-2005), para a totalidade urbana e para a mancha principal em cada cidade.

As representações da expansão urbana permitem ainda apontar a possível influência do relevo com maior intensidade na morfologia urbana de algumas cidades, como Botucatu, Taubaté-Tremembé e Piracicaba. Estas questões serão retomadas com maior detalhamento na sequência do texto, sendo associadas à estimativa da dimensão fractal e a outras análises propostas com base na análise espacial.

Em linhas gerais, pode-se observar que a fragmentação urbana - presença de fragmentos urbanos nas bordas das manchas urbanas - ocorre em cidades entrecortadas ou alinhadas a importantes eixos de circulação, como Jundiaí-Várzea Paulista e Taubaté-Tremembé. Admite-se ainda a maior fragmentação de borda nas cidades que estão mais próximas aos grandes centros urbanos, como São Paulo e Campinas. Estas áreas periféricas compreendem a transição entre os usos urbano e rural, com predomínio de atividades de cunho urbano, referentes a chácaras e condomínios.

No período recente, têm sido verificadas mudanças no processo de crescimento urbano, no que diz respeito ao modo de expansão das manchas urbanas. Estas alterações tendem a ocorrer nas áreas periféricas, de modo descontínuo e com a possibilidade de formação de novos núcleos urbanos com funções distintas. Este processo é chamado de urbanização dispersa (REIS FILHO, 2006). De fato, isto pode ser verificado na maioria das cidades que compõem o objeto de estudo, uma vez que são cidades médias e de maneira geral estão nas proximidades de importantes vias de circulação, além de constituírem centros urbanos de importância na região em que se inserem.

Ainda de acordo com Reis Filho (2006), estas mudanças são parte de amplos processos de concentração e desconcentração, de fuga dos problemas de congestionamento, que afetam áreas urbanas de maior atividade econômica, além dos custos dos imóveis urbanos, que tendem a ser menores em áreas periféricas ou mesmo em cidades de menor porte, porém próximas a grandes centros urbanos.

Enquanto o processo de urbanização periférica da cidade gera padrões fragmentados, a ideia de cidade compacta fica mais longe da realidade. Não se pode ignorar o fato de que um grande número de pessoas prefere viver nas áreas de transição entre urbano e rural (área de entorno urbano) onde possa usufruir de um ambiente mais calmo e agradável, com áreas verdes, e ao mesmo tempo, tenha acesso aos serviços e facilidades oferecidas pelos centros urbanos. De algum modo, a morfologia das bordas urbanas pode ter resultado desta demanda (THOMAS et al., 2008).

A construção e o surgimento das novas periferias urbanas tende a alterar o panorama da cidade (UEDA, 2006). De acordo com a autora, o modelo considerado tradicional na geografia urbana considera a concentração da população, do comércio e dos serviços nas áreas centrais, sendo que a relação centro-periferia ocorria em função dessas atividades. No momento em que a população de maior poder aquisitivo migra para as periferias das cidades, origina uma dispersão não só em termos de arranjo espacial, mas também das atividades comerciais.

Considerando-se esta tendência de mudanças na configuração das formas urbanas, a dependência locacional de novos empreendimentos urbanos, como os loteamentos, tende a influenciar no direcionamento da morfologia urbana. Neste sentido, a distribuição locacional dos empreendimentos urbanos favorece o crescimento periférico das manchas urbanas, sendo este último, influenciado por interesses especulativos, os quais podem, então, contribuir para a maior fragmentação e irregularidade das formas urbanas.

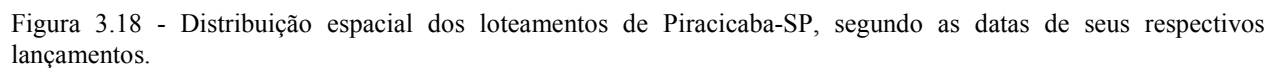
3.4.1 Expansão da forma urbana a partir da inserção de novos loteamentos: estudo de caso para a cidade de Piracicaba (1985-2010)

A análise de padrões espaciais pontuais, em conformidade com o caso em estudo, relaciona-se com a busca pela compreensão de como os pontos que representam o fenômeno estão distribuídos e, se esta distribuição é independente espacialmente. Segundo Hepple (1973), se as variáveis geográficas forem espacialmente independentes e o valor para um lugar não se relacionar aos valores da vizinhança, não haveria ordem ou organização espacial a ser explicada. Os próprios conceitos de diferenciação de áreas e regiões homogêneas não teriam significado.

A independência de padrões espaciais tem sido estudada por geógrafos - principalmente por meio de testes e modelos ecológicos - para padrões de cidades, difusão de inovações (HEPPLE, 1973), temas relacionados ao comércio e indústria, à epidemiologia, entre outros. King (1969) reforça o interesse de muitas áreas da pesquisa geográfica, sobretudo em estudos de difusão espacial, quanto à dinâmica espacial e temporal de padrões pontuais.

Para a efetivação deste teste metodológico de dependência locacional, selecionou-se Piracicaba entre o grupo de cidades em análise. A opção por esta área urbana como modelo de estudo associou-se a sua maior proximidade com as áreas metropolitanas de Campinas e São Paulo e pela sua forma urbana alongada, com a presença do rio Piracicaba atuando como uma impedância espacial. Além disso, pelo próprio direcionamento da expansão urbana por parte das

Ao longo do tempo, verificou-se um grande aumento no número de loteamentos inseridos na configuração da mancha urbana de Piracicaba. A Figura 3.18 mostra o direcionamento quanto à localização espacial dos loteamentos em três momentos: no período entre os anos de 1985 e 2010, no período anterior ao intervalo em análise (1985-2010) e para o ano de 2011.



As principais vias de circulação parecem ter, conforme a Figura 3.18, um papel importante na localização de empreendimentos urbanos, uma vez que muitos loteamentos, principalmente no período recente, estão em suas áreas próximas. Além disso, há uma grande concentração de loteamentos no intervalo entre 1985 e 2010, na porção sudeste da cidade. De fato, esta porção territorial foi considerada como área de expansão urbana pelo plano diretor do referido município aprovado em 1995, conforme pode ser verificado na Figura 3.19.

O plano diretor indicava também o vetor noroeste como eixo de expansão para a cidade. De acordo com o relatório de revisão deste plano diretor, realizado pelo Instituto Pólis (2003), relativo ao levantamento de implantação de loteamentos aprovados nas últimas décadas, constatou-se que a expansão urbana efetivamente ocorreu nestas áreas, porém também no sentido sul e sudoeste. Isto é verificado pela localização dos loteamentos que constituem a Figura 3.18, com destaque para os loteamentos do período recente, ou seja, a partir de 1985.

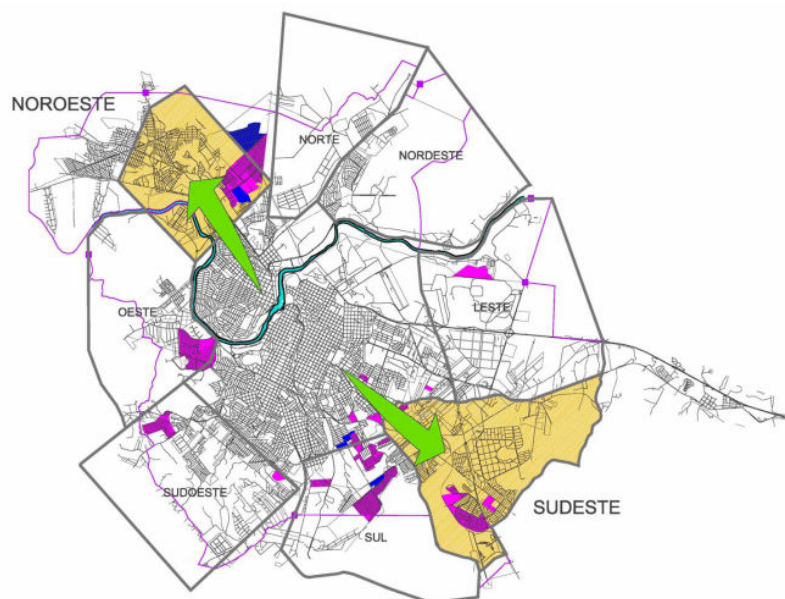


Figura 3.19 - Vetores de expansão urbana (setas verdes) indicados na revisão do plano diretor de planejamento urbano de Piracicaba (1995).
Fonte: Instituto Pólis (2003).

O total de loteamentos lançados entre 1985 e 2010 foi de 132. A frequência temporal (Figura 3.20) permitiu identificar períodos em que foram observadas maiores e menores inclusões de novos loteamentos. Esta variação na frequência de aprovação pode estar relacionada às condicionantes históricas e socioeconômicas que caracterizam o referido intervalo temporal. A baixa frequência do início dos anos de 1990 pode ter relação com a crise derivada da abertura ao

comércio internacional, que resultou na necessidade de um rearranjo econômico a fim de conter o desemprego. Já a maior frequência de loteamentos do período mais recente, pode ser explicada pelo bom momento econômico vivido pelo município.

Piracicaba se destacou como um importante polo produtor de cana-de-açúcar no estado de São Paulo e concentra amplos complexos sucroalcooleiros. Abriga ainda um diversificado parque industrial, com indústrias de grande porte e de tecnologia de ponta, destacando-se nos setores de metalurgia, processamento de alimentos, celulose e têxteis. Possui centros de pesquisa e universidades, cuja atuação é referência nas áreas de agronomia e biotecnologia (SEADE, 2000, citado por ALMEIDA, 2003).

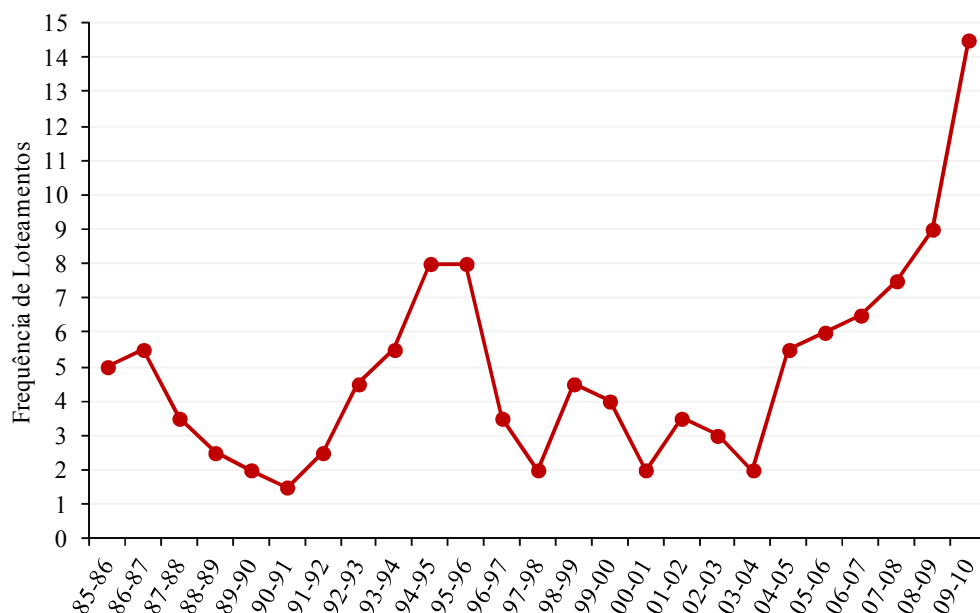


Figura 3.20 - Curva de frequência absoluta anual de loteamentos aprovados em Piracicaba entre 1985 e 2010, representada pela média móvel.

Considerando-se a distribuição espacial dos loteamentos em cada ano, o teste de dependência espacial aplicado aos dados revelou valores de R que variam de 0,638 até 1,176 (Figura 3.21), os quais ocorreram, respectivamente, nos anos de 2010 e 1991. Estes resultados indicam que a distribuição locacional dos loteamentos apresenta tendência a padrões agregados (ver Figura 3.2, item 3.2.2).



Figura 3.21 - Distribuição espacial dos loteamentos de Piracicaba entre 1985 e 2010, e respectivos valores de R .

Na Figura 3.21, está representada a forma urbana de Piracicaba para as três datas de análise desta pesquisa, que compreendem o intervalo temporal deste teste de dependência espacial. A área urbanizada de 1985 está contida nas representações pontuais até o ano de 1994; a área urbanizada de 1995 está contida até o ano de 2004; e a representação da área urbanizada de 2005 até o final da série temporal. Com base nas representações da área urbanizada e na distribuição espacial dos loteamentos em cada ano da série temporal, verificou-se a influência dos loteamentos no direcionamento e na fragmentação da mancha urbana.

Na porção sudeste, a cidade apresentou crescimento mais significativo e de maneira fragmentada. O Instituto Pólis (2003) aponta que o crescimento de forma fragmentada de Piracicaba se iniciou a partir dos anos 1960, atingindo nesta época áreas mais distantes de seu núcleo urbano inicial. Isto ocorreu em razão da abertura de novos loteamentos públicos e privados. Este processo de crescimento espalhado obrigou a extensão progressiva do perímetro urbano e favoreceu também a especulação imobiliária.

A análise integrada das Figuras 3.21 e 3.22 possibilitou a comprovação da hipótese de que a evolução dos loteamentos da cidade de Piracicaba não se deu de forma aleatória. A sua distribuição locacional permitiu inferir sobre a influência de interesses quanto a sua implantação. Este padrão espacial agregado - valores de $R < 1,0$ para grande parte dos anos que compõem a série temporal - tendeu a se acentuar no período recente. Assim, no intervalo analisado é possível identificar dois padrões espaciais predominantes, conforme mostra a Figura 3.22. O padrão A se estende do início da série temporal até o ano de 2003, aproximadamente, onde inicia o padrão B, que se estende até o momento atual.

A grande variabilidade de R ao longo dos anos que compõem o padrão A está associada à frequência de aprovação de novos loteamentos, aliada a fatores históricos que caracterizaram este período, conforme já mencionado anteriormente. Os valores de R calculados para o padrão histórico B apresentam tendência à agregação espacial e formação de grupos. Isto porque a frequência na inserção de novos loteamentos se tornou maior no período recente, além de se concentrar na porção sudeste (Figura 3.21), que apresenta características mais fragmentadas de forma urbana e constitui-se em área de expansão da cidade.

De acordo com Taylor (1977), valores de R próximos aos limites da escala são improváveis, uma vez que muitos fatores tendem a influenciar nos padrões espaciais, como vias de circulação, ferrovias, características de relevo e de uso de cada área. Isto é compatível com o

caso de Piracicaba.

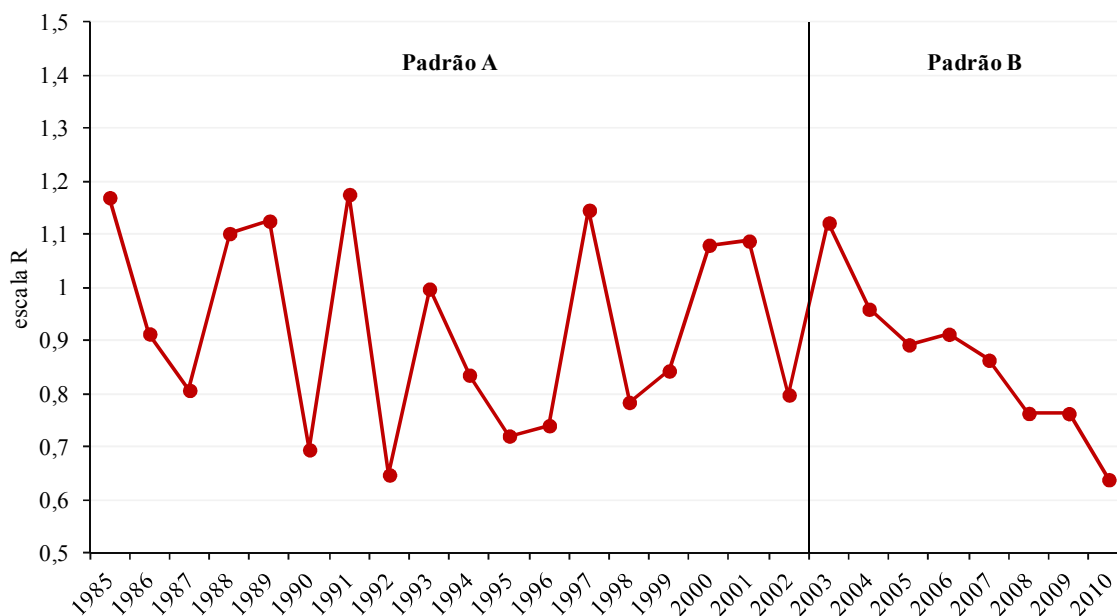


Figura 3.22 - Dinâmica temporal dos valores de R calculados para a distribuição espacial dos loteamentos de Piracicaba (1985-2010).

A partir deste estudo de caso, foi possível generalizar os resultados de dependência espacial obtidos para as demais cidades que compõem a pesquisa. A inserção de novos loteamentos tende a influenciar na expansão da mancha urbana, uma vez que a quase totalidade dos loteamentos de Piracicaba no período analisado localizou-se em áreas periféricas da mancha urbana. A confirmação da hipótese de dependência locacional permite afirmar a influência da implantação de novos loteamentos na configuração morfológica das cidades. Então, interesses especulativos podem direcionar a forma urbana.

A generalização deste fato para as demais cidades é sustentada ainda pelas mudanças que vem ocorrendo nas áreas urbanas, especificamente em sua forma de crescimento, como destaca Reis Filho (2006) ao tratar da urbanização dispersa, e então, da urbanização periférica, fato já destacado no item anterior.

3.5 Conclusões

Assim como a população urbana, a taxa de urbanização tendeu a elevar-se ao longo do

tempo em todas as cidades. A tendência atual configura crescimento contínuo, porém com ritmo menos acelerado. A identificação das áreas urbanizadas de cada cidade, nas quatro datas de análise (1938, 1985, 1995 e 2005), permitiu caracterizar a morfologia urbana quanto à evolução da forma, de formatos alongados para aqueles com tendência à circularidade. Foi possível observar que a expansão das formas urbanas desencadeou-se a partir da morfologia apresentada na primeira data de análise, o ano de 1938.

A dinâmica espacial e temporal das formas urbanas no período esteve relacionada ao processo histórico de urbanização do estado de São Paulo e do Brasil. As maiores mudanças nas cidades em estudo ocorreram no intervalo entre as duas primeiras datas de análise (1938 e 1985). Embora representem um grande intervalo temporal, é ao longo deste que houve o grande desenvolvimento da urbanização. Nas datas de análise de 1995 e 2005, o ritmo de crescimento urbano mostrou-se menor.

As vias de circulação comprovaram sua influência no direcionamento da morfologia urbana, principalmente no período recente, com relação às mudanças no processo de urbanização que estão sendo verificadas, como o fenômeno de dispersão urbana. De modo geral, constituem um dos elementos com maior influência sobre a configuração morfológica das áreas urbanas.

Entre os fatores que podem influenciar no crescimento periférico das cidades, está a especulação imobiliária, conforme verificado no teste de dependência espacial da distribuição dos loteamentos urbanos na cidade de Piracicaba entre os anos de 1985 e 2010. Este teste confirmou a não-aleatoriedade na localização dos loteamentos, evidenciando na maioria dos casos valores de R menores que 1,0, indicativos de agregação espacial. Além disso, foi possível perceber a maior concentração de loteamentos nas proximidades de vias de circulação e em áreas de expansão urbana nas áreas periféricas da cidade. Este fato pôde ser generalizado para as demais cidades do estudo, considerando as características de evolução das formas urbanas.

CARACTERIZAÇÃO DAS FORMAS URBANAS POR MEIO DA ESTIMATIVA DA DIMENSÃO FRACTAL

4.1 Análise espacial das formas urbanas

A simples identificação das formas espaciais, no caso das formas urbanas, é insuficiente, sendo necessário caracterizá-las quanto à expressão espacial, utilizando-se métodos e técnicas contidos na análise espacial. Em uma análise que envolve o conceito de situação geográfica, a expressão espacial das formas se sobressai, e a identificação do arranjo espacial ou dos padrões que o fenômeno em estudo apresenta torna-se fundamental.

A análise de padrões e estruturas espaciais constitui o centro da pesquisa geográfica (HEROLD; COUCLELIS; CLARKE, 2005). Para isto, são utilizadas diferentes métricas espaciais que possibilitam o melhor entendimento da heterogeneidade apresentada pelo espaço em estudo.

As métricas espaciais podem ser definidas como medidas derivadas de análises de mapas temáticos que exibem heterogeneidade espacial em escala e resolução específicas. A utilização de métricas espaciais para mapeamento e modelagem de ambientes urbanos ainda é recente, no entanto, já existem diversas aplicações (HEROLD; COUCLELIS; CLARKE, 2005). De acordo com os autores, as distintas abordagens na representação de conceitos espaciais têm resultado no desenvolvimento de várias métricas espaciais.

Muitas métricas e estatísticas têm sido utilizadas para quantificar a expansão urbana. Métricas são medidas numéricas que quantificam padrões espaciais, podem relacionar-se às manchas de cobertura da terra, às classes de cobertura ou aos mosaicos de paisagens inteiras de uma área geográfica (McGARIGAL; MARKS, 1994). Métricas mais comumente aplicadas em estudos urbanos referem-se ao tamanho da mancha urbana, ao número de manchas e densidade, à dimensão fractal, entre outras.

A disponibilidade de séries históricas de dados de sensoriamento remoto e sua utilização integrada às métricas espaciais podem fornecer importantes informações quanto às mudanças das

características espaciais das cidades ao longo do tempo. Este fato vem de encontro com esta pesquisa, já que uma série temporal é utilizada para representar e caracterizar a expansão das formas urbanas de cidades médias, com base na utilização de uma métrica espacial, no caso, a estimativa da dimensão fractal.

4.1.2 A dimensão fractal como categoria de análise espacial

O termo fractal foi inicialmente proposto por Mandelbrot em artigo publicado no ano de 1967. Neste artigo, o autor apresenta a questão, que segundo De Cola e Lam (1993), os geógrafos já se questionavam anteriormente: qual o comprimento da costa da Grã-Bretanha? Diminuir o tamanho do passo utilizado para medir um litoral mapeado, geralmente aumenta mais que proporcionalmente o número de passos necessários. Este fato tem intrigado muitos pesquisadores.

Por definição, um fractal é uma forma geométrica fragmentada que pode ser subdividida em partes, cada qual correspondendo, pelo menos aproximadamente, a uma cópia menor do todo. Assim, a irregularidade da forma é similar de uma escala para outra, e os objetos possuem a propriedade de auto-similaridade ou escala invariante (MANDELBROT, 1983; FRANKHAUSER, 1994; BATTY; LONGLEY, 1994; BATTY, 2005; THOMAS et al., 2008).

A geometria fractal surge, em parte, pela frustração quanto à incapacidade da geometria clássica ou euclidiana em caracterizar ou medir muitas das formas naturais. Uma linha de costa não é retilínea ou circular, nem uma paisagem pode ser representada por uma função analítica. De maneira semelhante, é difícil ou mesmo impossível descrever flocos de neve, padrões urbanos ou a rede hidrográfica por meios tradicionais. A dimensão fractal pode, portanto, ser usada principalmente como um índice para medir a complexidade de curvas e superfícies (DE COLA; LAM, 1993), constituindo-se no grau de complexidade da forma ou objeto em análise (GOODCHILD; MARK, 1987).

Enquanto a geometria euclidiana busca caracterizar as formas geográficas por meio de correspondências de igualdade e similaridade, a geometria fractal retoma a riqueza original do fenômeno, segundo Xu, Moore e Gallant (1993). Estes autores salientam ainda que novos parâmetros que possam caracterizar melhor a variabilidade da paisagem são necessários e a dimensão fractal poderia ser um desses parâmetros. De acordo com Lam e De Cola (1993), a obtenção da dimensão fractal de um dado geográfico é o primeiro passo para a compreensão da complexidade espacial.

A compreensão da dimensão fractal é facilitada quando comparada às dimensões consideradas pela geometria euclidiana (Figura 4.1). Em termos euclidianos, os objetos estão classificados discretamente em uma dimensão, a exemplo da Figura 4.1, em zero (0), que corresponde a um ponto; em um (1), que corresponde a uma linha; em dois (2), que caracteriza uma superfície; e em três (3), que caracteriza um volume. Já na geometria fractal, os objetos poderão estar em intervalos contínuos de zero (0,0) até um (1,0), de um (1,0) até dois (2,0) e de dois (2,0) até três (3,0), uma vez que estes valores fragmentados permitem maior precisão na determinação da irregularidade das formas (BATTY; LONGLEY, 1994; FRANKHAUSER, 1994).

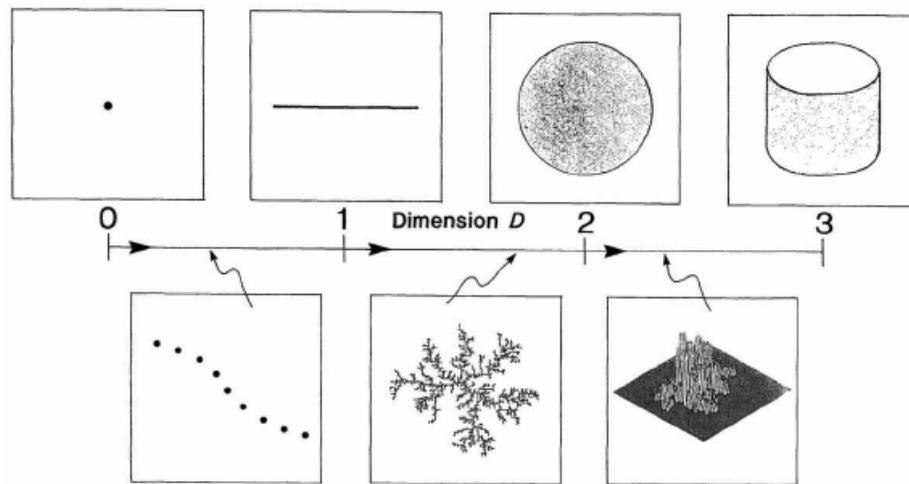


Figura 4.1 - Formas geométricas das dimensões.
Fonte: Batty e Longley (1994)

Para Herold, Couclelis e Clarke (2005), a dimensão fractal descreve a complexidade e a fragmentação de uma mancha como a relação área-perímetro. Baixos valores resultam quando uma mancha apresenta forma compacta, com um perímetro relativamente pequeno para a área que ocupa. Se as manchas são mais complexas e fragmentadas, o perímetro aumenta e a dimensão fractal, consequentemente, será maior.

Análises sob a perspectiva de fractais são identificadas em várias áreas do conhecimento, como a geografia, a geologia, a geomorfologia, a biologia, a computação gráfica entre outras. A utilização da dimensão fractal - particularmente na geografia - relaciona-se à capacidade desta ciência em descrever quantitativamente os aspectos físicos, cujas formas apresentam grande irregularidade e rugosidade, em diversas escalas espaciais (MARQUES; FERREIRA, 2008).

Christofolletti e Christofolletti (1994) apontam que análises fractais possuem amplo campo de aplicação em estudos morfológicos quanto a ocorrências de fenômenos e sistemas em geografia, constituindo-se em técnica para a compreensão da estrutura geométrica de organizações espaciais.

A utilização de fractais em análises urbanas desenvolveu-se, segundo Thomas et al. (2008), sobretudo nos anos de 1990, quando os primeiros artigos mostravam que as cidades poderiam ser conceituadas como fractais em várias escalas interrelacionadas, uma vez que o comportamento fractal está associado com a escala.

Estudos urbanos com base em métodos fractais podem ser verificados nos trabalhos de Batty e Longley (1994), que analisaram o crescimento urbano de Londres no período entre 1820-1962 e identificaram pequenas variações na dimensão fractal ao longo do tempo. De acordo com os autores, a concentração de estruturas urbanas na área central e sua diluição em direção às áreas periféricas são fundamentais para a expansão urbana, pois as áreas periféricas tendem a homogeneizar seu espaço, ou seja, tornarem-se densas antes de ocupar novas áreas. Frankhauser (1994) utilizou métodos de análise fractal na área urbana de Berlim e verificou que a dimensão fractal mostrou grande variabilidade no crescimento do aglomerado urbano em intervalos de tempo menores. Em pesquisas mais recentes, Bolliger e Lischke (2005) utilizaram a geometria fractal para caracterizar as propriedades espaciais e históricas da paisagem do sul de Wisconsin.

Já Thomas et al. (2008) analisaram a morfologia da paisagem construída em Wallonia (Bélgica), utilizando índices fractais a partir do *software* Fractalyse. Terzi e Kaya (2008) caracterizaram a expansão urbana de Istambul por meio da análise fractal entre 1975 e 2005. Os autores concluíram que a dimensão fractal da forma urbana correlaciona-se positivamente com a expansão urbana quando o padrão de crescimento é mais concentrado. Contudo, esta relação passa a ser negativa, quando o padrão de crescimento urbano muda de concentrado para uma forma semilinear.

No cenário brasileiro, no entanto, são poucas as pesquisas que utilizaram fractais em áreas urbanas, principalmente relacionadas a séries temporais. Destaca-se aqui o trabalho de Marques e Ferreira (2006; 2008), que utilizaram métodos relativos à dimensão fractal na Região Metropolitana de São Paulo. A pesquisa propôs-se a compreender o processo de expansão deste aglomerado urbano, cujo acentuado crescimento populacional e ocupação territorial ao longo do século XX tornaram-na referência econômica no cenário mundial. Neste trabalho, também foram

identificadas as tendências similares de crescimento urbano a partir de uma regionalização do aglomerado urbano com base na estimativa da dimensão fractal.

Conforme afirmaram Batty e Longley (1994), enquanto o fractal se constitui em um objeto caracterizado pela irregularidade, forma não-uniforme e tendência de repetição em muitas escalas, as cidades, por constituírem sistemas que manifestam auto-similaridade discreta, passam a ser candidatas ideais para tal estudo. Além disso, de acordo com Marques e Ferreira (2006), a morfologia urbana pode apresentar um comportamento fractal ou mesmo multifractal, uma vez que suas estruturas espaciais apontam propriedades, cujas dimensões variam de acordo com a dinâmica de expansão. Os autores ressaltam também que os métodos para obtenção desta estimativa estão fundamentados em conceitos de tamanho e resolução, aplicados ao estudo do preenchimento do espaço urbano e análise de formas, as quais modelam de maneira dinâmica ou estática os fenômenos da geometria urbana.

Segundo Tannier e Pumain (2005), a referência a fractais na literatura geográfica é relativamente recente, tendo aparecido há menos de 20 anos, e provavelmente novos estudos surgirão, mais numerosos e sistemáticos. A principal vantagem da geometria fractal é fornecer um modelo de referência que seja mais adaptado que a geometria euclidiana para descrever as formas espaciais criadas pela sociedade.

Investigações fractais relacionadas ao contorno das cidades têm mostrado que é possível descrever quantitativamente a irregularidade das formas ou seu aspecto dendrítico (FRANKHAUSER, 2004). A abordagem fractal aplicada em diferentes padrões urbanos, em várias escalas, auxilia na análise da relação de sua morfologia com o contexto histórico que emergiram e assim estabelece relações entre os valores medidos e certos conceitos de planejamento, indicando intenções concretas de urbanismo. O mesmo tipo de organização espacial pode corresponder a seções urbanas fortemente planejadas, mas também pode ser encontrado em padrões menos planejados (FRANKHAUSER, 2004).

Estruturas fractais compartilham a mesma propriedade de heterogeneidade fundamental. Como uma cidade, ou como um conjunto de vilas e cidades, a distribuição de suas massas no espaço nunca é uniforme, nem densa ou diluída (TANNIER; PUMAIN, 2005).

A utilização da dimensão fractal constitui-se em importante instrumento de análise para o monitoramento de objetos no tempo. Dois objetos, ou contextualizando com a temática em estudo, duas cidades, podem ter áreas ocupadas semelhantes, no entanto, suas formas

(morfologia) não serão semelhantes, uma vez que dependem de diversos fatores, sejam relacionados às características de sítio ou às políticas urbanas e ações de planejamento desenvolvidas.

Neste contexto, a dimensão fractal, como métrica da paisagem, foi utilizada para caracterizar as cidades médias quanto a sua complexidade, irregularidade e fragmentação da forma urbana ao longo do tempo, empregando-se métodos diferenciados para a sua estimativa. Diferentes métodos estão compreendidos na literatura para o cálculo da dimensão fractal, em decorrência da variedade de aplicações que podem ser realizadas. Nesta pesquisa, os métodos selecionados referem-se à representação de linhas e de áreas, correspondendo ao perímetro e à área urbanizada; assim, os valores de dimensão fractal correspondem ao intervalo entre um (1) e dois (2), conforme ilustrado na Figura 4.1. O detalhamento dos métodos utilizados e a interpretação dos resultados obtidos estão descritos na sequência do texto.

4.2 Metodologia para caracterização das formas urbanas quanto à dimensão fractal

A base de dados organizada no Capítulo 2, bem como os resultados do Capítulo 3, relativos às áreas urbanizadas identificadas para cada uma das datas de análise (1938, 1985, 1995 e 2005) foram utilizados para o desenvolvimento desta etapa da pesquisa (Figura 4.2).

Inicialmente, as áreas urbanizadas foram exportadas para o software IDRISI, onde foram reclassificadas para que contivessem somente valores binários (0 e 1). Esta reclassificação foi necessária em consequência da fragmentação das áreas urbanizadas (módulo *Reclass* do IDRISI).

Após esta fase, procedeu-se à conversão dos dados vetoriais binários para o formato matricial, com resolução de 30 m, em conformidade com a resolução espacial das imagens LANDSAT TM 5. O tamanho de cada arquivo matricial (linhas e colunas) foi definido com base na extensão territorial de cada município. Esses arquivos matriciais serão utilizados na obtenção da dimensão fractal, pelos métodos selecionados.

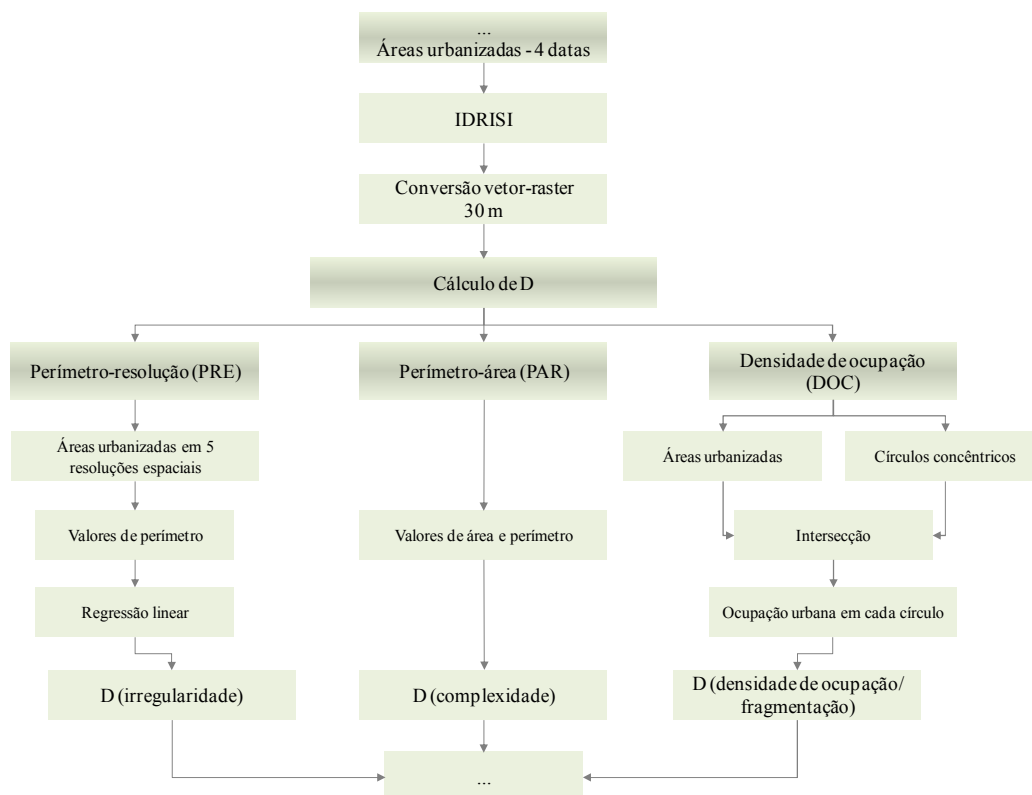


Figura 4.2 - Sequência metodológica para obtenção dos valores de dimensão fractal (D).

4.2.1 Métodos de cálculo da dimensão fractal (D)

Os métodos para estimativa da dimensão fractal constituem medidas do grau de não-homogeneidade em uma distribuição espacial (FRANKHAUSER, 1998). Nesta pesquisa, a definição dos métodos de cálculo da dimensão fractal ocorreu a partir de testes metodológicos com base nos dados obtidos para as áreas urbanas e verificação de sua adequação aos objetivos desta pesquisa. Os métodos para o cálculo da estimativa de D selecionados foram:

1. Relação perímetro-resolução (PRE);
2. Relação perímetro-área (PAR);
3. Densidade de ocupação (DOC).

Na sequência, são apresentadas as etapas de organização e preparação dos dados para o cálculo de D em cada um dos três métodos. Ressalta-se que os três métodos foram calculados para as áreas urbanizadas com os fragmentos (área urbanizada total) e para as manchas urbanas principais (mancha principal).

4.2.1.1 Método perímetro-resolução (PRE)

A dimensão fractal calculada pela relação perímetro-resolução foi adotada com base nos estudos de Mandelbrot (1967; 1983), Goodchild (1980), Longley e Batty (1989), De Cola e Lam (1993) e Marques e Ferreira (2006). Estes trabalhos abordam a questão do aumento de detalhes de um fenômeno à medida que a resolução espacial aumenta, como detectado em estudo desenvolvido por Richardson (1961) e citado por estes autores. Assim, utiliza-se uma série de medidas de curva, no caso comprimentos de perímetro, a partir de diferentes resoluções espaciais para se obter o valor de D.

Este método, também conhecido como método de Mandelbrot, determina a dimensão fractal de um fenômeno linear, como contornos, por meio da medida de seu comprimento utilizando um ‘divisor’ ou passo determinado (XU; MOORE; GALLANT, 1993) e sua relação matemática é:

$$L(r) = Cr^{1-D} \quad (4.1)$$

em que, D é a dimensão fractal, L(r) é o perímetro, r é o divisor ou passo (resolução) e C, uma constante. Esta fórmula pode ser escrita também na forma logarítmica da seguinte maneira (utilizada nesta pesquisa):

$$\log L(r) = \log C + (1 - D)\log(r) \quad (4.2)$$

Os parâmetros D e C foram estimados por meio de regressão linear, ajustada ao gráfico log-log de L(r) por r, correspondendo à inclinação e ao intercepto, respectivamente. Para este método de cálculo de D, são necessários dados em diferentes resoluções espaciais, as quais se constituem em diferentes divisores (r).

A partir da resolução original das imagens orbitais (30 m), utilizada para a conversão vetor-raster de todas as áreas urbanas, conforme descrito anteriormente, optou-se por utilizar como critério, dobrar o valor da resolução anterior, a partir da resolução original de 30 m. Desta forma, foram utilizadas cinco resoluções diferentes para as áreas urbanizadas neste método, sendo elas: 30, 60, 120, 240 e 480 m. A Figura 4.3 mostra as diferenças destas resoluções para uma das cidades da pesquisa no ano de 2005.

Após a conversão de todas as áreas urbanizadas em cada data de análise (área urbanizada

total e mancha principal), foram calculados os valores de perímetro das áreas urbanizadas em cada resolução. Estes valores nas respectivas resoluções espaciais possibilitaram o cálculo do método utilizando-se regressão linear (módulo *Regress* do IDRISI). Os resultados deste método concentram-se no intervalo entre um e dois ($1 \leq D \leq 2$), indicando a irregularidade do perímetro, pois quanto mais se afastarem de um (1), mais irregular será o contorno urbano.

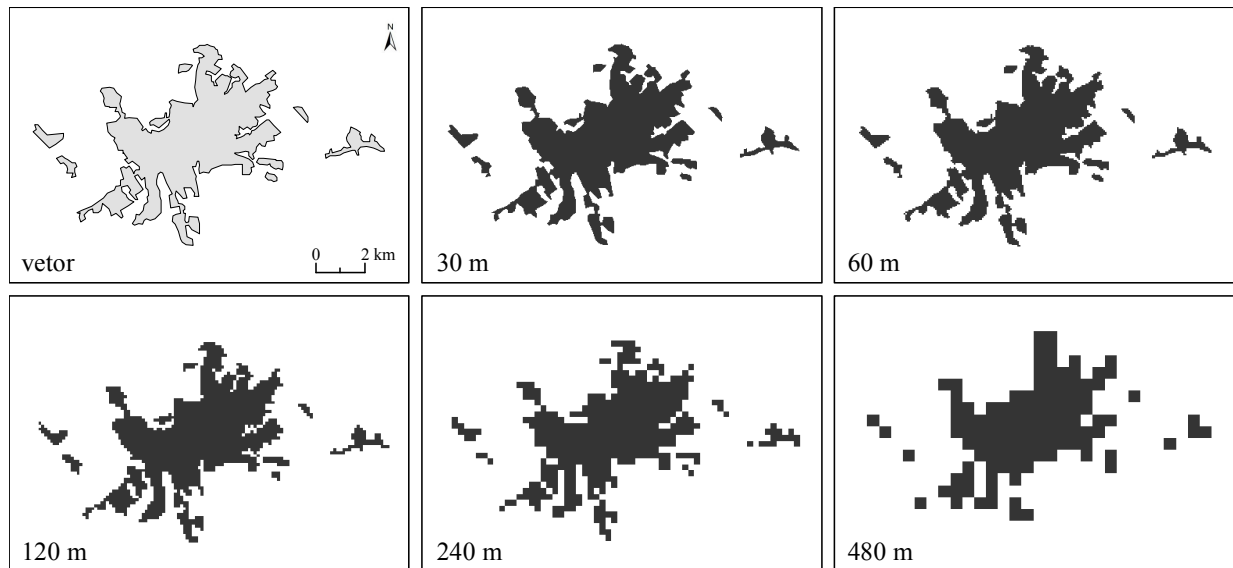


Figura 4.3 - Representação da área urbanizada de Itapetininga para o ano de 2005 no formato vetor e nas cinco resoluções utilizadas.

4.2.1.2 Método perímetro-área (PAR)

O método para obter D pela relação perímetro-área quantifica o grau de complexidade das formas urbanas. Este método relaciona o perímetro de uma forma à sua área para medir o grau de complexidade. Esta proposta de obtenção de D também advém dos estudos de Mandelbrot, quando propôs a teoria fractal. Nesta pesquisa, a relação perímetro-área foi calculada utilizando a proposição metodológica de McGarigal e Marks (1994), que embora concebida em estudos de ecologia da paisagem, tem sido utilizada em aplicações urbanas como Sanches e Ferreira (2008) e Rodrigues (2009),

$$D = \frac{2 \ln (0.25P)}{\ln A} \quad (4.3)$$

em que, P corresponde ao perímetro da mancha urbana, e A, à área urbanizada.

Para o cálculo de D por este método, foram utilizados os valores de área urbanizada e

respectivo perímetro em cada cidade média na resolução de 30 m. O resultado desta relação mantém-se entre um e dois ($1 \leq D \leq 2$); quando se aproxima de um (1), indica formas mais simples quanto ao perímetro; quando se afasta de um (1), indica maior complexidade da forma urbana.

4.2.1.3 Método da densidade de ocupação (DOC)

Para o cálculo deste método, utilizaram-se como base os estudos de Batty e Longley (1994), Frankhauser (1994; 1998), Batty e Xie (1996), Longley e Mesev (2002), Marques e Ferreira (2006; 2008). O desenvolvimento deste método demanda inicialmente a obtenção dos dados de densidade de ocupação com a distância do centro urbano.

Estes dados foram obtidos por meio de círculos concêntricos, de acordo com metodologia proposta por Marques e Ferreira (2006; 2008). O centro médio de cada cidade foi calculado a partir das áreas urbanizadas, já em formato matricial (30 m), para o ano de 1938 - primeiro dado de ocupação urbana das cidades e, portanto, com maior probabilidade de acerto quanto à posição do centro urbano de cada cidade⁹. O cálculo do centro médio (IDRISI: *Gis Analysis, Statistics, Center*) resulta nas coordenadas e respectivas linhas e colunas que indicam a posição geográfica do centro médio de cada área urbanizada naquela data.

A partir das coordenadas de posição, foram elaborados arquivos vetoriais com a localização de cada centro médio. Em seguida, estes arquivos foram convertidos para o formato matricial também com resolução espacial de 30 m, com base nas dimensões correspondentes a cada cidade.

Os arquivos matriciais dos centros médios foram utilizados para a geração das superfícies de isodistâncias concêntricas de cada cidade (IDRISI: *Gis Analysis, Distance Operators, Distance*). Estas superfícies foram reclassificadas, atribuindo-se valor de raio de 500 m (módulo *Reclass*).

Após a reclassificação das superfícies de isodistâncias, foi realizada a etapa de individualização dos círculos concêntricos em arquivos independentes. Esta nova operação de reclassificação foi repetida para cada círculo e em cada cidade, de forma a obter o número de círculos concêntricos que abrangesse a totalidade de cada área urbanizada em cada data de análise (Figura 4.4).

⁹ O Apêndice E traz um teste de cálculo para a obtenção do centro médio urbano a partir dos marcos zero de cada cidade do grupo em análise. O teste comprovou a pouca variação nos resultados, considerando-se o centro médio de 1938 ou o marco zero, de acordo com a escala utilizada nesta pesquisa.

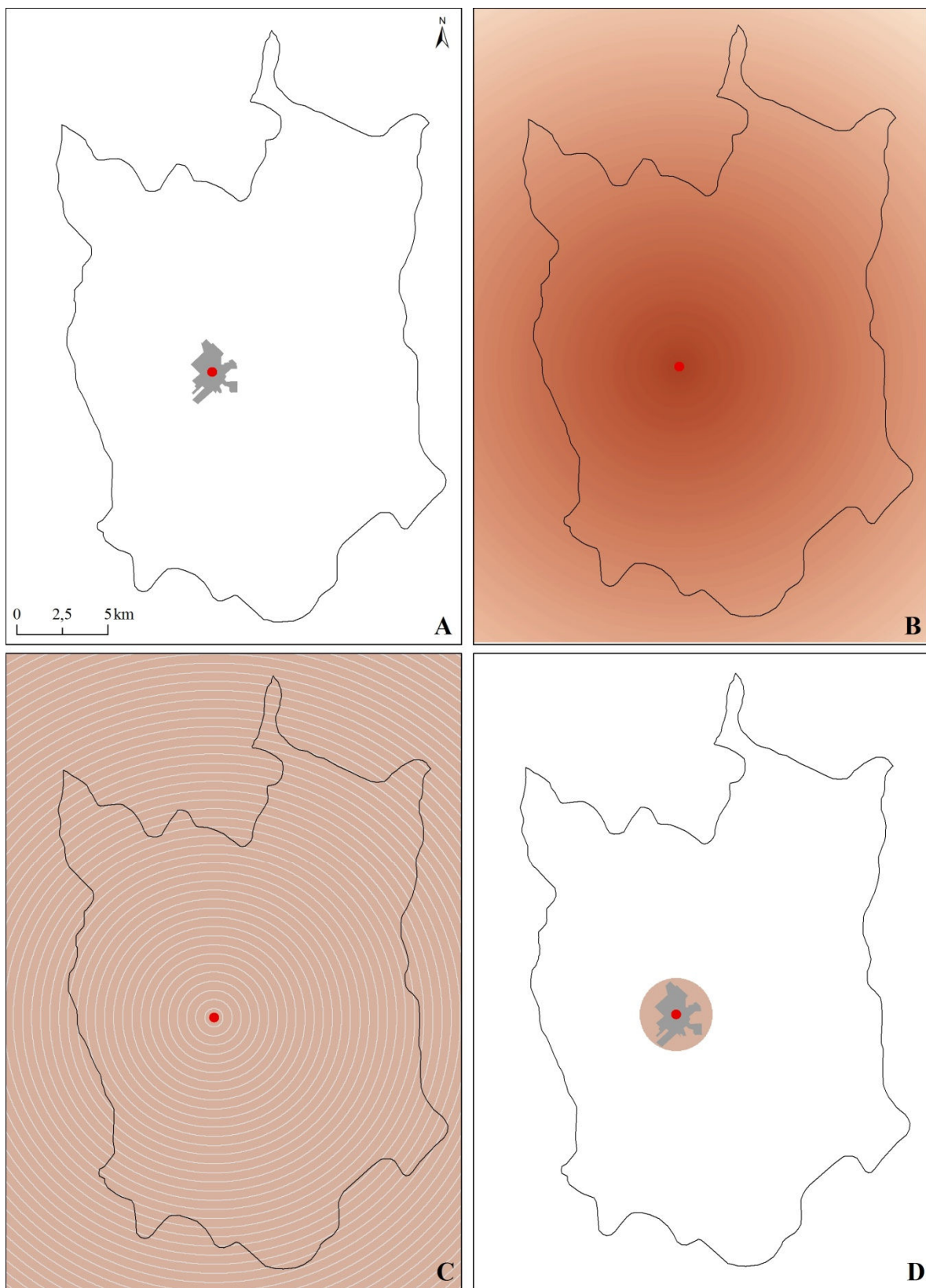


Figura 4.4 - Obtenção dos círculos concêntricos. A) Centro médio da área urbanizada de São José do Rio Preto em 1938; B) Superfície de distâncias a partir do centro médio; C) Reclassificação das distâncias com valor de raio de 500 m; D) Individualização de um dos círculos que cobrem a área urbanizada em 1938 (raio de 2.000 m).

A densidade de ocupação urbana, considerando-se a distância até o centro urbano, foi obtida com a sobreposição dos círculos concêntricos às respectivas áreas urbanizadas. Uma operação de intersecção foi realizada para cada círculo concêntrico, em cada área urbanizada, e repetida nas diferentes datas de análise. A sobreposição dos círculos às áreas urbanizadas bem como o número de círculos utilizados para cada cidade está no Apêndice F. A Figura 4.5 sintetiza o procedimento realizado, exemplificando os resultados obtidos para o ano de 1938 em uma das cidades analisadas; no caso, a área urbanizada atingiu quatro círculos concêntricos.

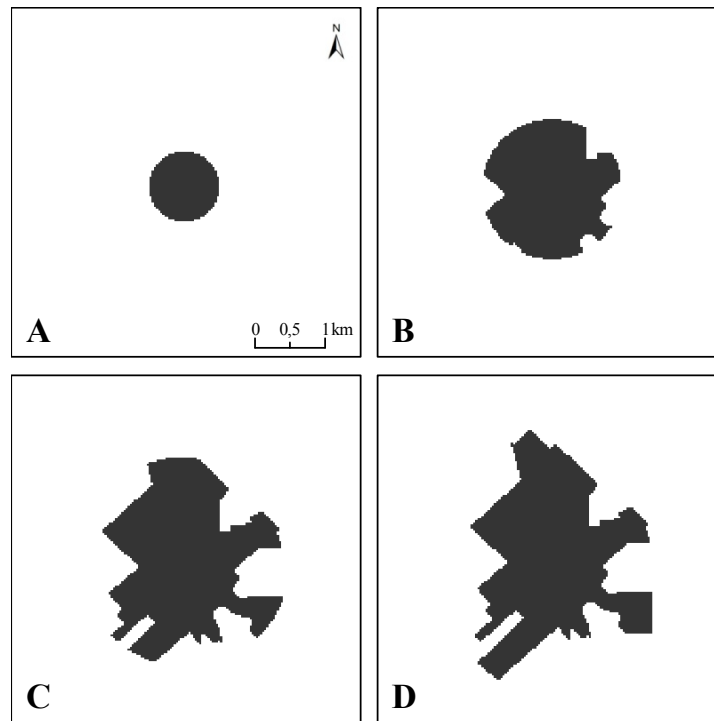


Figura 4.5 - Intersecções entre os círculos e a área urbanizada de São José do Rio Preto em 1938. A) Círculo com raio de 500 m; B) Círculo com raio de 1.000 m; C) Círculo com raio de 1.500 m; D) Círculo com raio de 2.000 m.

Os arquivos resultantes da etapa de intersecção entre círculos e áreas urbanizadas possibilitaram a obtenção dos valores de área e perímetro ocupados com o aumento da distância em relação ao centro urbano nas quatro datas consideradas. Também foram calculados a área e o perímetro total de cada círculo concêntrico.

A densidade de ocupação (ρ) é obtida pela relação entre a área total de cada círculo e a área efetivamente urbanizada de cada círculo.

$$\rho(R) = \frac{N(R)}{A(r)} \quad (4.4)$$

em que $\rho(R)$ é a densidade de ocupação de objeto de tamanho R considerando a distância em relação ao centro urbano, no caso, a área urbanizada em cada data; $N(R)$ é a quantidade de partes (células, pixels) que representam a ocupação em cada círculo, e $A(r)$ refere-se à área total ocupada por cada círculo (MARQUES; FERREIRA, 2006).

Com a tabulação dos valores de densidade de ocupação e os raios ocupados pela área urbanizada a partir do centro urbano, foi possível o cálculo de D pelo método DOC com base na seguinte relação:

$$D(R) = 2 + \frac{\log \rho(R)}{\log R} \quad (4.5)$$

em que $D(R)$ é a dimensão fractal de cada valor R a partir do centro urbano. Considera-se $D=2$ quando a área do círculo estiver totalmente preenchida com área construída, ou o valor de D será igual à área do círculo. Quando $1 < D < 2$, o preenchimento do círculo será incompleto e apresentará diferentes graus de fragmentação. Assim, D varia com a distância até o centro urbano, e a fragmentação poderá aumentar em direção às bordas, ou diminuir, quando o preenchimento urbano desenvolver-se de forma homogênea e sem barreiras naturais ou antrópicas.

4.3 Comportamento da morfologia urbana com base na dimensão fractal

O aspecto morfológico irregular e complexo que as cidades apresentam, conforme verificado no capítulo anterior, sustenta a necessidade de utilizar novas formas de análise para a expansão das áreas urbanas.

A estimativa da dimensão fractal permite caracterizar as formas urbanas no tempo e no espaço, por meio do monitoramento de seu crescimento que está relacionado com o uso do solo, a utilização de tecnologias para a construção, a demanda por áreas residenciais, a mobilidade da população, o sistema de transportes, entre outros. Assim, a importância da dimensão fractal está na interpretação do processo de crescimento urbano que tende a constituir a organização espacial das cidades.

Neste contexto, os três métodos selecionados para esta pesquisa - relação perímetro-resolução (PRE), relação perímetro-área (PAR) e densidade de ocupação (DOC) - visam analisar

a irregularidade, a complexidade e a forma de preenchimento urbano de cidades médias. Em todos os métodos, os valores de D estão entre 1,0 e 2,0, pois as cidades foram tratadas como superfícies e a forma predominante de representação espacial ocorreu por meio de representações cartográficas.

4.3.1 A irregularidade de perímetro da forma urbana

Os valores de perímetro em cada uma das cinco resoluções espaciais, utilizadas nesta pesquisa, compreenderam a entrada para a regressão linear de cada área urbanizada. O valor de D correspondeu à inclinação da reta resultante da regressão¹⁰, conforme descrito na Seção 4.2.1.1. Na relação PRE, os valores de D obtidos representam a irregularidade do perímetro. Para este cálculo, duas resoluções seriam originalmente utilizadas. No entanto, aplicações do método orientam a utilização de uma série maior de resoluções e respectivos valores de perímetro ocupado para confirmação de D (LONGLEY; BATTY, 1989).

Os resultados obtidos pelo método PRE são apresentados na Figura 4.6, para cada ano e comparados ao valor médio de D para o grupo de cidades na respectiva data de análise, tanto para a totalidade urbana (à esquerda), como para a mancha urbana principal (à direita) de cada cidade.

À medida que os valores de D se distanciam de 1,0, aumenta a irregularidade do perímetro. No grupo de cidades analisadas, D variou de 1,0381 para Catanduva em 1938 até 1,2358 para Itapetininga em 1985, para a área urbanizada total. Para a mancha urbana principal, o maior valor de D ocorreu também para a área urbanizada de Itapetininga em 1985.

A análise mais detida dos gráficos da Figura 4.6 permite identificar alguns padrões nos valores de D (PRE) obtidos para o conjunto de cidades, considerando a área urbanizada total e as manchas principais. Assim, as áreas urbanizadas de Bragança Paulista e Jundiaí-Várzea Paulista apresentaram valores de D mais elevados (maior irregularidade) e acima da média do grupo de cidades, em todas as datas de análise. Franca e Araçatuba apresentaram perímetros com menor irregularidade ou valores de D menores e abaixo da média do grupo, igualmente nas quatro datas de análise.

¹⁰ No Apêndice G, estão as tabelas de cálculo e as equações resultantes da regressão linear obtidas para o método perímetro-resolução.

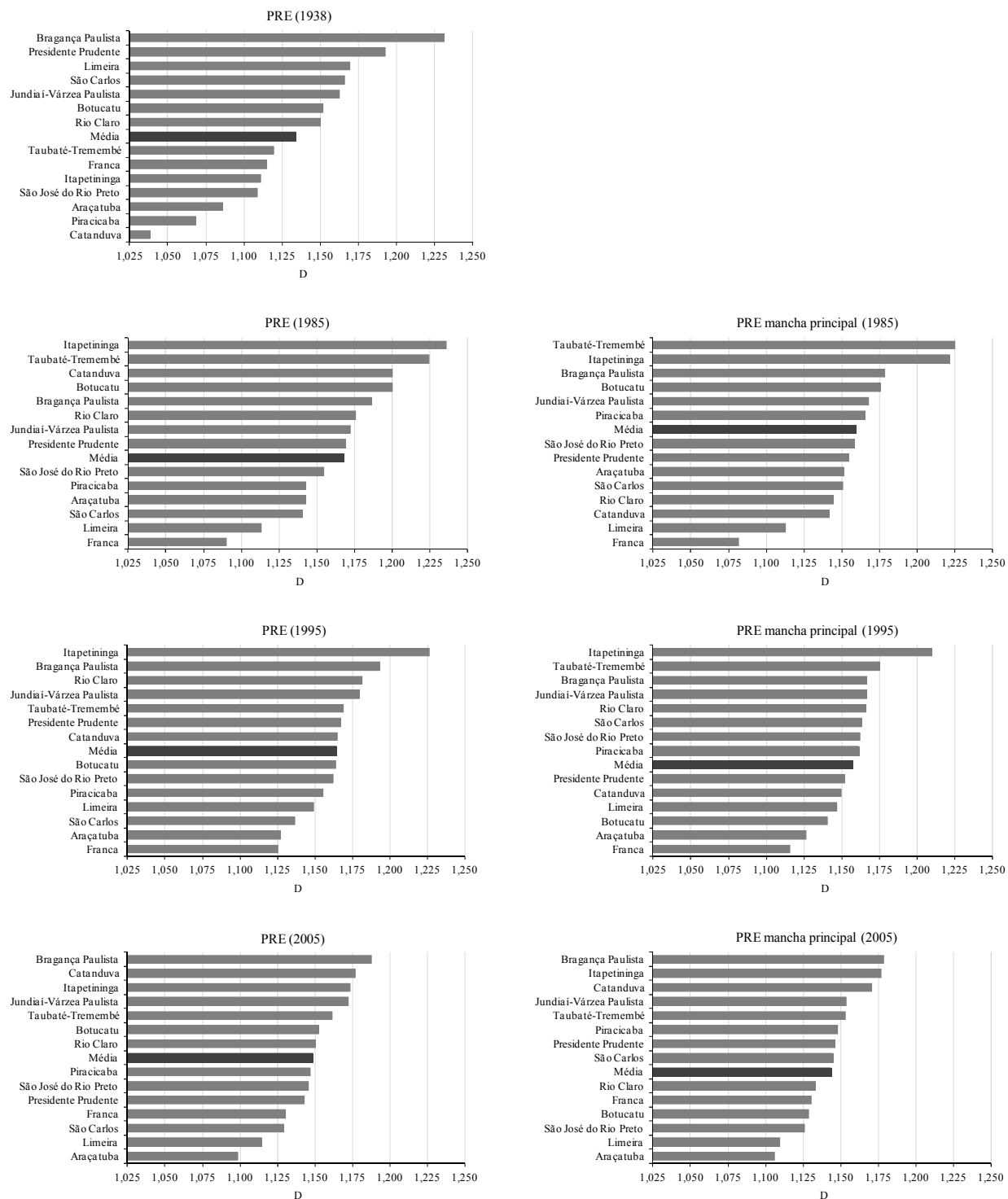


Figura 4.6 - Valores de D pelo método PRE para as áreas urbanizadas totais (à esquerda) e para as manchas principais (à direita).

O aglomerado Taubaté-Tremembé e a cidade de Itapetininga eram menos irregulares em 1938, e seus valores de D tenderam a aumentar, permanecendo acima da média nas demais datas.

Já Limeira apresentava um dos maiores valores de D em 1938, entretanto, nas demais datas seus valores passaram a estar entre os mais baixos, fato que comprova seu aspecto morfológico circular, de certa forma mais compacto.

A área urbanizada de São José do Rio Preto manteve valores de D abaixo da média em todas as datas, à exceção de 1995 para a mancha principal. No entanto, a proximidade dos valores com a média, em quase todas as datas, reflete sua morfologia de crescimento e preenchimento ao longo do tempo. Piracicaba, para citar mais um exemplo, apresentou valores de D abaixo da média nas quatro datas, o que indica menor irregularidade do perímetro para sua área urbanizada total. Porém sua mancha principal mostra valores maiores de D. As demais cidades apresentaram maiores oscilações nos valores de D ao longo da série temporal.

De modo geral, os valores de D para o método PRE aumentaram ao longo das quatro datas analisadas, o que indica expansão das formas urbanas, porém com aumento da irregularidade de seus perímetros, independente de seu tamanho populacional ou área ocupada. Ao se comparar os dados de população apresentados no Capítulo 3 aos valores de D (Figura 4.6), observa-se que cidades com menor população urbana apresentam valores de D mais elevados, portanto, são mais irregulares, como Itapetininga e Bragança Paulista. Ao mesmo tempo, estas mesmas cidades estão entre as áreas urbanizadas com menores proporções.

O período entre 1938 e 1985, que abrigou a maior intensidade nos processos de urbanização e industrialização do estado de São Paulo e, por consequência, deste grupo de cidades, de fato, apresentou o maior acréscimo de irregularidade às formas urbanas. Conforme verificado no capítulo anterior, isto se deve também ao maior investimento no setor de transportes que tende a influenciar de maneira significativa na morfologia urbana.

Estes resultados são compatíveis com o teste de quatro variações deste mesmo método elaboradas por Longley e Batty (1987; 1989) para a área urbanizada de Cardiff, Walles em quatro datas de análise (1886, 1901, 1922 e 1949). Os autores verificaram uma diminuição da irregularidade da cidade entre 1886 e 1922, a qual não pode ser especificamente atribuída às mudanças de algum processo de desenvolvimento. No estudo, é destacado o maior controle social sobre o desenvolvimento físico, no final dos séculos XIX e XX, juntamente com a maior acessibilidade em virtude das melhorias nos transportes que acabaram culminando com esta gradual redução da irregularidade das zonas urbanas da referida cidade. Outro estudo, desenvolvido por Shen (2002), obteve a dimensão fractal para 20 cidades dos Estados Unidos e

associou os resultados com as áreas urbanizadas e com a população urbana das referidas cidades, encontrando correlação satisfatória.

4.3.2 A complexidade da forma urbana

Os valores de D para este segundo método de cálculo foram obtidos a partir dos dados de área e perímetro de cada cidade, conforme metodologia proposta por McGarigal e Marks (1994). A relação perímetro-área (PAR) permite analisar o grau de complexidade das formas urbanas (Apêndice H). Os resultados obtidos pelo método PAR estão nos gráficos da Figura 4.7, apresentados para cada ano e comparados ao valor médio de D para o grupo de cidades na respectiva data de análise. Da mesma forma que no método anterior, à esquerda da Figura 4.7, encontram-se os valores de D para as áreas urbanizadas totais, e à direita, para as respectivas manchas urbanas principais.

A forma urbana tende à maior complexidade à medida que os valores de D se distanciam de 1,0. O menor valor de D foi identificado em Catanduva (1,0860), em 1938, e o maior valor foi estimado para o aglomerado Jundiaí-Várzea Paulista em 1995 (1,2463), para a área urbanizada total e em 1985 (1,1970), para a mancha principal.

A análise conjunta dos gráficos da Figura 4.7 e das representações cartográficas do Apêndice D e da Figura 3.15 permite verificar que as cidades acima do valor médio de D, a partir do ano de 1985, apresentam formato alongado em sua totalidade. Em contraponto, as cidades com valores de D menores que a média apresentam formatos que tendem à circularidade. Além disso, observa-se a menor mobilidade nos valores de D das áreas urbanas ao longo do tempo, ou seja, aquelas que apresentaram forma mais complexa e acima da média tenderam a manter este padrão em todo o período. A exceção a este fato está na primeira data de análise (1938), onde a variação foi mais acentuada, em consequência da fonte dos dados, atrelada a mapas históricos, e ainda, ao grande intervalo temporal até a segunda data de análise (1985), período que compreendeu intensa dinâmica espacial urbana.

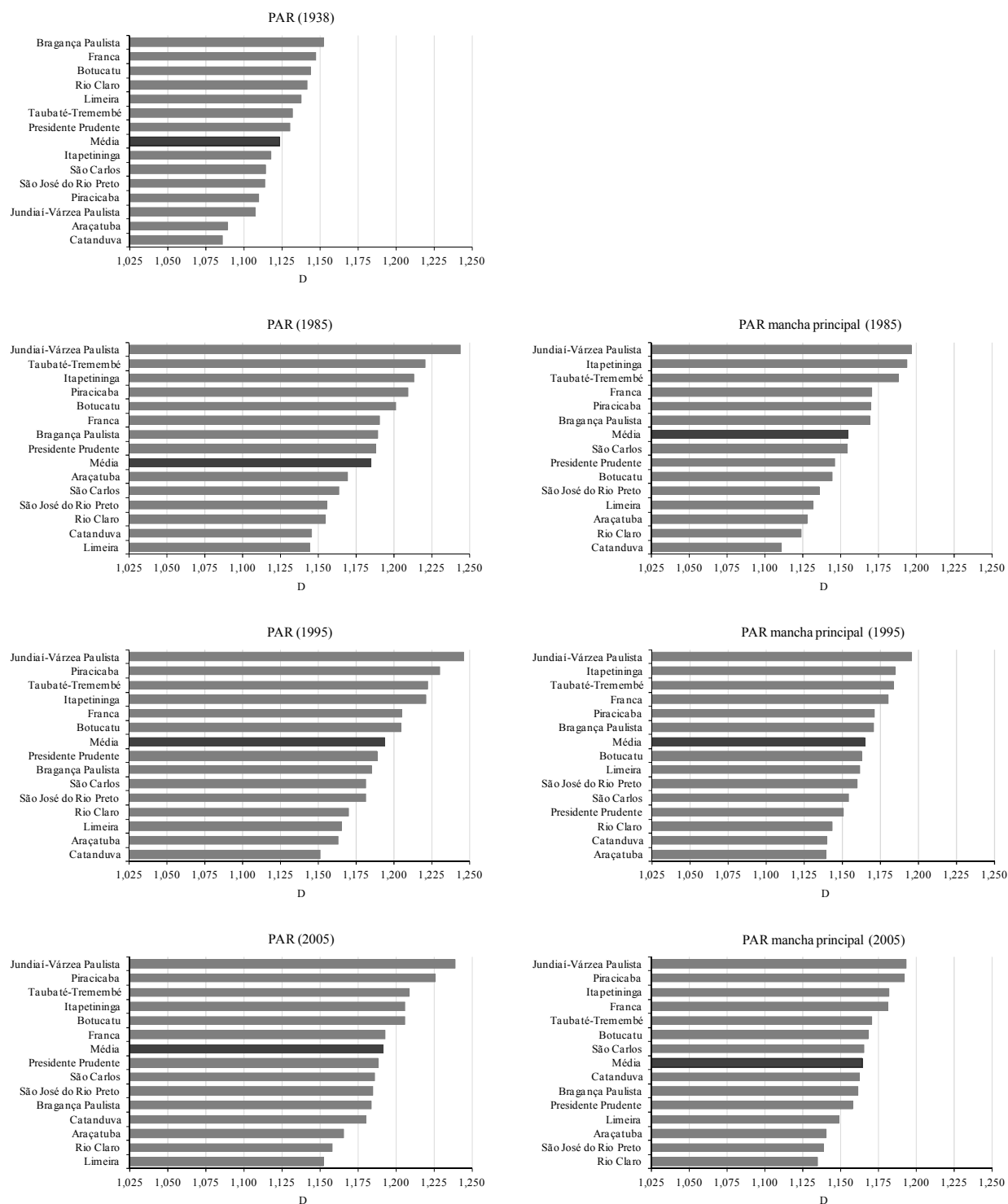


Figura 4.7 - Valores de D pelo método PAR para as áreas urbanizadas totais (à esquerda) e para as manchas principais (à direita).

As cidades que tenderam a variar em torno da média neste método corresponderam a Bragança Paulista, Botucatu, Presidente Prudente e São Carlos. Excetuando-se a primeira data de

análise, pode-se verificar que Bragança Paulista esteve acima da média do grupo em 1985 e em 1995, nesta última data, somente para a mancha principal. Presidente Prudente permaneceu acima da média para área urbanizada total, em 1985. Botucatu esteve abaixo da média em 1985 e em 1995, ambas as datas para a mancha principal. Já o valor de D para São Carlos apresentou-se acima da média para sua mancha principal em 2005. A variação destas áreas urbanas relaciona-se à morfologia que apresentam em cada data. O formato apresentado por estas cidades (Figura 3.15) não permite que as mesmas sejam qualificadas como alongadas ou mesmo como circulares.

Esta variação nos valores de D para o método PAR, da mesma forma que o método PRE, indicou a expansão das formas urbanas ao longo do período em análise. A maior complexidade, ou elevação de D, ocorreu no período entre 1938 e 1985, em conformidade com o contexto histórico e socioeconômico que caracterizou este intervalo temporal.

Sanches e Ferreira (2008) utilizaram este método para analisar 29 cidades médias brasileiras e obtiveram valores médios de D entre 1,097 e 1,177. Nesta análise, os autores utilizaram imagens do Google Earth para obter as áreas urbanizadas. Os autores verificaram que níveis socioeconômicos mais elevados associam-se à baixa densidade e à fragmentação urbana, já níveis socioeconômicos mais baixos se referem a formas urbanas compactas e simples. Este resultado pode ser associado com os valores de D obtidos nesta pesquisa, uma vez que formas com maior fragmentação, como os aglomerados urbanos de Jundiaí-Várzea Paulista, Taubaté-Tremembé e Piracicaba, também se destacam no cenário econômico do estado de São Paulo, além da própria localização geográfica, em áreas próximas à capital e com maior acessibilidade.

Rodrigues (2009) utilizou métricas espaciais com o objetivo de classificar quantitativamente a morfologia de áreas urbanas. O autor encontrou valores de D entre 1,41 e 1,56 para 15 cidades de Portugal. Já Souza e Centeno (2009) utilizaram este método de estimativa de D para usos do solo intraurbanos, a partir de uma imagem *Quickbird* de um bairro da cidade de Curitiba-PR. Os autores utilizaram a imagem filtrada e fusionada e obtiveram valores de D entre 1,02 a 1,41 para a imagem fusionada, enquanto a imagem filtrada apresentou valores de D pouco menores. Estas aplicações estão de acordo com os resultados obtidos para o método PAR. A variação quanto aos valores está relacionada à metodologia de extração dos dados de perímetro e de área das cidades.

4.3.3 A densidade de preenchimento urbano

O terceiro método utilizado para a estimativa de D foi a densidade de ocupação. Para este cálculo, adotou-se a associação entre D pela densidade de ocupação e círculos concêntricos medidos a partir do centro urbano com intervalo de raio de 500 m.

A densidade de ocupação, calculada com base na sobreposição dos círculos às áreas urbanizadas e da área de cada círculo, foi utilizada no cálculo de D com o afastamento do centro urbano¹¹. O conjunto de valores de D de cada área urbanizada em sua totalidade e mancha urbana principal compreendeu a assinatura fractal em cada data de análise, conforme a Figura 4.8. A maior proximidade dos valores de D a dois (2) indica maior densidade de ocupação, ou seja, urbanização menos fragmentada.

Ainda de acordo com a Figura 4.8, observa-se a grande diferença quanto à abrangência das áreas urbanizadas, no que se refere à distância alcançada pela ocupação urbana a partir do centro. Esta diferença pode ser verificada também nos valores de D entre 1938 e 1985, que está relacionada com o grande intervalo temporal e com a própria dinâmica urbana que era reduzida na primeira data de análise.

As assinaturas fractais das cidades no período entre 1938 e 2005 (Figura 4.8) evidenciam o maior preenchimento urbano nas áreas centrais ou próximas ao centro urbano e, por consequência, maiores valores de D , iguais ou muito próximos a dois (2), e a diminuição dos valores em direção às bordas urbanas. Esta redução de D deve-se à maior fragmentação das áreas urbanas com o afastamento da área central. Além disso, em todas as cidades verifica-se o maior preenchimento com o passar o tempo, o que contribui para o aumento dos valores de D .

Este maior preenchimento urbano ao longo do tempo, confirmado pelas assinaturas fractais da Figura 4.8, está de acordo com o exposto por Batty e Longley (1994) e Frankhauser (2004), quando descrevem que a maior densidade das áreas centrais é alcançada quando da ocupação de espaços ainda desocupados, e então, tende a ocorrer a agregação de novas áreas. Este fato, segundo os autores, caracteriza a estrutura dendrítica das formas urbanas, fortemente influenciada pelos eixos viários.

¹¹ Exemplo da tabela de cálculo utilizada no método DOC pode ser consultado no Apêndice I.

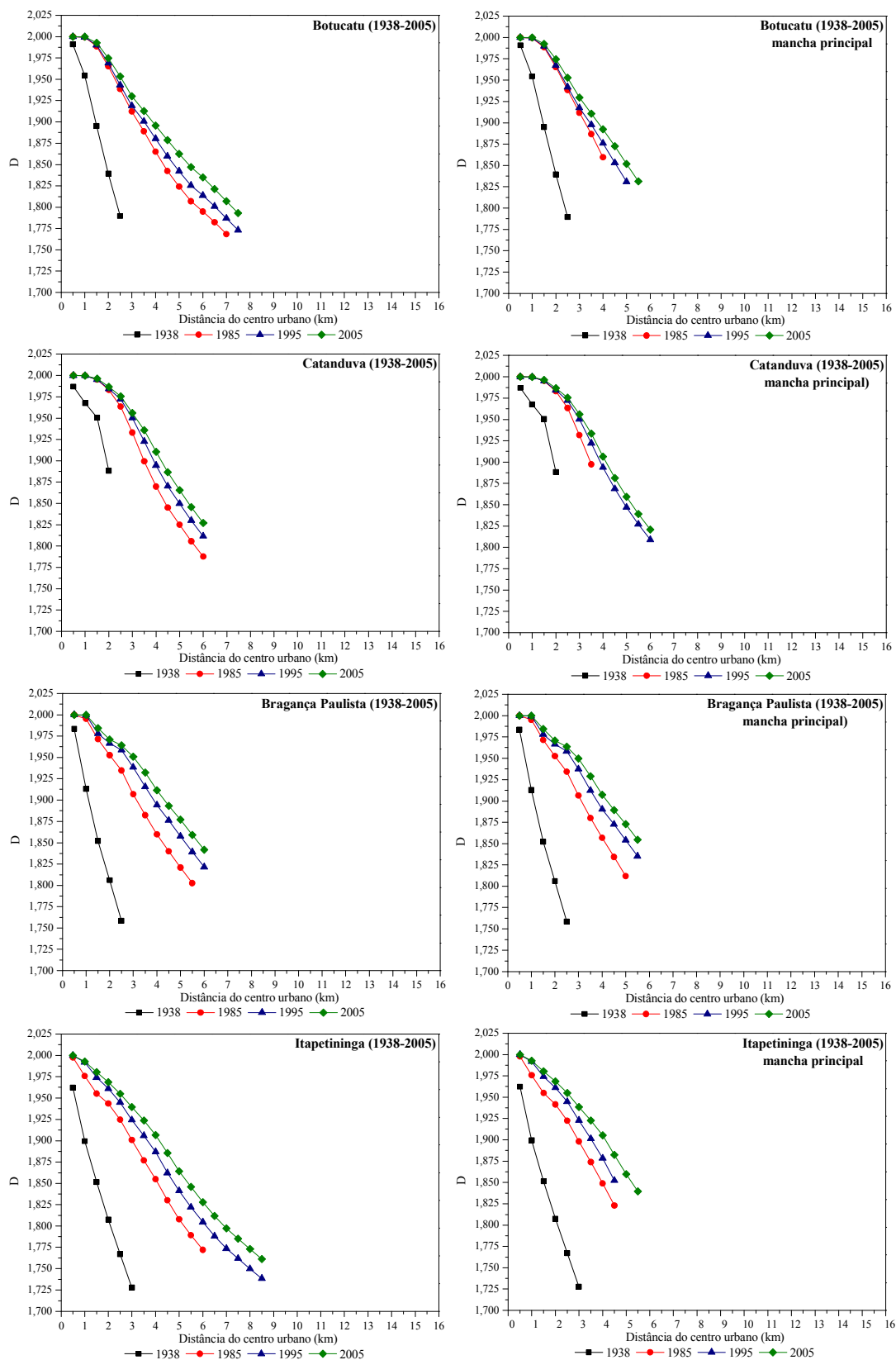


Figura 4.8 - Valores de D pelo método DOC a partir da distância em relação ao centro urbano para as áreas urbanizadas totais e manchas principais.

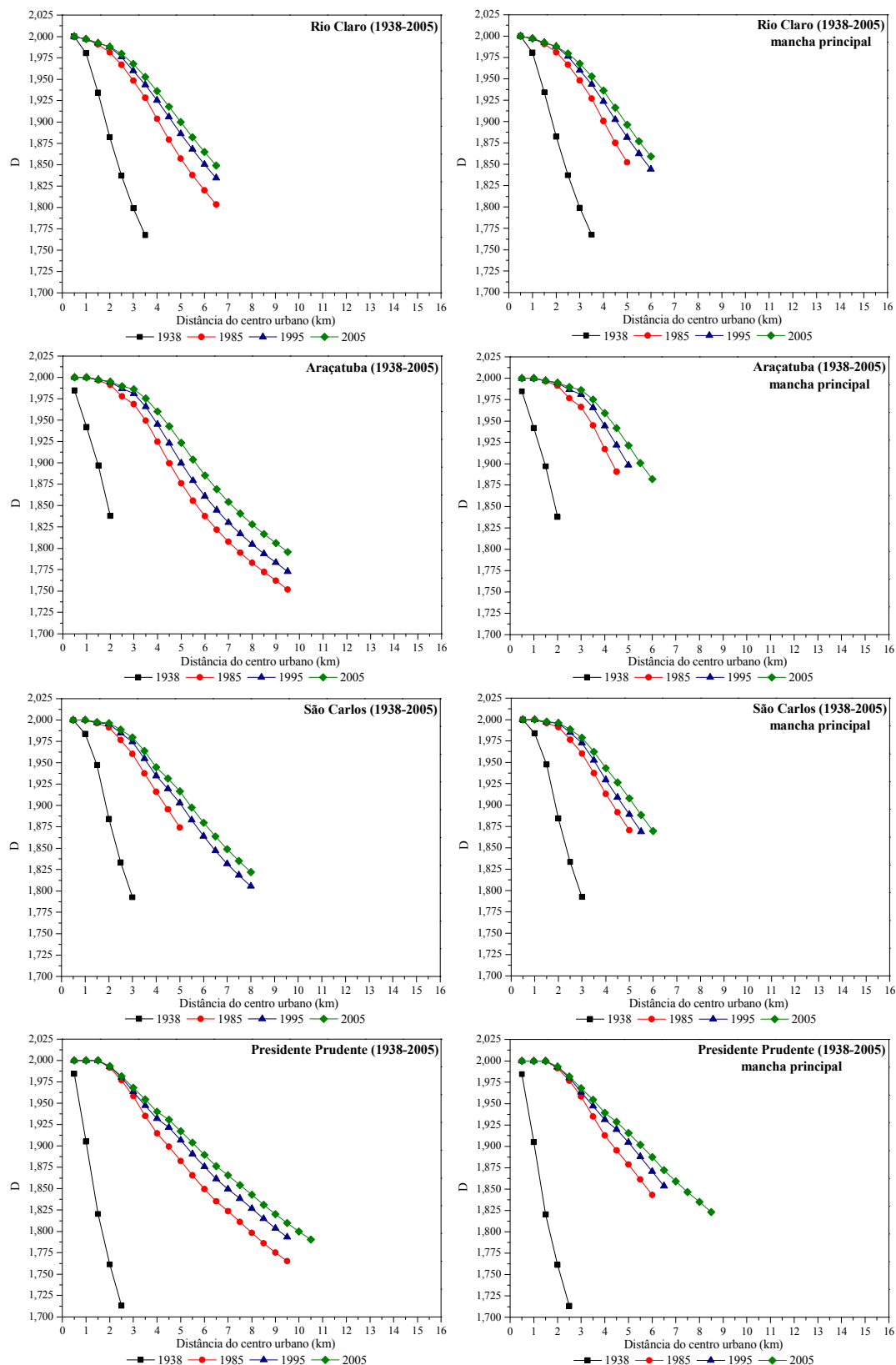


Figura 4.8 - Valores de D pelo método DOC a partir da distância em relação ao centro urbano para as áreas urbanizadas totais e manchas principais (continuação).

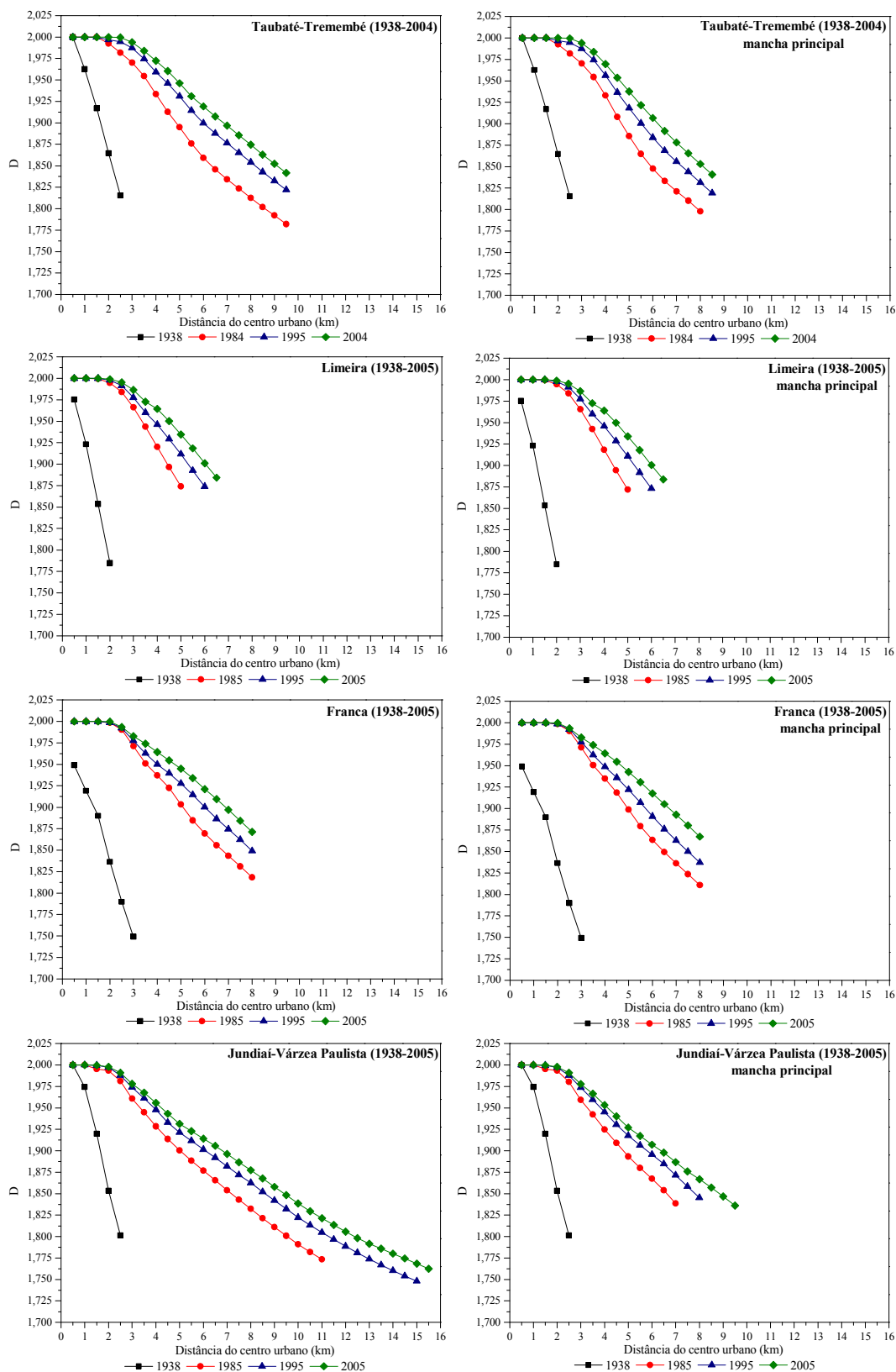


Figura 4.8 - Valores de D pelo método DOC a partir da distância em relação ao centro urbano para as áreas urbanizadas totais e manchas principais (continuação).

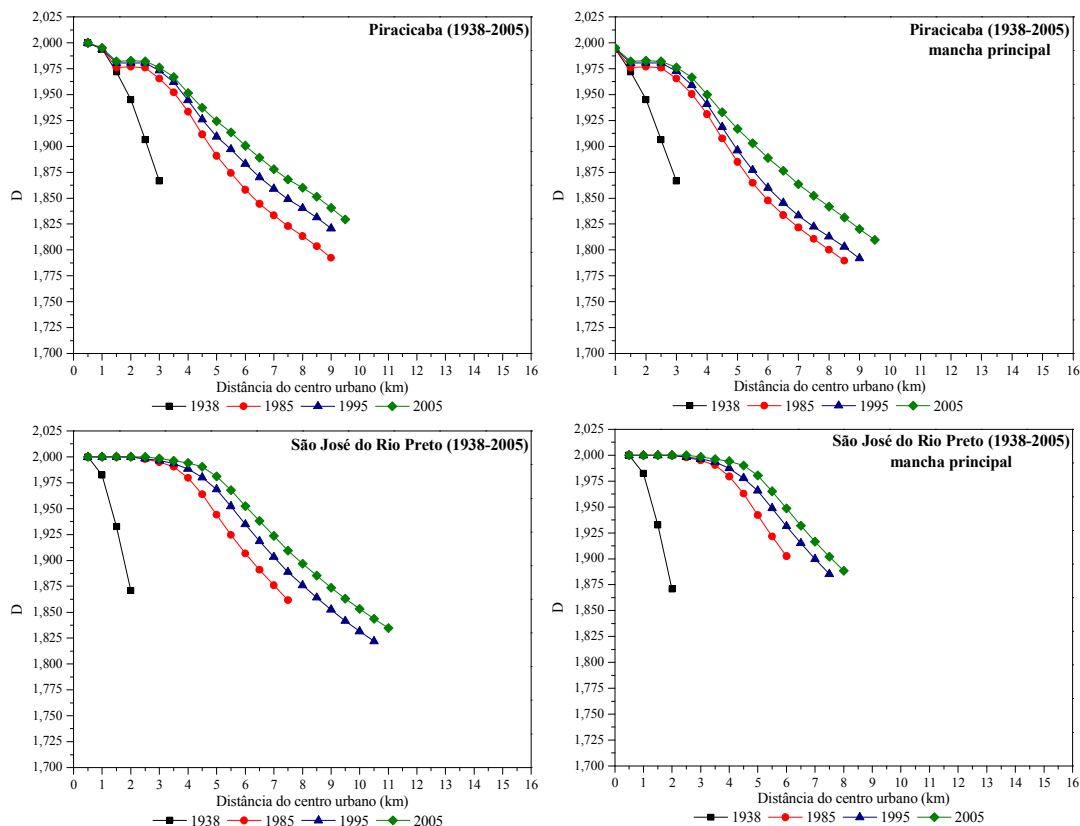


Figura 4.8 - Valores de D pelo método DOC a partir da distância em relação ao centro urbano para as áreas urbanizadas totais e manchas principais (continuação).

Entretanto, ressalta-se que os valores de DOC para as manchas urbanas principais apontam menor redução em direção à borda, ou com o afastamento do centro urbano, mantendo valores mais elevados de D em comparação à área urbanizada total. Isto também é variável entre o conjunto de cidades. Assim, por exemplo, São Carlos mantém valores acima de 1,850 para a mancha principal entre 1985 e 2005, enquanto em sua área urbanizada total os valores de D sugerem maior fragmentação de sua borda.

O maior prolongamento da mancha urbana a partir do centro urbano ocorre no aglomerado Jundiaí-Várzea Paulista, o qual atinge pouco mais de 15 km para a área urbanizada total, enquanto sua mancha principal estende-se até 9,5 km, em 2005. O formato alongado desta cidade pode apontar maiores dificuldades quanto à acessibilidade e a própria distribuição de serviços à população, como o transporte, ao contrário de cidades com formatos que tendem à circularidade, uma vez que atingem menores distâncias do centro urbano, como é o caso de Limeira. De acordo com Herold, Couclelis e Clarke (2005), a dinâmica de evolução urbana resulta em distintas configurações espaciais, que refletem características socioeconômicas e outros fatores que

influenciam o crescimento urbano, dentre os quais se destacam, a topografia, as redes viárias e as ações de planejamento.

As assinaturas fractais (Figura 4.8) permitem observar que os valores de D diminuem rapidamente com a distância em formatos alongados ou mesmo nas áreas urbanizadas que apresentam eixos de crescimento. Itapetininga é um exemplo deste fato, uma vez que sua área urbanizada é alongada e sua ocupação é irregular. Ao longo do tempo, verifica-se o aumento de ocupação, e então, o preenchimento dos espaços vazios que restaram entre os eixos de crescimento.

A área urbanizada de Piracicaba constitui um caso de como a ocupação urbana ocorre quando da existência de uma impedância espacial; no caso, a cidade é seccionada pelo rio Piracicaba. Os valores de D mostram um vale nas proximidades do centro urbano, correspondente ao espaço ocupado pelo curso de água. Este caso é perceptível, pois o rio recorta a cidade. Em outro caso, como, por exemplo, Botucatu, uma análise direcional de D poderia comprovar a impedância espacial representada pelas *cuestas* basálticas.

Ao se considerar os valores de D , calculados por este método, referentes ao último círculo concêntrico que envolve cada cidade (DOC_{uc}) ou última distância alcançada pelas áreas urbanizadas (Figura 4.9), pode-se perceber a variação quanto ao grau de preenchimento das cidades ao longo da série temporal. Isto pode ser verificado pela posição ocupada por cada cidade, nas quatro datas analisadas em relação à média do grupo.

São José do Rio Preto apresentou valores de D acima da média em todas as datas indicando a menor fragmentação de sua ocupação urbana. Este fato indica a menor influência de impedâncias espaciais para seu crescimento urbano. Limeira, à exceção de 1938, data em que os valores de D são mais variáveis do que nas outras datas de análise, se manteve com valores elevados, o que representa menor fragmentação de sua área urbanizada total e mancha principal.

Já Itapetininga apresentou valores de D menores, constituindo-se na área urbanizada total mais fragmentada em 1995 e 2005. Sua mancha principal revelou D com maior variabilidade. Piracicaba, a despeito de sua densidade elevada em 1938, manteve valores de D em torno da média quando considerada sua área urbanizada total. No entanto, sua mancha principal revela os valores mais fragmentados do grupo de cidades entre 1985 e 2005.

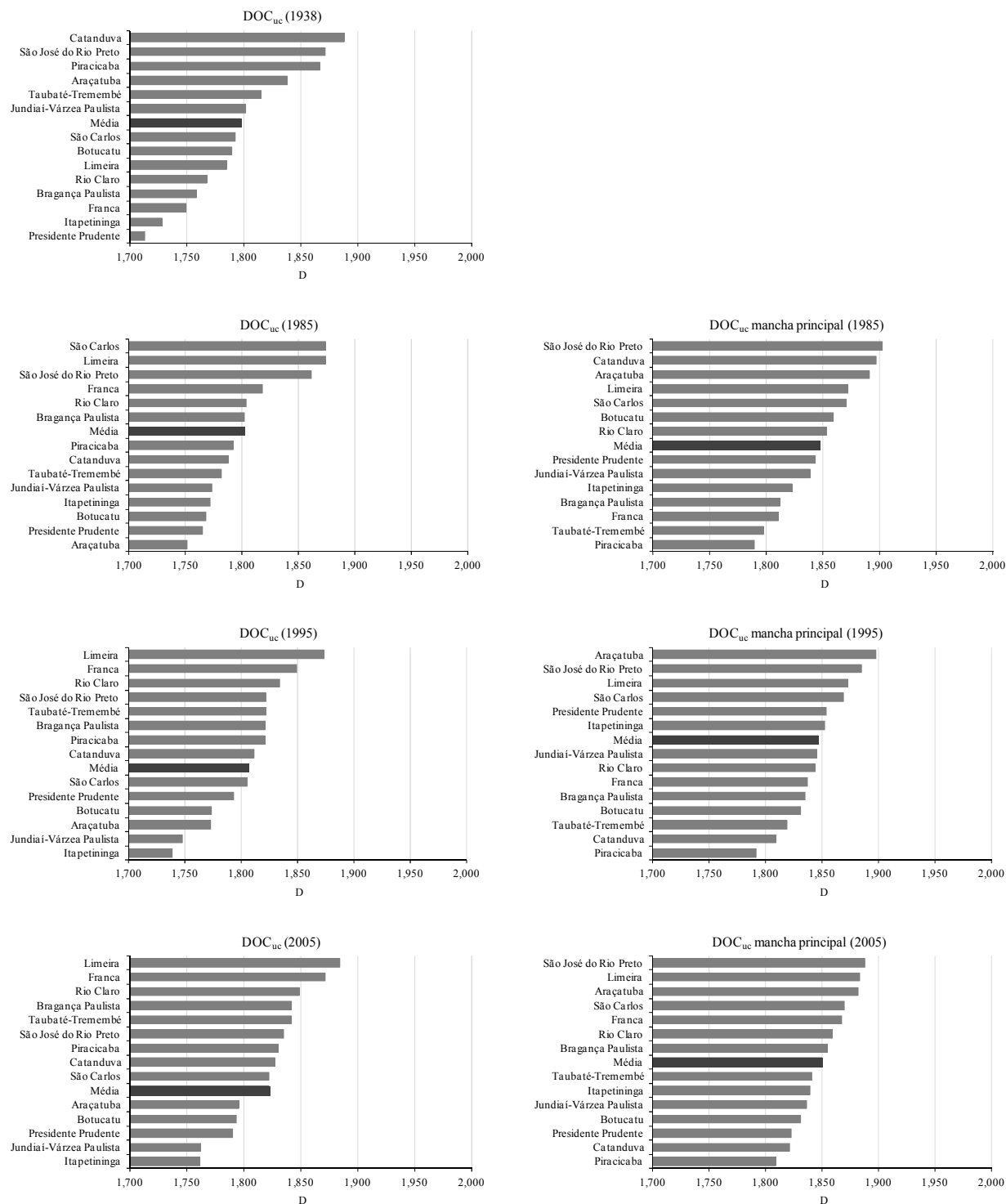


Figura 4.9 - Valores de D pelo método DOC para as áreas urbanizadas totais (à esquerda) e para as manchas principais (à direita), para a última distância atingida pelas cidades a partir do centro urbano.

Considerando-se os valores de D para o método DOC, tanto as assinaturas fractais (Figura 4.8) como os valores para a última distância atingida pelas manchas urbanas (Figura 4.9), pode se

associar a maior fragmentação das áreas de borda com a tendência de crescimento periférico, que Reis Filho (2006) caracteriza como dispersão urbana. Esta forma de expansão periférica das áreas urbanas ocorre em consequência da modernização e investimentos em rodovias que permitem maior mobilidade. Este fato contribuiu com a ocupação residencial em áreas periféricas por parte da população de maior poder aquisitivo, de modo a permanecerem distantes da poluição e de congestionamentos, e ao mesmo tempo, próximas aos serviços que as grandes cidades oferecem.

Os resultados obtidos por este método são consistentes com outros resultados apresentados na literatura. Marques e Ferreira (2006; 2008) utilizaram a densidade de ocupação para analisar a evolução do aglomerado urbano da Região Metropolitana de São Paulo no período de 1905 a 2001. Os valores médios de D estimados pelos autores neste estudo variaram de 1,6298 em 1905 até 1,8231 para o ano de 1996. Neste trabalho, foi verificada a tendência de maior preenchimento nas áreas centrais do aglomerado e fragmentação em direção à borda urbana. Além disso, foram propostos setores de crescimento urbano com base nos valores de dimensão fractal.

Outra aplicação do método de densidade de ocupação foi apresentada por Longley e Mesev (2002), que estudaram a cidade e os arredores de Bristol, Inglaterra, com o objetivo de investigar a incerteza e a ambiguidade no conceito de preenchimento e densidade urbana, como contribuição aos estudos regionais. Os valores de D calculados pelos autores por meio de listas de endereços variaram entre 1,06 e 1,58.

4.4 Conclusões

Neste capítulo tratou-se da dimensão fractal como categoria para a análise espacial das formas urbanas, propondo-se sua utilização no monitoramento das formas irregulares no tempo e no espaço. Os resultados dos métodos de cálculo de D caracterizaram as formas urbanas quanto à irregularidade, à complexidade e ao preenchimento urbano ou fragmentação ao longo das quatro datas de análise.

A variação dos valores de D para os métodos PRE, PAR e DOC corresponde às características de expansão urbana de cidades médias, objeto desta pesquisa. O grande avanço da urbanização nas décadas de 1970 e 1980 refletiu nos valores de D para os três métodos, uma vez que todas as cidades apresentaram, neste intervalo temporal, maior irregularidade de seu perímetro, maior complexidade de suas formas e maior preenchimento urbano. Estas

características apresentaram variação entre o grupo de cidades ao longo do tempo. Esta oscilação está estreitamente relacionada aos eixos viários, conforme já verificado no Capítulo 3 e, nas datas recentes, também tem relação com a tendência de crescimento periférico e fragmentado das áreas urbanas.

No método PRE, entre o grupo de cidades analisadas, Jundiaí-Várzea Paulista e Bragança Paulista apresentaram maiores valores de D e são, portanto, mais irregulares. Franca e Araçatuba apresentaram valores menores de D nas quatro datas, o que caracteriza menor irregularidade de seus perímetros.

No método PAR, as cidades de Jundiaí-Várzea Paulista, Itapetininga e Piracicaba mostraram valores de D acima da média do grupo em todas as datas, enquanto Limeira, São José do Rio Preto e Catanduva estão entre as cidades com menores valores de D no período. A caracterização qualitativa das formas urbanas por este método permitiu associar formas urbanas alongadas a maiores valores de D, e formas urbanas com tendência à circularidade a menores valores de D.

No método DOC, as assinaturas fractais das cidades evidenciaram o aumento no preenchimento urbano ao longo do tempo, com destaque para o período entre 1938-1985, que compreendeu o grande impulso da urbanização. De modo geral, o maior preenchimento ocorreu nas áreas centrais, em vista da ocupação de espaços ainda desocupados e diminuiu com o afastamento do centro urbano, comprovando a maior fragmentação das bordas urbanas.

A VARIABILIDADE TEMPORAL DA DIMENSÃO FRACTAL E SUA RELAÇÃO COM A EXPANSÃO DAS FORMAS URBANAS

5.1 A dinâmica espacial e temporal das formas urbanas a partir da dimensão fractal

As cidades não podem ser isoladas no mundo e não tendem a encontrar um equilíbrio, pois estão em constante mudança. Também não estão ordenadas, pois são produtos *bottom up*, ou seja, resultam das decisões de milhares de indivíduos, além de algumas ações centralizadas. O funcionamento das cidades no espaço e no tempo tem por base os vários processos de escolhas que os indivíduos, que constituem sua população, fazem com relação a si mesmos e as formas de utilização do espaço (BATTY, 2012).

Esta ideia é reforçada por Lamas (2000), quando considera que a cidade, assim como qualquer organismo vivo, está em contínua modificação (sistemas *bottom up*). Desta forma, a morfologia urbana permite que as formas urbanas possam ser estudadas ao longo do tempo.

Considerando a dinâmica da forma urbana no tempo, a utilização da dimensão fractal para o monitoramento destas transformações espaciais ganha importância, em vista das características que esta métrica espacial envolve, como a invariância em escala. A variação dos valores de D no tempo permite acompanhar o comportamento espacial da forma urbana quanto a sua irregularidade, complexidade e forma de preenchimento. Além disso, a associação de D a outras métricas ou mesmo variáveis espaciais, possibilita maior precisão e detalhamento no monitoramento das formas urbanas e compreensão de sua dinâmica espacial.

Com base nos resultados dos métodos de cálculo da dimensão fractal (PRE, PAR e DOC) apresentados no capítulo precedente, sobretudo pelas grandes alterações dos valores de D para o grupo de cidades ao longo das datas de análise, propôs-se analisar esta variação temporal de D em cada método, e então, da forma urbana das cidades. Nesta análise foram utilizados os valores médios para o período. Os métodos de cálculo foram comparados, e a partir disso, analisou-se o comportamento de D em uma nova data de análise, o ano de 2010. Como segunda etapa desta fase da pesquisa, os valores de D foram relacionados à forma das cidades, utilizando o índice de

forma.

5.2 Procedimentos metodológicos

A comparação dos valores de D, obtidos pelos métodos apresentados no Capítulo 4, permitiu identificar qual método admitiu maior variação temporal e ainda maior separação entre os valores. Para esta etapa, além dos valores médios, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), foi proposto o cálculo da estimativa de D para uma nova data, a fim de verificar se os valores de D mantêm a variação observada nas datas anteriores. Por fim, o índice de forma para a conjunto de cidades foi calculado e relacionado aos valores de D (Figura 5.1).

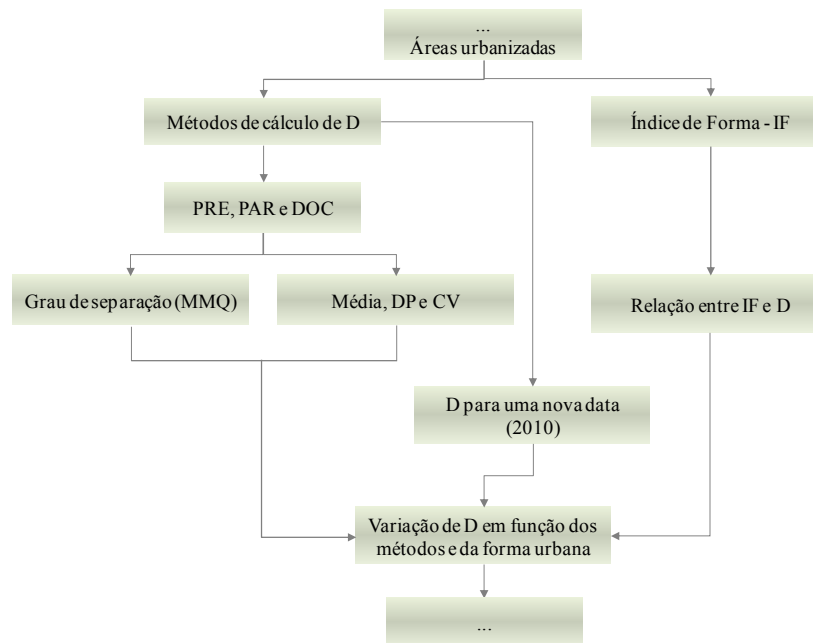


Figura 5.1 - Sequência dos procedimentos para a análise da variação de D e sua relação com as formas urbanas.

5.2.1 Análise comparativa dos métodos de cálculo para a estimativa da dimensão fractal

Os resultados obtidos no Capítulo 4, relativos aos métodos de cálculo de D, foram utilizados para a análise da dinâmica espacial e temporal das formas urbanas. Foram calculados os valores médios de D para cada data de análise e para o período total. Além disso, foram obtidos o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV). Este último, a partir da seguinte relação matemática:

$$CV = \left(\frac{DP}{\bar{X}} \right) * 100 \quad (5.1)$$

em que CV é o coeficiente de variação, DP corresponde ao desvio padrão e $\bar{X}$ à média dos valores de D no período. A relação entre os valores médios de D e o coeficiente de variação possibilitou analisar o comportamento do grupo de cidades ao longo do tempo.

Para verificar o grau de separação entre os métodos de cálculo de D, foi utilizado um teste com base nos mínimos quadrados. Assim, quanto maior o valor obtido com a soma dos mínimos quadrados para o período em cada cidade, considerando a variação no tempo e também no espaço, maior a variação de D para determinado método. A fórmula matemática utilizada nesta etapa foi a seguinte:

$$MMQ = \sum (X_t - X_{t-1})^2 \quad (5.2)$$

em que X correspondeu aos valores de D nas datas de análise (1938, 1985, 1995 e 2005) para a soma das diferenças no tempo (intervalos de datas de análise) e no espaço (pares de cidades em cada data). É importante ressaltar que esta etapa comparativa foi realizada somente para as manchas principais, em consequência da interpretação e delimitação das áreas urbanizadas a partir de imagens com resolução espacial de 30 m, o que tende a limitar o detalhamento das feições.

Na sequência, propôs-se verificar o comportamento de D para uma data mais recente, no caso, o ano de 2010, o que correspondeu a um intervalo menor entre as datas de análise (cinco anos). Nesta nova data, os valores de D também foram estimados para as áreas urbanizadas totais e para as manchas principais.

Inicialmente, as áreas urbanizadas e respectivas manchas principais foram delimitadas, por meio das imagens do satélite LANDSAT TM 5 para o ano de 2010, as quais foram agregadas à base de dados da pesquisa, conforme descrição na Seção 2.4.4 do Capítulo 2. Os procedimentos metodológicos para a preparação das imagens e delimitação das áreas urbanizadas foram os mesmos utilizados nas demais datas de análise, conforme descrito nos Capítulos 2 e 3. Da mesma forma, o cálculo de D para os três métodos (PRE, PAR e DOC) seguiu a metodologia utilizada no Capítulo 4. Os resultados foram comparados às datas de análise anteriores.

5.2.2 Relação da forma urbana com os valores de dimensão fractal

A relação entre a forma urbana e os valores de D foi analisada a partir do cálculo do índice de forma. O índice de forma (IF) utilizado nesta pesquisa é o mesmo utilizado em geomorfologia, na análise das formas de bacias hidrográficas, idealizado por Horton (1932) citado por Ferreira (1991). Este índice constitui-se também em interessante indicador de forma urbana, já que, conforme Ferreira (1991) permite eliminar a subjetividade na caracterização da forma.

Para seu cálculo são necessários dados de área ocupada (A) e de comprimento da área a ser analisada (L), pois o índice exprime a razão entre a área e o quadrado do comprimento máximo, de acordo com a fórmula:

$$IF = \frac{A}{L^2} \quad (5.3)$$

O comprimento refere-se ao lado maior ou mais longo da forma. Para este estudo, fixou-se a escala de visualização do software ArcGIS em 1:50.000. Com base em um quadrado envolvente para cada forma urbana, nas respectivas datas de análise, foi obtido o comprimento para o maior lado da forma. Quanto maiores os valores de IF, mais as formas urbanas tenderão à circularidade, enquanto os menores valores indicam formas urbanas mais alongadas.

Os resultados do cálculo de IF foram relacionados aos valores de D, utilizando-se o coeficiente de correlação de Spearman (r_s) e representações gráficas, de modo a analisar como ocorreu a distribuição das formas urbanas ao longo do tempo. O coeficiente de Spearman é uma medida fundamentada na ordenação dos valores das variáveis (*ranking*). Embora esta correlação seja menos precisa que a de Pearson, este coeficiente não necessita a normalização dos dados, o que se torna importante, pois, na geografia, os dados na maioria das vezes não apresentam distribuição normal (GERARDI; SILVA, 1981). A seguinte relação foi utilizada no cálculo de r_s :

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n^3 - n} \quad (5.4)$$

em que r_s é o coeficiente de correlação de Spearman, d é a diferença entre as ordens dos valores de x e y (*ranking*) que correspondem às duas variáveis analisadas, n é número de unidades de observação, e 1 e 6 constituem constantes da fórmula. Assim, com o ordenamento das duas variáveis utilizadas, obtêm-se as diferenças de posição entre elas, o respectivo quadrado das

diferenças e, por fim, a soma dos valores quadrados das diferenças ($\sum d^2$).

O r_s varia de -1, que indica perfeita correlação negativa, zero corresponde a ausência de correlação, e 1 indica perfeita correlação positiva. Para testar a significância de r_s , pode-se utilizar tabelas com valores críticos de r_s para alguns níveis de significância, conforme Gerardi e Silva (1981) e Sheskin (2004). E ainda, conforme este último autor, para valores de n maiores que 10, pode-se testar a significância de r_s utilizando o teste t . A comparação dos valores de t calculados e tabelados resulta no nível de significância dos dados.

5.3 A dinâmica temporal de D e sua relação com as formas urbanas

5.3.1 Variação temporal da dimensão fractal

Os valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação estão nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3, que correspondem, respectivamente, aos métodos PRE, PAR e DOC. Considerando-se a forma de obtenção do método DOC (distâncias do centro urbano), foram obtidos os valores médios de D em cada data de análise a partir dos valores de cada distância em relação ao centro urbano, e então, o valor médio para o período total. Este valor médio aponta menor variação, uma vez que os valores de D para as áreas centrais das cidades são elevados, em vista do maior preenchimento urbano. Para obter maior detalhamento na análise comparativa dos métodos foram considerados também os valores de D para o último círculo, ou a última distância atingida pela área urbanizada no método DOC, da mesma forma que no Capítulo 4. Assim, a denominação DOC se refere aos valores médios considerando a distância do centro urbano e a denominação DOC_{uc} aos valores do último círculo (Tabela 5.4).

Os valores médios de D também estão representados graficamente na Figura 5.2. A análise das Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 permite verificar, conforme esperado, que o menor desvio padrão para as áreas urbanizadas totais ocorreu para o método DOC, assim como o menor coeficiente de variação. Para as manchas principais o menor desvio padrão médio referiu-se ao método PAR e o menor coeficiente de variação novamente para o método DOC.

Considerando-se as cidades que apresentaram os valores extremos (valores mínimos e máximos) de CV e DP em cada método (área urbanizada total e mancha principal), é possível verificar que no método DOC, tanto para DOC como para DOC_{uc} , tais valores corresponderam a um número maior de cidades ao longo do tempo, contrariamente aos métodos PRE e PAR

(Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4) . Os valores de DP e CV para cada cidade refletem as alterações que suas formas urbanas sofreram no período considerado. As formas urbanas que apresentaram baixos valores de DP e CV apontam para menores alterações em suas características morfológicas ou mesmo para a manutenção das mesmas ao longo do tempo.

Tabela 5.1 - Valores médios de D, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para o método PRE (1938-2005).

Cidade	Área urbanizada total			Mancha principal		
	Média	DP	CV	Média	DP	CV
Bragança Paulista	1,1995	0,0213	1,7784	1,1888	0,0288	2,4229
Itapetininga	1,1865	0,0575	4,8459	1,1799	0,0498	4,2165
Jundiaí-Várzea Paulista	1,1718	0,0069	0,5936	1,1627	0,0064	0,5483
Taubaté-Tremembé	1,1687	0,0431	3,6912	1,1681	0,0443	3,7923
Presidente Prudente	1,1679	0,0204	1,7458	1,1613	0,0213	1,8338
Botucatu	1,1670	0,0226	1,9382	1,1493	0,0201	1,7470
Rio Claro	1,1643	0,0168	1,4407	1,1484	0,0137	1,1913
Catanduva	1,1450	0,0728	6,3548	1,1249	0,0591	5,2567
São Carlos	1,1431	0,0160	1,3962	1,1561	0,0101	0,8734
São José do Rio Preto	1,1429	0,0239	2,0890	1,1386	0,0259	2,2731
Limeira	1,1366	0,0276	2,4271	1,1345	0,0289	2,5492
Piracicaba	1,1284	0,0402	3,5607	1,1357	0,0453	3,9925
Franca	1,1153	0,0179	1,6097	1,1105	0,0206	1,8586
Araçatuba	1,1136	0,0259	2,3223	1,1174	0,0278	2,4901
Média	1,1536	0,0295	2,5567	1,1483	0,0287	2,5033

Tabela 5.2 - Valores médios de D, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para o método PAR (1938-2005).

Cidade	Área urbanizada total			Mancha principal		
	Média	DP	CV	Média	DP	CV
Jundiaí-Várzea Paulista	1,2090	0,0677	5,6020	1,1733	0,0439	3,7414
Taubaté-Tremembé	1,1959	0,0431	3,6045	1,1686	0,0255	2,1843
Piracicaba	1,1937	0,0568	4,7546	1,1609	0,0356	3,0700
Itapetininga	1,1895	0,0482	4,0519	1,1697	0,0349	2,9858
Botucatu	1,1888	0,0302	2,5373	1,1548	0,0126	1,0903
Franca	1,1840	0,0252	2,1306	1,1698	0,0156	1,3380
Bragança Paulista	1,1777	0,0172	1,4571	1,1635	0,0085	0,7301
Presidente Prudente	1,1737	0,0290	2,4726	1,1462	0,0117	1,0240
São Carlos	1,1613	0,0326	2,8109	1,1469	0,0222	1,9393
São José do Rio Preto	1,1589	0,0329	2,8388	1,1369	0,0189	1,6655
Rio Claro	1,1562	0,0116	1,0046	1,1359	0,0088	0,7729
Limeira	1,1499	0,0120	1,0443	1,1450	0,0132	1,1567
Araçatuba	1,1469	0,0384	3,3449	1,1243	0,0238	2,1201
Catanduva	1,1407	0,0396	3,4711	1,1248	0,0336	2,9859
Média	1,1733	0,0346	2,9375	1,1515	0,0221	1,9146

Tabela 5.3 - Valores médios de D, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para o método DOC (1938-2005).

Cidade	Área urbanizada total			Mancha principal		
	Média	DP	CV	Média	DP	CV
São José do Rio Preto	1,9442	0,0091	0,4684	1,9642	0,0122	0,6229
Limeira	1,9402	0,0374	1,9265	1,9399	0,0372	1,9161
Catanduva	1,9282	0,0165	0,8552	1,9419	0,0201	1,0350
São Carlos	1,9276	0,0203	1,0525	1,9424	0,0237	1,2198
Piracicaba	1,9219	0,0192	1,0005	1,9168	0,0211	1,0998
Rio Claro	1,9189	0,0243	1,2653	1,9289	0,0289	1,4997
Taubaté-Tremembé	1,9185	0,0172	0,8988	1,9232	0,0138	0,7188
Franca	1,9177	0,0430	2,2425	1,9154	0,0417	2,1766
Bragança Paulista	1,9053	0,0304	1,5938	1,9107	0,0335	1,7545
Araçatuba	1,9027	0,0153	0,8057	1,9528	0,0252	1,2892
Botucatu	1,8913	0,0073	0,3837	1,9232	0,0210	1,0916
Jundiaí-Várzea Paulista	1,8881	0,0159	0,8416	1,9264	0,0115	0,5961
Presidente Prudente	1,8833	0,0319	1,6936	1,9102	0,0495	2,5926
Itapetininga	1,8679	0,0230	1,2305	1,9046	0,0467	2,4524
Média	1,9111	0,0222	1,1613	1,9286	0,0276	1,4332

Tabela 5.4 - Valores médios de D, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para os valores do último círculo do método DOC (1938-2005).

Cidade	Área urbanizada total			Mancha principal		
	Média	DP	CV	Média	DP	CV
Limeira	1,8543	0,0465	2,5090	1,8535	0,0460	2,4837
São José do Rio Preto	1,8473	0,0229	1,2374	1,8868	0,0130	0,6870
Catanduva	1,8287	0,0429	2,3484	1,8539	0,0453	2,4460
Piracicaba	1,8273	0,0306	1,6757	1,8144	0,0359	1,9793
São Carlos	1,8235	0,0359	1,9687	1,8504	0,0386	2,0839
Franca	1,8220	0,0531	2,9154	1,8161	0,0502	2,7631
Taubaté-Tremembé	1,8152	0,0248	1,3640	1,8183	0,0176	0,9699
Rio Claro	1,8136	0,0361	1,9894	1,8308	0,0426	2,3269
Bragança Paulista	1,8061	0,0356	1,9688	1,8150	0,0415	2,2885
Araçatuba	1,7895	0,0368	2,0592	1,8772	0,0270	1,4404
Botucatu	1,7811	0,0120	0,6767	1,8278	0,0288	1,5768
Jundiaí-Várzea Paulista	1,7714	0,0225	1,2697	1,8303	0,0197	1,0791
Presidente Prudente	1,7655	0,0371	2,1014	1,8083	0,0646	3,5744
Itapetininga	1,7499	0,0204	1,1639	1,8106	0,0565	3,1215
Média	1,8068	0,0327	1,8034	1,8352	0,0377	2,0586

Embora as Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 apresentem os valores médios de D de modo ordenado, sua representação gráfica permite melhor visualização quanto à variação de D entre as cidades (Figura 5.2). A maior variabilidade na ordem de valores de D entre áreas urbanizadas totais e manchas principais ocorreu para o método DOC, sobretudo para DOC_{uc}.

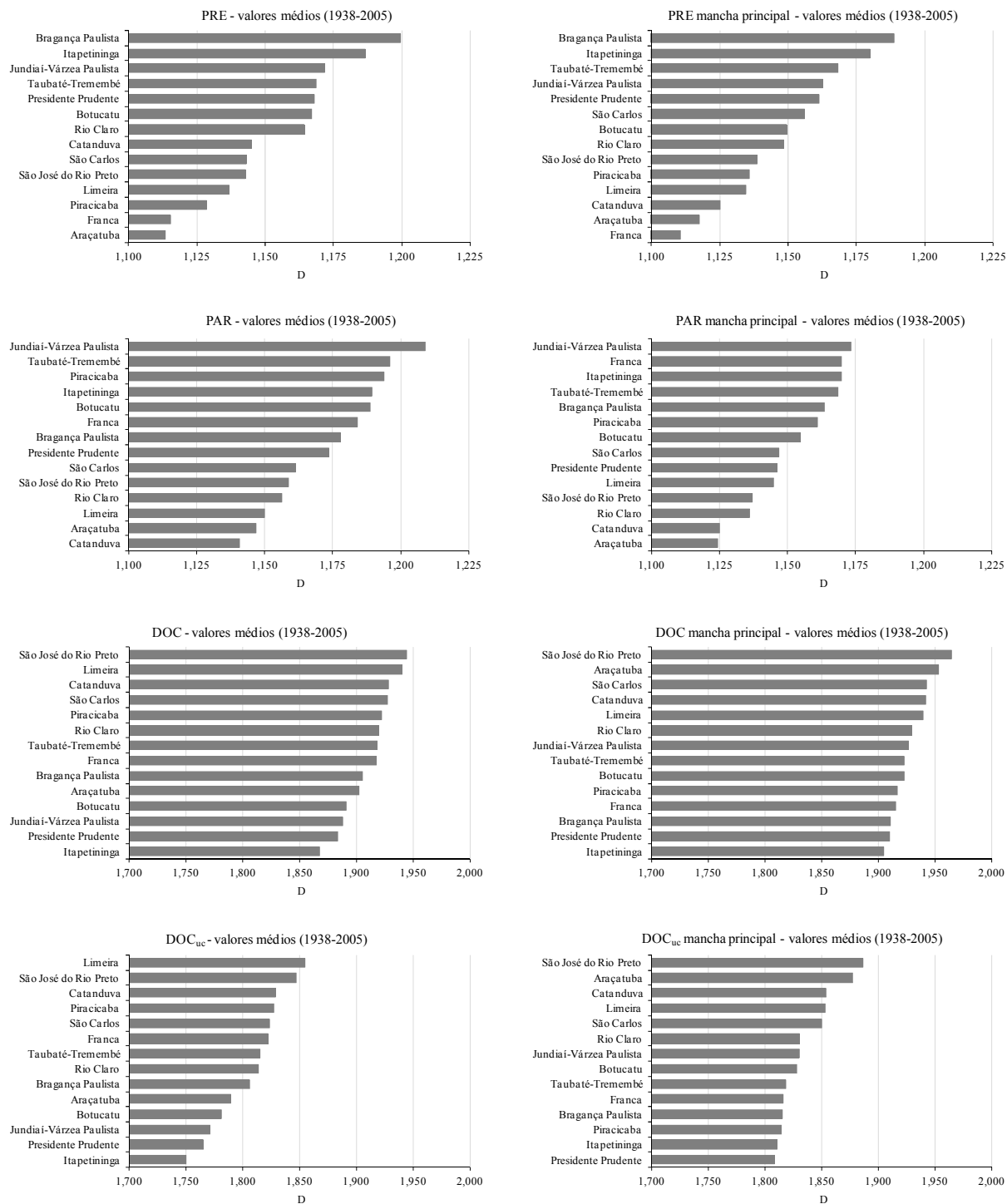


Figura 5.2 - Valores médios de D para o período (1938-2005) nos três métodos utilizados, para as áreas urbanizadas totais (à esquerda) e manchas principais (à direita) de cada cidade.

As cidades que mostraram maiores diferenças quanto aos valores de D para as áreas urbanizadas totais e manchas principais foram Catanduva e São Carlos no método PRE. No

método PAR, as maiores alterações foram verificadas para Franca e Piracicaba. Para DOC, a cidade de Araçatuba apresentou menor fragmentação em sua mancha principal, enquanto Piracicaba tendeu à maior fragmentação da mancha principal (Figura 5.2).

Os valores médios em cada método comprovaram as características espaciais de cada forma, conforme visto no Capítulo 4. Tais valores estão relacionados ao crescimento populacional que tende a demandar infraestrutura urbana e, também, à diferenciação quanto à forma de ocupação urbana, que se vincula ao crescimento periférico das cidades, ao padrão dendrítico, consequente dos eixos de circulação, à especulação imobiliária, entre outros fatores que direcionam e influenciam na expansão das cidades (Capítulo 3).

Para interpretar visualmente a variabilidade dos valores de D, propôs-se a representação gráfica da relação entre CV e os valores de D em cada método para o grupo de cidades. Marques e Ferreira (2008) utilizaram esta relação gráfica para analisar o agrupamento de setores direcionais de crescimento urbano para a Região Metropolitana de São Paulo, com base nos valores de D para a densidade de ocupação. A interpretação desta proposta de análise está estruturada na Figura 5.3.

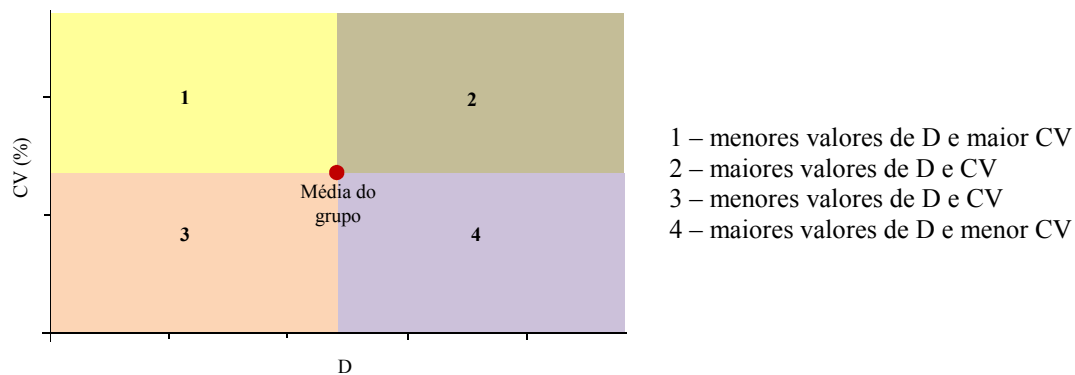


Figura 5.3 - Estrutura básica para a interpretação da relação entre os valores de D e CV.

A Figura 5.3 apresenta de forma generalizada as características de cada quadrante dos gráficos da Figura 5.4. O ponto de encontro dos quadrantes refere-se ao valor médio de D com o valor médio do CV para cada método, no período 1938-2005. Ressalta-se que para o método PRE, quanto maiores os valores de D, maior será o grau de irregularidade. No caso do método PAR, maiores valores de D indicam maior grau de complexidade. Já no método DOC, os maiores valores de D indicam maior preenchimento urbano, enquanto valores menores sugerem que a fragmentação urbana é maior.

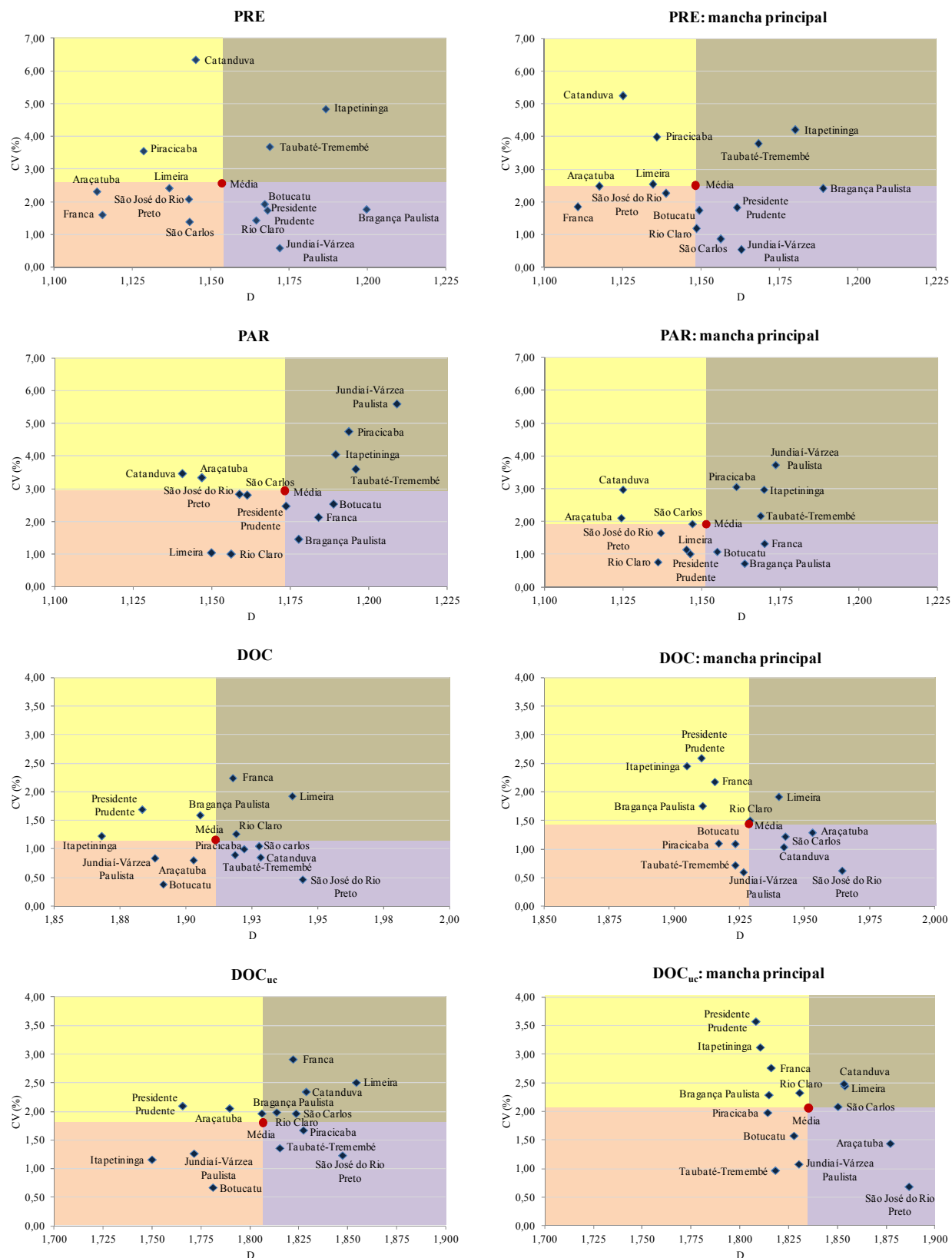


Figura 5.4 - Variação temporal de D a partir dos três métodos utilizados, para as áreas urbanizadas totais (à esquerda) e manchas principais (à direita) de cada cidade.

A espacialização dos valores de CV (Figura 5.4) confirma a maior variação para o método DOC, conforme evidenciado anteriormente (Tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 e Figura 5.2). Os gráficos mostram a oscilação de D em cada cidade, considerando as áreas urbanizadas totais (à esquerda) e as manchas principais (à direita). A distribuição das cidades nos quadrantes da Figura 5.4 permite verificar que no método DOC, sobretudo no último círculo (DOC_{uc}), houve maior número de cidades com maior CV, quadrantes 1 e 2, se comparado aos métodos PRE e PAR.

De modo geral, a distribuição das cidades pelos quadrantes em cada método é irregular, porém tendem a se concentrar nos quadrantes 3 e 4 (menores CV), variando suas características de irregularidade, complexidade e preenchimento urbano. Assim, por exemplo, São José do Rio Preto mantém-se no quadrante com menor irregularidade (PRE), com menor complexidade (PAR) e com menor fragmentação (DOC), e em todos os casos, com menores valores de CV.

Grande parte das áreas urbanas apresentou crescente irregularidade do perímetro e complexidade da forma urbana, ou seja, aumento nos valores de D, o que estaria de acordo com as características de cidades médias em crescimento, conforme os dados de área e perímetro ocupados na série temporal. Ao mesmo tempo, percebe-se a tendência de preenchimento dos espaços ainda não ocupados nas porções mais fragmentadas das cidades, sobretudo em direção às bordas das manchas urbanas.

Este maior preenchimento urbano pode estar relacionado com a maior preocupação quanto a ações de planejamento urbano nas últimas décadas, como a discussão em torno dos planos diretores, buscando o desenvolvimento mais equilibrado da cidade. No entanto, o maior preenchimento também pode relacionar-se com a especulação imobiliária ou ainda resultar da forma de urbanização por dispersão (TORRENS; ALBERTI, 2000; REIS FILHO, 2006), em que novas áreas nas proximidades das cidades são ocupadas e tendem a se tornar mais densas com o tempo. A variação nos valores de D pode ser explicada pela dinâmica de agregação de novas áreas à mancha principal, ou mesmo, a formação de novos núcleos urbanos na área de entorno, geralmente associados com a acessibilidade à rede viária.

A comparação dos três métodos de cálculo de D (PRE, PAR e DOC) por meio de parâmetros estatísticos básicos, como a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação, permitiu identificar a maior variação entre as cidades para os valores de D, no método DOC.

Com o objetivo de verificar o grau de separação dos valores de D pelos métodos utilizados, aplicou-se um teste pelo método dos mínimos quadrados aos valores de D, considerando a soma

de suas diferenças no tempo e no espaço. Esta etapa foi realizada a partir dos valores de D para as manchas principais. Esta opção sustenta-se pela resolução espacial e escala de trabalho utilizada (1:50.000), as quais impõem limitações à interpretação que tendem a ser minimizadas ao se considerar a mancha urbana principal.

O uso tradicional do método de mínimos quadrados busca o menor valor resultante da soma das diferenças. Nesta pesquisa, seu uso ocorreu no sentido inverso, ou seja, quanto maior a soma das diferenças entre os valores de D em cada método de cálculo, maior o grau de separação dos valores de D para o referido método.

Os resultados deste teste (Apêndice J), quando a soma das diferenças compreende a linha temporal, revelaram maior separação para o método DOC_{uc} (0,0856) em relação ao PRE (0,0749) e PAR (0,0317); quando considerada no espaço, a maior soma ocorreu para o método PRE (0,1025). No entanto, DOC_{uc} também se manteve elevado (0,0952). Dessa forma, o método DOC ¹² confirmou o maior nível de separação dos valores de D para o grupo de 14 áreas urbanas, tanto pelo desvio padrão como pelo método dos mínimos quadrados considerando a maior soma das diferenças.

5.3.2 A dimensão fractal do grupo de cidades médias no ano de 2010

A partir da variabilidade de D nos métodos utilizados ao longo do período 1938-2005, buscou-se verificar como seria seu comportamento em uma nova data de análise. O ano de 2010 foi considerado para esta etapa. Os resultados esperados referiam-se à continuidade na variação de D, em conformidade com as datas mais recentes, sobretudo 2005.

As áreas urbanizadas identificadas para o ano de 2010 confirmaram a tendência de menor ritmo de crescimento urbano, fato já destacado no Capítulo 3. Na Figura 5.5, as áreas acrescidas às formas urbanas de 2005 correspondem à ocupação urbana de 2010. Com base nas representações espaciais das manchas urbanas, pode ser observado que as cidades de São Carlos e Franca apresentaram os maiores acréscimos de novas áreas às suas morfologias, de acordo também com a taxa de variação quanto à área ocupada entre 2005 e 2010 (Figura 5.6).

¹² Para este teste, considerou-se somente DOC_{uc} , pelo fato destes valores de D considerarem a totalidade de cada área urbanizada, enquanto os valores médios do método DOC tendem a generalizar D, mostrando pouca separação, uma vez que consideram a média de D com a distância do centro urbano.

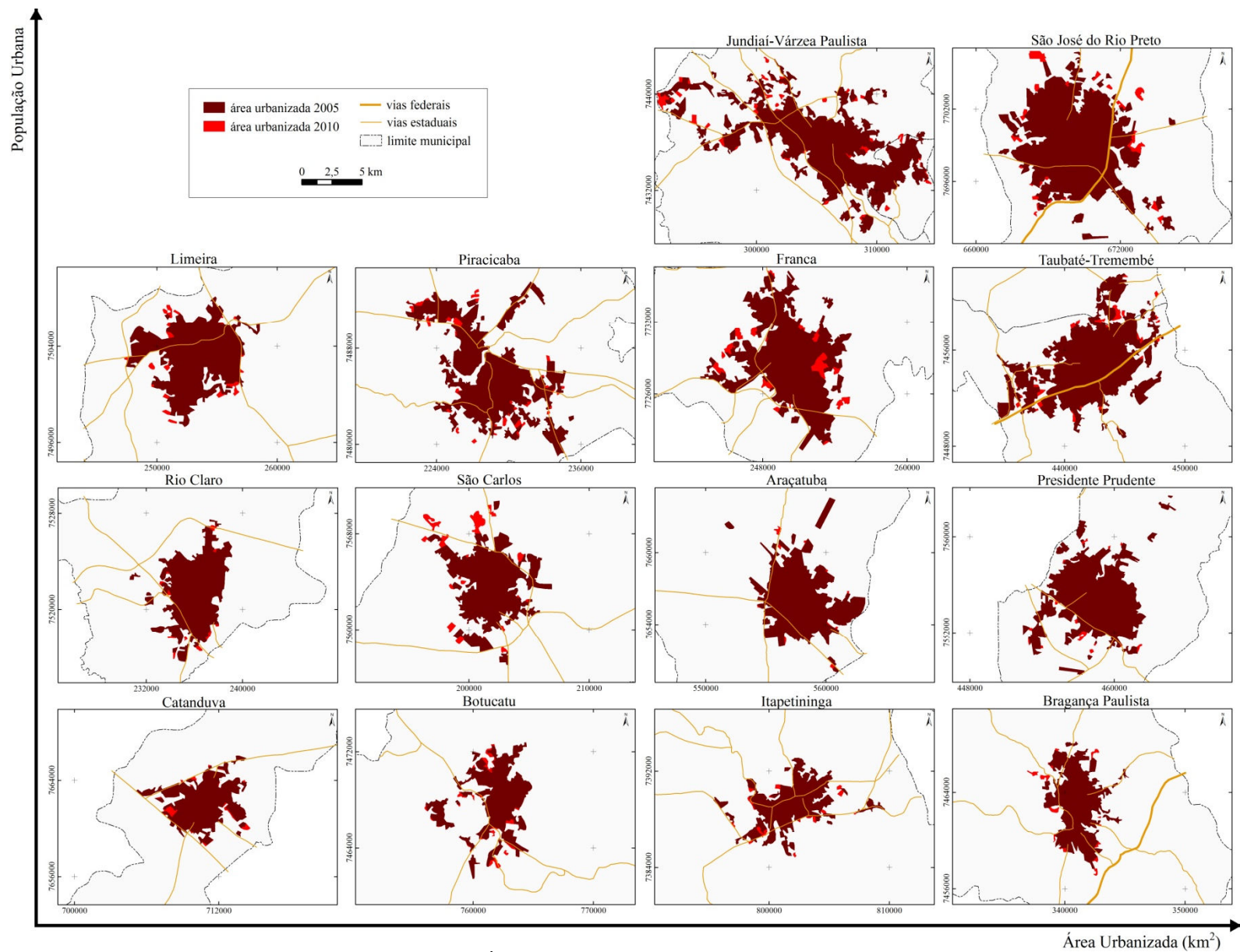


Figura 5.5 - Áreas ocupadas pelas cidades no ano de 2010.

As novas áreas adicionadas às cidades corresponderam a preenchimentos da forma, e estão relacionadas com os eixos de expansão urbana - principais eixos rodoviários, conforme tratado no Capítulo 3. A redução na ocupação de novas áreas pode ter relação também com a forma de ocupação urbana nas áreas de entorno, uma vez que a metodologia adotada considera somente as áreas com feições urbanas consolidadas e a tendência de crescimento para grande parte destas cidades refere-se à ocupação de áreas periféricas.

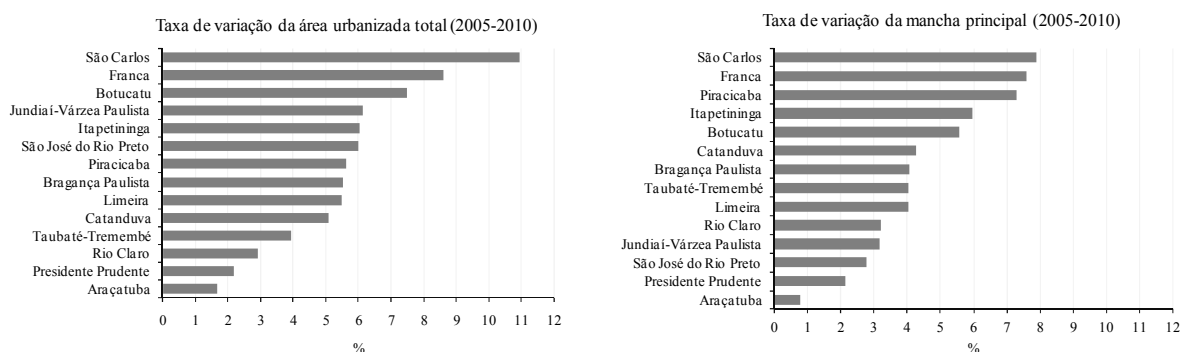


Figura 5.6 - Taxa de variação da área urbanizada total e da mancha principal entre os anos de 2005 e 2010.

As representações gráficas da Figura 5.7, confirmam a continuidade na variação das características das cidades quanto à irregularidade, à complexidade e à fragmentação¹³. Os valores de D para os três métodos são reflexo das mudanças da forma (Figura 5.7). De modo geral, os valores de D tenderam a aumentar para as áreas urbanizadas totais e manchas principais. Em algumas cidades, este crescimento representou maiores alterações nas características morfológicas, como em Franca, por exemplo, que apresentou maior regularidade de seu perímetro. Seus valores de D, para o método PRE, foram menores se comparados às demais datas (Capítulo 4).

Considerando-se ainda os valores de D para as datas anteriores (Capítulo 4), observou-se que as maiores alterações se concentraram nas cidades mais próximas ao valor médio de D em 2010. Ao se analisar os valores de D para 2010, em relação aos valores médios apresentados na Figura 5.2, foi possível verificar que existe uma dinâmica maior entre os valores do método DOC. Isto confirma a maior variação temporal deste método de cálculo para a análise do preenchimento urbano.

¹³ No Apêndice K, estão as assinaturas fractais (método DOC) para as cidades no ano de 2010, comparadas às assinaturas para o ano de 2005.

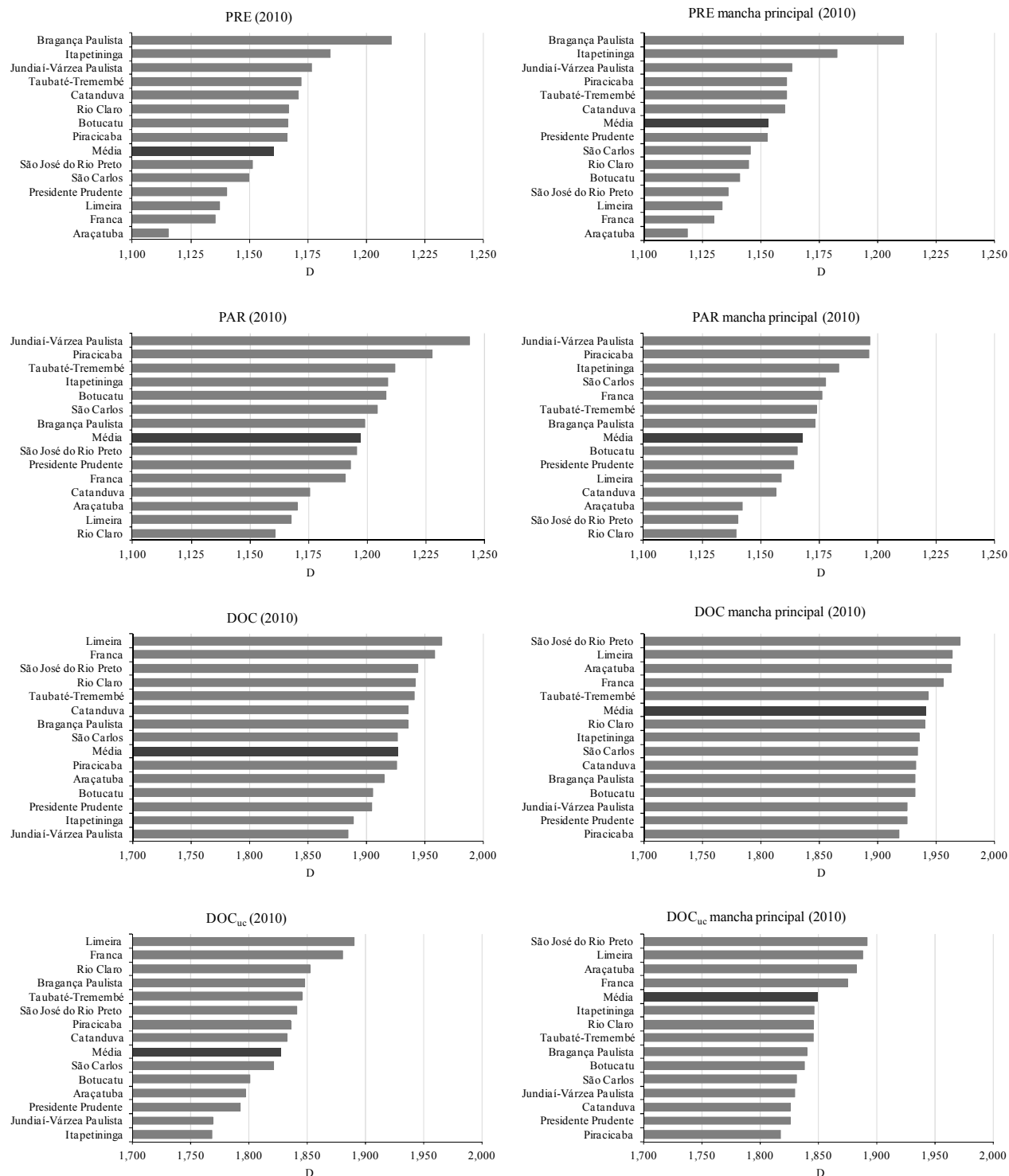


Figura 5.7 - Valores de D para os métodos PRE, PAR e DOC* no ano de 2010, para as áreas urbanizadas totais (à esquerda) e manchas principais (à direita).

*Os valores de D para o método DOC correspondem à média dos valores de D com o afastamento do centro urbano, em cada cidade. DOC_{uc} refere-se ao valor de D da última distância (círculo) atingida pelas áreas urbanizadas em 2010.

5.4 Relação da dimensão fractal com as formas urbanas

Ao longo da apresentação e análise dos resultados referentes à dinâmica espacial e temporal das cidades no Capítulo 3, foram mencionadas as características assumidas pelas formas urbanas de modo qualitativo. Uma análise com cunho quantitativo destas formas foi apresentado no Capítulo 4, quanto aos valores de D assumidos pelas mesmas ao longo de sua evolução. Até o momento, as formas urbanas foram aproximadas a aspectos alongados ou circulares. O cálculo do índice de forma (IF) foi proposto no sentido de confirmar a relação existente entre a forma e os aspectos descritos pela D .

A Figura 5.8 apresenta a evolução do IF para cada cidade nas quatro datas de análise, tanto para as áreas urbanizadas totais como para as manchas principais. O valor do IF é único para o ano de 1938, em todos os casos, para a área urbanizada total e mancha principal. Para a grande maioria das cidades, uma grande alteração entre 1938 e 1985 foi verificada. Isto em decorrência do grande avanço dos processos de urbanização e industrialização que ocorreram neste intervalo temporal, com reflexos de maior ou menor intensidade nas formas urbanas.

Grandes mudanças desse período (1938-1985) podem ser verificadas nas cidades de Araçatuba, Catanduva e Jundiaí-Várzea Paulista, tanto para a área urbanizada total, como para a mancha principal destas cidades. Em São Carlos, tais alterações ocorreram somente para a área urbanizada total e, em Presidente Prudente para a mancha principal, de acordo também com as formas urbanas da Figura 3.15.

A cidade de Limeira apresentou semelhança entre a forma urbanizada total e da mancha principal; isto se deveu à pouca ocorrência de fragmentos de área urbanizada considerada consolidada em seu entorno. Este fato não exclui a existência de usos com características urbanas em suas bordas, como a presença de condomínios ou chácaras. O aglomerado Taubaté-Tremembé, por sua vez, apresenta uma inversão na data de análise recente (2005), passando a mancha principal a ser ligeiramente mais irregular que a área urbanizada total, por causa da agregação de núcleos urbanos até então isolados.

A Figura 5.9 traz a variação do IF no período considerado, a partir dos valores médios para cada cidade (área urbanizada total e mancha principal). Nestas representações, é possível verificar as grandes alterações das cidades, sendo que os maiores valores de CV corresponderam às cidades citadas anteriormente.

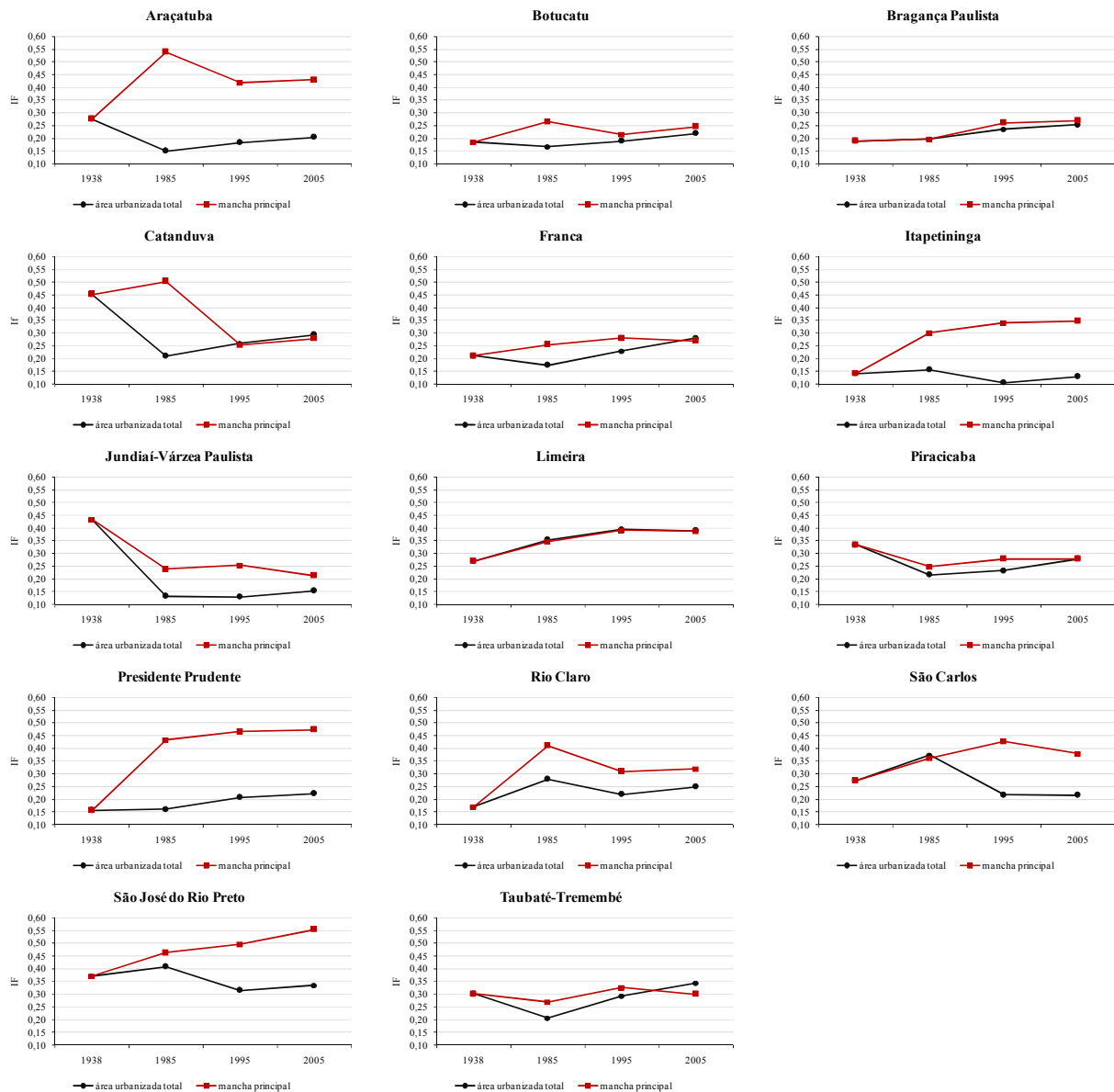


Figura 5.8 - Dinâmica das formas urbanas no período (1938-2005), comparando a área urbanizada total e a mancha principal de cada cidade.

São José do Rio Preto e Limeira se mantiveram no quadrante com menor CV e maior IF (formas urbanas mais compactas e com maior tendência à circularidade); Botucatu, Bragança Paulista e Franca permaneceram no quadrante com menor CV e menor IF (formas urbanas tendem a ser alongadas); Jundiaí-Várzea Paulista apresentou grande variação no período, explicada pela evolução de sua forma (ver Figura 3.15), fortemente influenciada pelas rodovias que cortam sua mancha urbana.

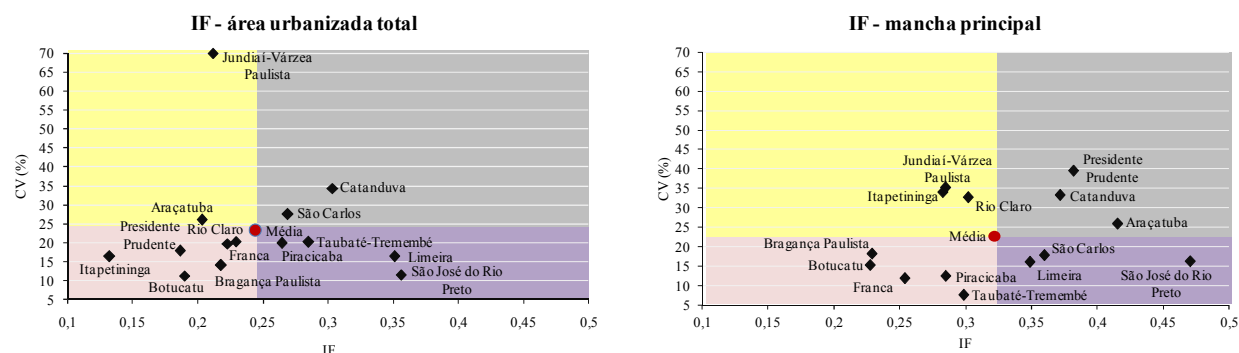


Figura 5.9 - Distribuição das cidades médias em relação ao índice de forma (IF) e ao coeficiente de variação deste índice entre 1938 e 2005, considerando-se a área urbanizada total e a mancha principal.

A relação entre os valores do IF e os valores de D para os três métodos utilizados, considerando as áreas urbanizadas totais e as manchas principais, é apresentada na Figura 5.10. As representações gráficas da Figura 5.10 antecipam os resultados da correlação de Spearman (Tabelas 5.5 e 5.6), que admitem maior correlação entre IF e os valores de D para o método DOC. A Tabela 5.5 apresenta os valores de correlação obtidos para cada data de análise, nas áreas urbanizadas totais e nas manchas principais do grupo de cidades. Para o método DOC, a correlação mostrou-se significativa e forte para a área urbanizada total, reduzindo-se para a mancha principal.

O método PAR também revelou correlação forte, no entanto, negativa. Isto porque à medida que a forma tende à menor irregularidade, a dimensão fractal diminui. No método DOC, a dimensão aumenta com a regularidade ou preenchimento urbano. Este mesmo comportamento de D em relação ao IF foi verificado na correlação entre os valores médios de D e IF para o período total (Tabela 5.6), ou seja, IF e D estão correlacionados significativamente tanto para os dados de área urbanizada total como para a mancha principal.

A correlação significativa entre dimensão fractal e forma também foi obtida por Sanches e Ferreira (2008). Estes autores sugeriram ainda que estas métricas estão correlacionadas a características socioeconômicas, no caso, o índice de motorização e o PIB. Quanto maiores os valores destas variáveis, as formas urbanas tendem a se apresentar mais irregulares e complexas. Isto porque o número de loteamentos periféricos tende a crescer, aliado a isso está a possibilidade de residir em condomínios periféricos por parte da população que passa a ter maior poder aquisitivo.

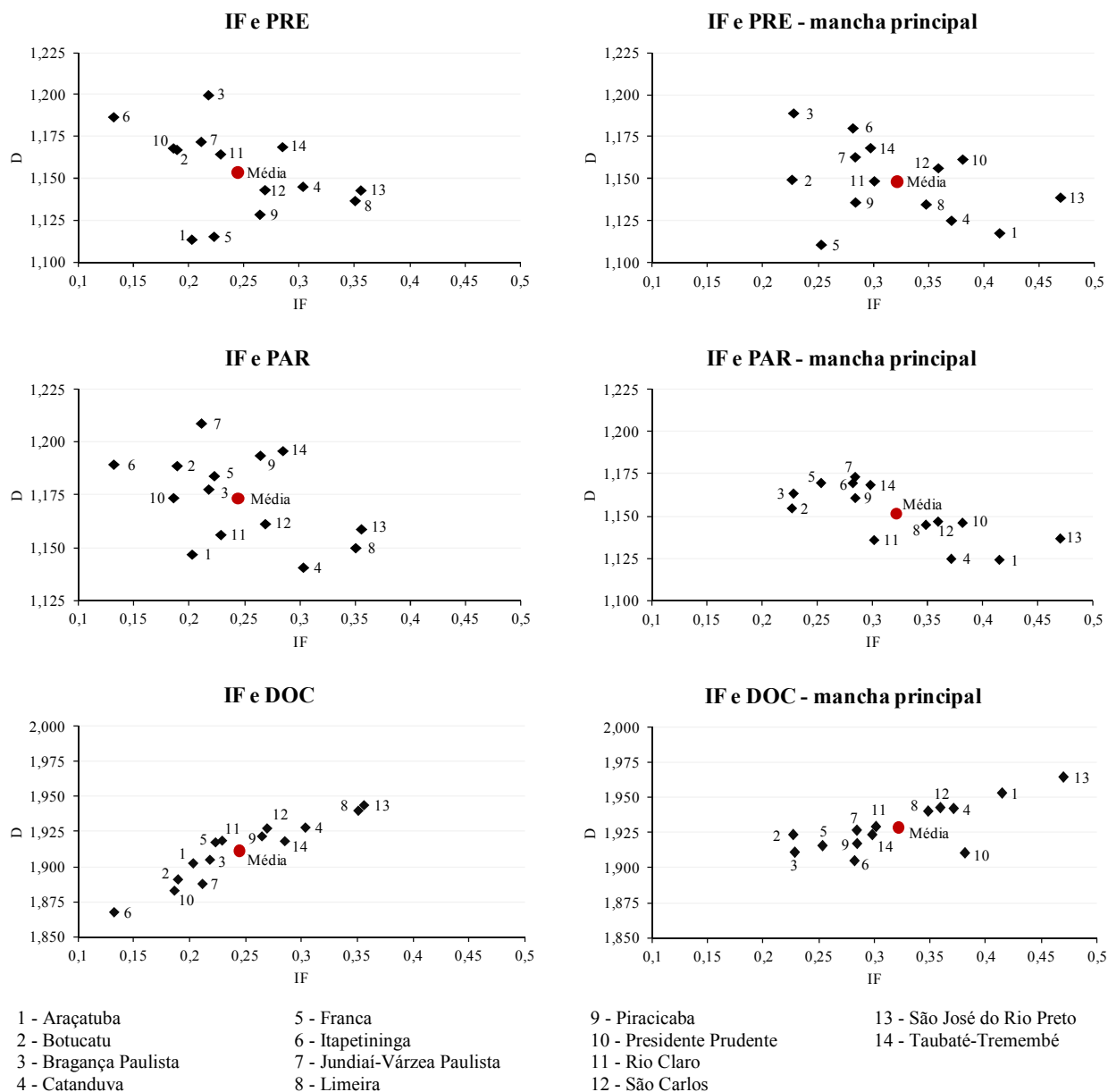


Figura 5.10 - Relação entre os valores médios de D e IF para as áreas urbanizadas totais e manchas principais, no período 1938-2005.

Tabela 5.5 - Valores do coeficiente de Spearman (r_s), entre IF e D (três métodos), para as áreas urbanizadas totais e manchas principais, segundo as datas de análise.

	Áreas urbanizadas totais			Manchas principais		
	PRE	PAR	DOC	PRE	PAR	DOC
1938	-0,473	-0,670*	0,877*	-0,473	-0,670*	0,877*
1985	-0,275	-0,613	0,842*	-0,429	-0,736*	0,793*
1995	-0,200	-0,323	0,855*	0,033	-0,310	0,820*
2005	-0,086	-0,292	0,846*	-0,473	-0,622*	0,512

Para o ano de 1938, os valores de correlação para as áreas urbanizadas totais e manchas principais são os mesmos.

*Coeficiente de correlação de Spearman (r_s) significativa para $P < 0,01$.

Tabela 5.6 - Valores do coeficiente de correlação de Spearman (r_s), entre IF e D (três métodos) no período inteiro para as áreas urbanizadas totais e manchas principais.

	PRE	PAR	DOC
Áreas urbanizadas totais	-0,385	-0,349	0,960*
Manchas principais	-0,363	-0,745*	0,666*

*Coeficiente de correlação de Spearman (r_s) significativa para $P < 0,01$.

Então, existe um forte nível de associação entre IF e D, sobretudo para o método DOC, nesta pesquisa. Cidades alongadas tendem, de fato, a apresentar maior fragmentação em suas áreas urbanizadas; a intensidade, no entanto, dependerá do nível de detalhe utilizado para seu estudo.

A associação entre forma urbana e valores de D pode ser ilustrada também pelo teste de dependência locacional elaborado para o caso dos loteamentos de Piracicaba (Seção 3.4.1 do Capítulo 3). Neste teste, verificou-se a não aleatoriedade na localização dos loteamentos, sendo que os mesmos tendem a influenciar na morfologia urbana. Ao se comparar os resultados obtidos para a escala *R* em Piracicaba, com suas características de forma urbana e, principalmente, com seus valores de D ao longo do período, observa-se uma relação entre os valores. No período recente, a variação de D, e por consequência, da forma urbana, relaciona-se com os fatores que influenciam no crescimento da cidade, como os interesses imobiliários na implantação de novos loteamentos ou outras alterações espaciais.

5.5 Conclusões

A análise da variação temporal de D mostrou a maior oscilação entre as cidades para o método DOC, para as áreas urbanizadas totais e manchas principais. Os valores de DP e CV refletiram a intensidade das alterações sofridas pelas áreas urbanas. Valores baixos podem significar menores alterações ou manutenção das características morfológicas ao longo do tempo.

A caracterização da variação de D, no tempo e de forma gráfica, possibilitou uma setorização das cidades quanto às características fractais. Permitiu verificar que um número maior de cidades apresentou maior variação quanto à fragmentação (DOC). A variação de D relacionou-se à forma de crescimento das cidades, à urbanização periférica ao longo da rede viária e mesmo ao maior preenchimento das formas urbanas no tempo. O teste pelo método dos mínimos quadrados também evidenciou separação maior dos valores de D pelo método DOC.

A variação temporal de D se confirmou para o ano de 2010, ou seja, o crescimento urbano tendeu a apresentar menor ritmo, embora o intervalo seja de apenas cinco anos em relação à última data de análise, o ano de 2005. A oscilação dos valores de D destacou-se novamente para o método DOC.

Os valores do IF caracterizaram as cidades quanto à forma urbana. Assim, São José do Rio Preto, por exemplo, confirmou a tendência de maior circularidade de sua forma, enquanto Jundiaí-Várzea Paulista destacou-se pela grande variação de sua forma no período. As maiores alterações na forma urbana, de fato, ocorreram no período entre 1938 e 1985. A correlação entre IF e D mostrou-se forte, principalmente para o método DOC, tanto para a área urbanizada total (0,960) como para a mancha principal (0,666).

Portanto, o método DOC revelou maior variação temporal entre as cidades ao longo do tempo, e este comportamento foi mantido no ano de 2010; correlacionou-se de forma significativa com os valores do IF e permite um maior detalhamento quanto ao preenchimento urbano, uma vez que considera o afastamento do centro urbano em direção às bordas urbanas. Estas características o elegem para a etapa de identificação dos possíveis padrões de fragmentação urbana com base na dimensão fractal.

IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PADRÕES DE FRAGMENTAÇÃO URBANA A PARTIR DA DIMENSÃO FRACTAL

6.1 Introdução

As cidades constituem grandes manchas ocupadas e suas periferias são caracterizadas pela variedade de usos. Isto resulta em paisagens complexas, que constituem um mosaico altamente fragmentado pelo uso e ocupação, além da influência da infraestrutura de transporte (THOMAS et al., 2008).

O padrão de ocupação urbano pode ser interpretado como processo de auto-organização em que dinâmicas complexas geram certos tipos de organização espacial (FRANKHAUSER, 1998). Estas dinâmicas derivam de decisões associadas às características de cada lugar, sejam físicas e ambientais, sejam relacionadas às políticas de planejamento. Isto porque, conforme sugere Lamas (2000), a forma urbana não pode ser dissociada de seu suporte geográfico, pois a forma é indissociável do seu sítio e do território.

As formas urbanas são resultado das características do sítio em que se inserem e das constantes alterações que lhes são impostas ao longo do tempo. Alguns elementos tendem a direcionar ou impulsionar o crescimento da forma urbana, enquanto outros tendem a limitar o seu crescimento. Villaça (2001) cita as vias de transporte como o mais importante elemento para a expansão urbana. O autor aponta como exemplo de limitação, os obstáculos naturais, tais como serras, zonas de proteção de recursos naturais etc., os quais tenderiam a acentuar o adensamento da área urbana.

A diversidade que as formas urbanas apresentam pode ser entendida a partir de seu grau de fragmentação, o qual pode ser obtido pela dimensão fractal. Adicionalmente, a dimensão fractal pode se constituir em um meio para regionalizar as cidades, considerando-se sua forma de ocupação, pois, conforme Batty (2012), ela determina o grau de preenchimento do espaço que as cidades ocupam.

Medidas fractais podem caracterizar a organização espacial de padrões urbanos (THOMAS

et al.; 2008). Neste sentido, propôs-se a identificação e posterior caracterização de padrões para a fragmentação urbana das cidades médias em estudo, pela análise de agrupamento, utilizando os dados de D para o método DOC, especificamente para as manchas urbanas principais. De acordo com Thomas et al. (2008), a análise de agrupamento pode ser uma alternativa para distinguir classes homogêneas e significativas de ocupação que são descritas por índices morfométricos.

A partir dos grupos formados pela análise de agrupamento, buscou-se relacioná-los às características de forma urbana e também físico-geográficas, de forma a obter uma caracterização espacial e temporal para cada padrão de fragmentação urbana identificado para o grupo de cidades médias do estado de São Paulo.

6.2 Procedimentos metodológicos

Esta etapa da pesquisa envolve todo o desenvolvimento metodológico anterior, uma vez que trata da busca por padrões de fragmentação urbana para o grupo de cidades. A estruturação da sequência metodológica (Figura 6.1) apresenta o processo de obtenção das situações geográficas para o crescimento urbano das cidades com base nos resultados do cálculo de D, especificamente considerando cada data de análise e o conjunto das datas que compõem o período (1938-2005).

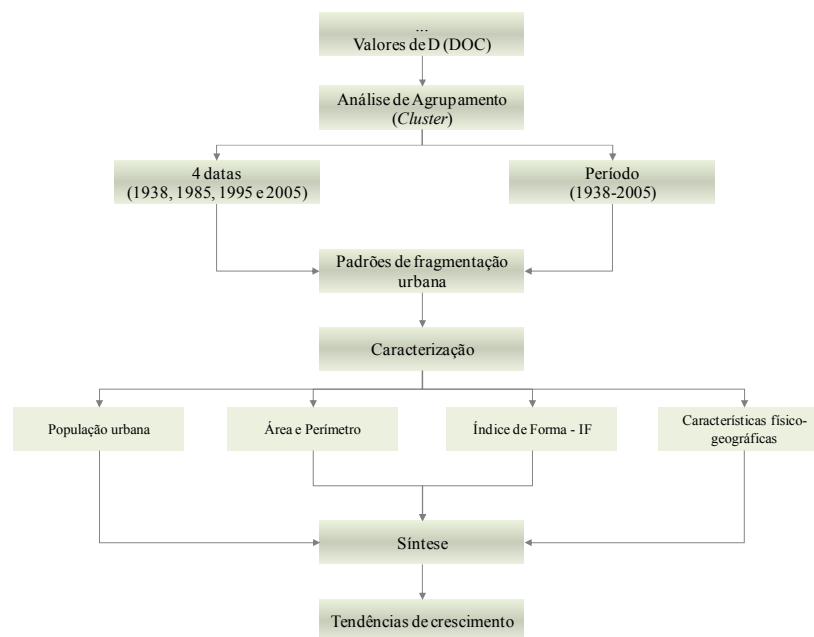


Figura 6.1 - Sequência metodológica para identificação e caracterização dos padrões de fragmentação urbana para o grupo de cidades médias, de acordo com a dimensão fractal.

Além disso, também está contida na Figura 6.1 a ordem quanto à caracterização e à síntese dos padrões identificados para o grupo de cidades médias que representam o estado de São Paulo. Cada etapa desta sequência de trabalho está detalhada nas próximas seções.

6.2.1 Análise de agrupamento

Em conformidade com os objetivos da pesquisa - que se referem à possibilidade de identificação de padrões similares para o crescimento morfológico das cidades a partir dos valores de dimensão fractal - utilizou-se a análise de agrupamento. A análise de agrupamento justifica-se pelo seu conceito que, conforme Hair et al. (1998), é o nome de um grupo de técnicas multivariadas que detêm como propósito principal agrupar objetos com base nas características que os mesmos possuem.

O resultado da análise de agrupamento deve conter maior homogeneidade entre os objetos que compõem cada grupo e maior heterogeneidade entre os grupos formados. Então, a classificação dos objetos em cada grupo revela maior similaridade entre eles de acordo com uma característica determinada pelo pesquisador. A análise de agrupamento, nesta pesquisa, foi realizada a partir dos dados de D, calculados pelo método DOC, o qual foi selecionado conforme discussão e análise comparativa apresentada no Capítulo 5. Os parâmetros a serem definidos para a análise relacionam-se com o método de associação e o tipo de distância medida. Após testes metodológicos, adotou-se o método de associação Ward - um procedimento de agrupamento hierárquico, no qual a medida de similaridade usada para conectar grupos é a soma de quadrados entre os dois agrupamentos, realizada sobre todas as variáveis (HAIR et al., 1998). A medida de distância selecionada foi a euclidiana, a mais comumente utilizada. Esta etapa foi desenvolvida no *software* MYSTAT 12 e também no *software* Matlab.

Para a definição do número de grupos a ser considerado, tanto para os dados de cada data de análise, como para a dinâmica do período, foi utilizado o teste de validação pelo índice da raiz quadrada do desvio padrão (*Root Mean Square Standard Deviation* - RMSSTD). No entanto, de acordo com Hair et al. (1998), nesta etapa está presente o julgamento do pesquisador em face de seu conhecimento do objeto de estudo, embora seja considerado subjetivo.

6.2.2 Análise espacial dos padrões de fragmentação urbana

Para cada data de análise, a caracterização dos grupos considerou a frequência com que as

cidades ocupavam cada grupo, ao longo do tempo. Para caracterizar os padrões de fragmentação, foram considerados, além dos dados de D para o método DOC, que apresentou maior variação e separação entre os valores ao longo do tempo, a população urbana, o perímetro e a área urbanizada e os dados do IF - todos referentes a cada cidade.

Com relação aos aspectos físicos, foi utilizado o mapa de unidades geomorfológicas (IPT, 1981), para representar as unidades de paisagem do estado em escala regional. Em escala local, de sítio, propôs-se a utilização das características topográficas de cada município. Para a elaboração das representações cartográficas da topografia de cada cidade foram utilizados os dados GDEM do satélite ASTER, conforme detalhado na Seção 2.4.4 do Capítulo 2.

Inicialmente, os dados GDEM foram registrados à base de dados espacial da pesquisa, e em seguida, foram geradas as representações das elevações, com base no modelo digital de elevação (MDE) de cada município. Para a definição das classes altimétricas, foi desenvolvida uma análise exploratória quanto à variação das altitudes presentes em todas as cidades, e então definido o número de classes que representasse todas as altitudes e permitisse compará-las.

A partir destas variáveis, foi gerado um quadro síntese que caracterizou os padrões de fragmentação identificados, considerando-se, sobretudo, o grau de fragmentação urbana (D), os valores de IF, os valores de perímetro e área urbanizada, além dos aspectos físico-geográficos de cada município. Ao final, será apresentada, ainda, uma situação de tendência para cada padrão de fragmentação urbana, incluindo os resultados obtidos no Capítulo 5 para o ano de 2010.

6.3 Proposta de identificação e caracterização de padrões de fragmentação urbana para cidades médias a partir da análise de agrupamento

Para a elaboração do agrupamento das cidades médias, tomou-se os resultados obtidos pelo método DOC para a mancha urbana principal, com base na discussão do Capítulo 5. Desta forma, foram delimitados, inicialmente, os grupos que caracterizaram o crescimento urbano para cada data de análise e, posteriormente, os grupos que caracterizaram a dinâmica espacial e temporal do intervalo em estudo. O agrupamento para a dinâmica do período constituiu os padrões de fragmentação urbana, caracterizados a partir dos sítios urbanos que compõem cada grupo, o que resultou em diferentes situações geográficas para a expansão urbana das cidades médias.

6.3.1 Análise de agrupamento para o crescimento urbano nas datas de análise

Em vista da abordagem temporal da pesquisa e da dinamicidade apresentada pelos resultados, ou seja, a grande variabilidade quanto ao grau de fragmentação urbana verificada no período, optou-se em elaborar um agrupamento para cada uma das datas em análise - 1938, 1985, 1995 e 2005 -, conforme a Figura 6.2. A escolha da distância de corte para a definição dos grupos tomou como base o índice de validação RMSSTD, que indicou três grupos em todas as datas¹⁴.

A partir dos resultados da análise de agrupamento (Figura 6.2), os grupos de cidades formados em cada data de análise foram espacializados no mapa do estado de São Paulo (Figura 6.3). No Grupo 1, encontram-se as cidades mais fragmentadas, com menores valores de D em cada data; no Grupo 2 estão inclusas as cidades com valores de D intermediários e; no Grupo 3 estão as cidades que apresentaram menor fragmentação em suas manchas urbanas.

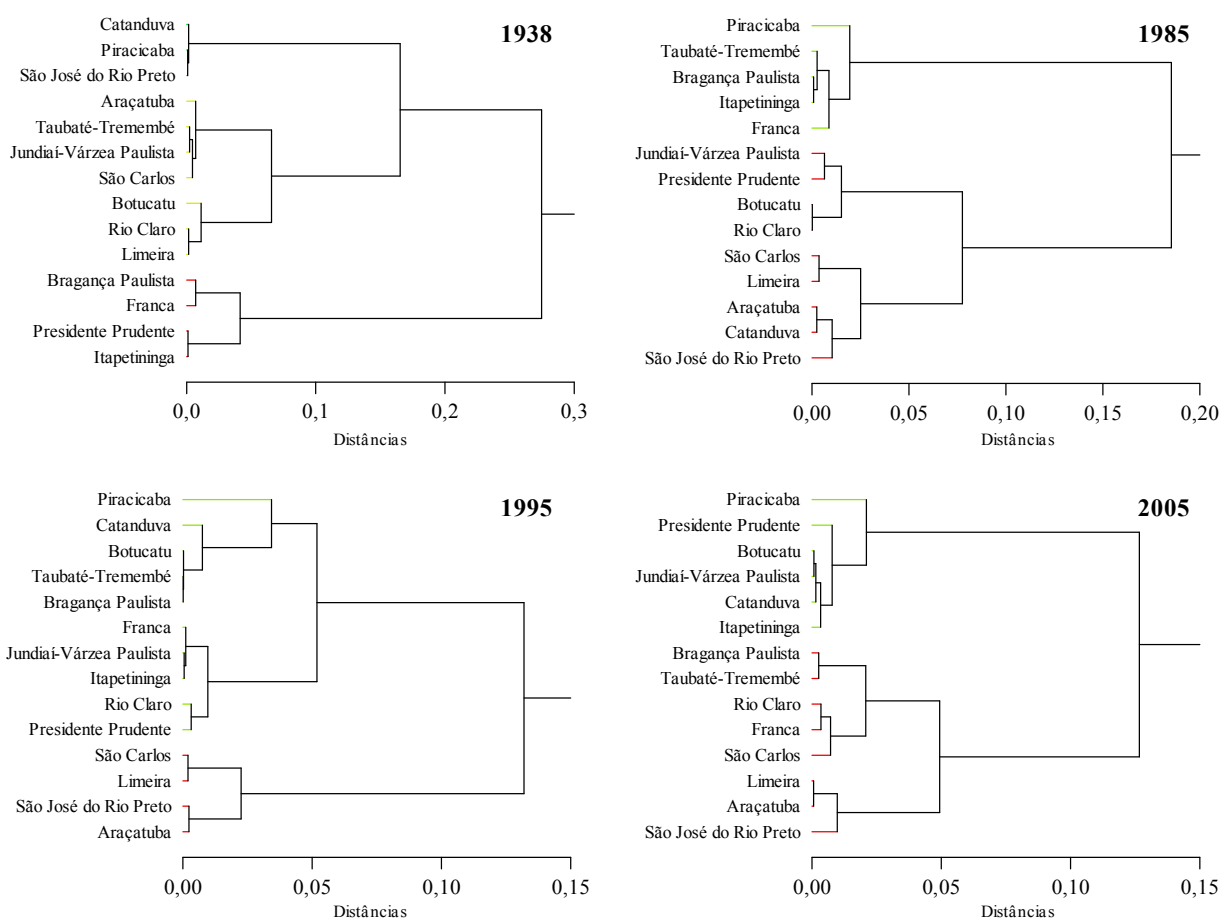


Figura 6.2 - Dendrogramas dos grupos de cidades médias formados em 1938, 1985, 1995 e 2005.

¹⁴ A tabulação das distâncias para o agrupamento bem como o índice de validação, relativo à definição do número de grupos a ser considerado, compõem o Apêndice L.

A mobilidade de cada cidade entre os grupos definidos pelos valores de D pode ser verificada na Figura 6.3. Esta mobilidade está representada por meio da frequência de cada cidade em cada grupo (Tabela 6.1). A partir da incidência ou pertencimento de cada cidade em cada grupo ao longo das datas de análise, foi possível identificar a variação da forma urbana quanto ao maior ou menor grau de fragmentação em cada data. A análise da Tabela 6.1 permite evidenciar que seis cidades pertenceram a dois grupos distintos por duas datas de análise (50%). Outras seis cidades permaneceram por apenas uma data em um grupo (25%). De modo geral, cada cidade pertenceu a dois grupos diferentes ao longo do período.

São José do Rio Preto permaneceu no Grupo 3 em todas as datas de análise, em conformidade com as constatações feitas quanto à sua forma urbana: tendência à circularidade, maiores valores de IF e também valores de D. Rio Claro também permaneceu no mesmo grupo no período, apresentou fragmentação média de sua forma urbana.

Tabela 6.1 - Frequência de associação de cada cidade, por grupo, no período entre 1938 e 2005.

	1938	1985	1995	2005	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Araçatuba	▲	■	■	■	0%	25%	75%
Botucatu	▲	▲	●	●	50%	50%	0%
Bragança Paulista	●	●	●	▲	75%	25%	0%
Catanduva	■	■	●	●	50%	0%	50%
Franca	●	●	▲	▲	50%	50%	0%
Itapetininga	●	●	▲	●	75%	25%	0%
Jundiaí-Várzea Paulista	▲	▲	▲	●	25%	75%	0%
Limeira	▲	■	■	■	0%	25%	75%
Piracicaba	■	●	●	●	75%	0%	25%
Presidente Prudente	●	▲	▲	●	50%	50%	0%
Rio Claro	▲	▲	▲	▲	0%	100%	0%
São Carlos	▲	■	■	▲	0%	50%	50%
São José do Rio Preto	■	■	■	■	0%	0%	100%
Taubaté-Tremembé	▲	●	●	▲	50%	50%	0%

● Grupo 1 ▲ Grupo 2 ■ Grupo 3

0 (zero) = nenhuma data de análise; 25% = uma data; 50% = duas datas; 75% = três datas e 100% = quatro datas.

Ainda analisando-se a Tabela 6.1, percebe-se que o Grupo 3, com menor fragmentação, apresentou menor variabilidade quanto a seus membros (seis cidades ao longo do período). Somente Catanduva e Piracicaba apresentaram ordem de fragmentação distinta, passando do Grupo 3 para o Grupo 1. Ambas as formas urbanas foram caracterizadas como menos fragmentadas inicialmente e tenderam à fragmentação no decorrer do tempo, sendo que esta fragmentação ocorreu com maior intensidade em Piracicaba.

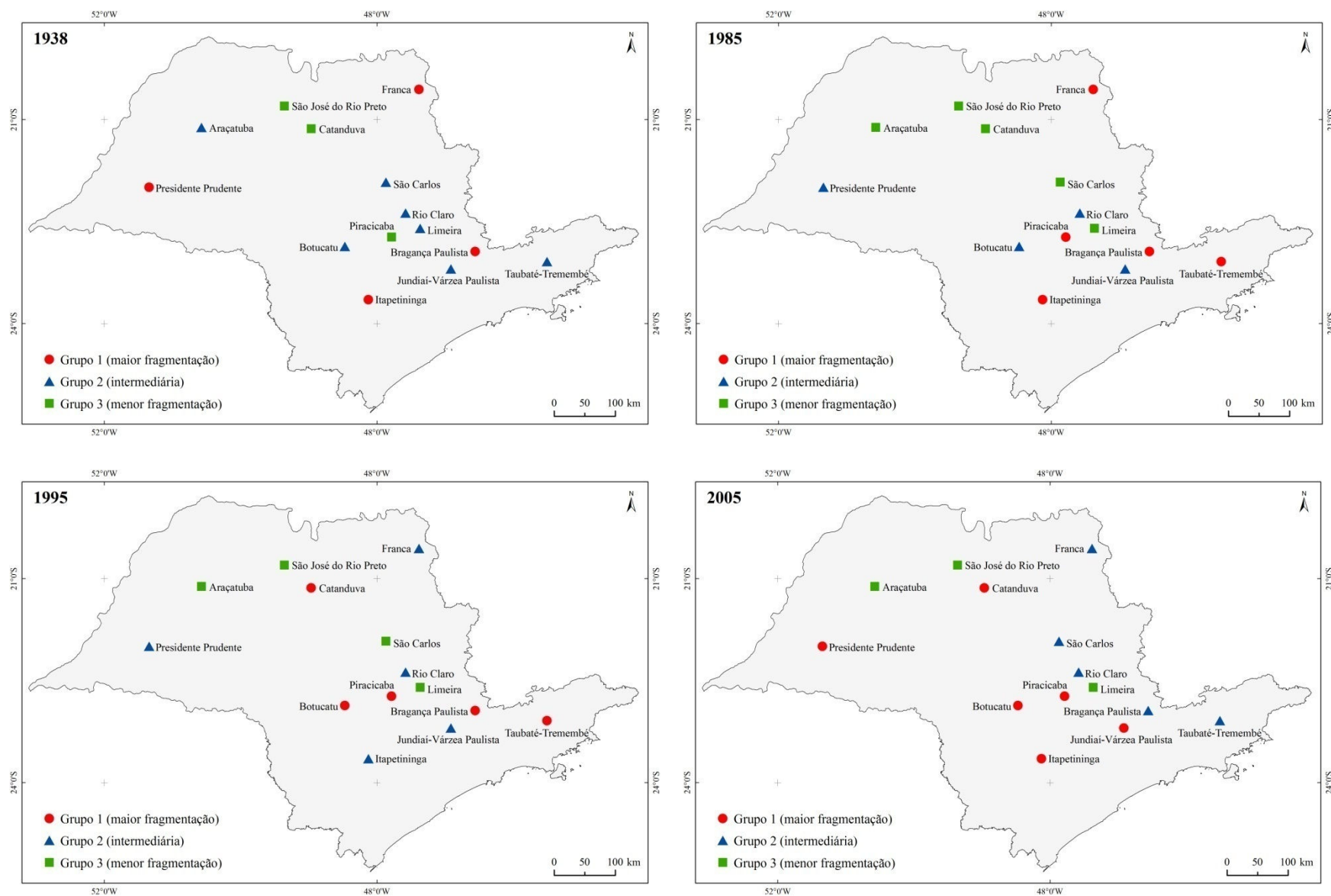


Figura 6.3 - Distribuição espacial dos grupos de cidades médias resultantes da análise de agrupamento em cada data de análise.

6.3.2 Dinâmica espacial e temporal do período: padrões de fragmentação urbana

As características de evolução das formas urbanas e migração entre grupos, conforme apresentado na seção anterior, foi base para a obtenção dos padrões de fragmentação das formas urbanas para o período em análise. A Figura 6.4 apresenta o resultado obtido pela análise de agrupamento das cidades, representando a dinâmica espacial e temporal do período 1938-2005. A análise de agrupamento obtida também foi limitada em três grupos de acordo com o índice RMSSTD, na distância euclidiana de 0,048, a partir dos valores utilizados¹⁵.

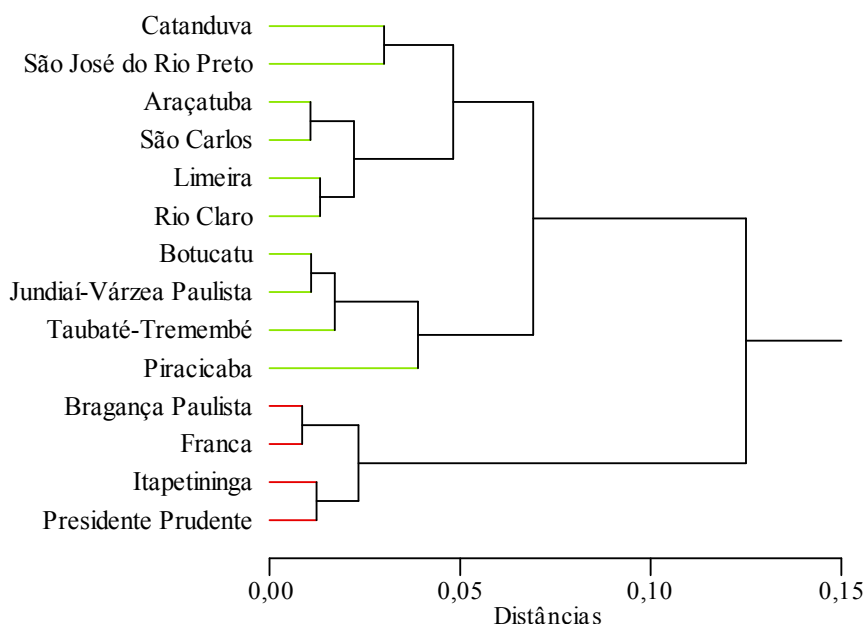


Figura 6.4 - Formação dos grupos para a dinâmica temporal das cidades médias (1938-2005).

A distribuição destes novos grupos no estado de São Paulo está representada na Figura 6.5, na qual estão sobrepostos ao mapa geomorfológico do estado de São Paulo (IPT, 1981), considerando-se às cinco grandes unidades geomorfológicas. Os grupos obtidos para a dinâmica espaço-temporal de D foram caracterizados com base na intensidade de mudanças ao longo do tempo, semelhante ao agrupamento realizado para cada data de análise.

O Grupo 1 caracteriza-se pela maior fragmentação urbana associada a formas urbanas alongadas. O Grupo 2 congrega as áreas urbanas que oscilaram no período, passando a apresentar valores intermediários de fragmentação urbana e, também, formas urbanas alongadas. O Grupo 3 reúne cidades que mantiveram os valores de D mais elevados, mostrando maior preenchimento

¹⁵ Detalhamento no Apêndice L.

das formas urbanas e tendência à circularidade. Esta caracterização pode ser comparada com os grupos para cada data de análise.

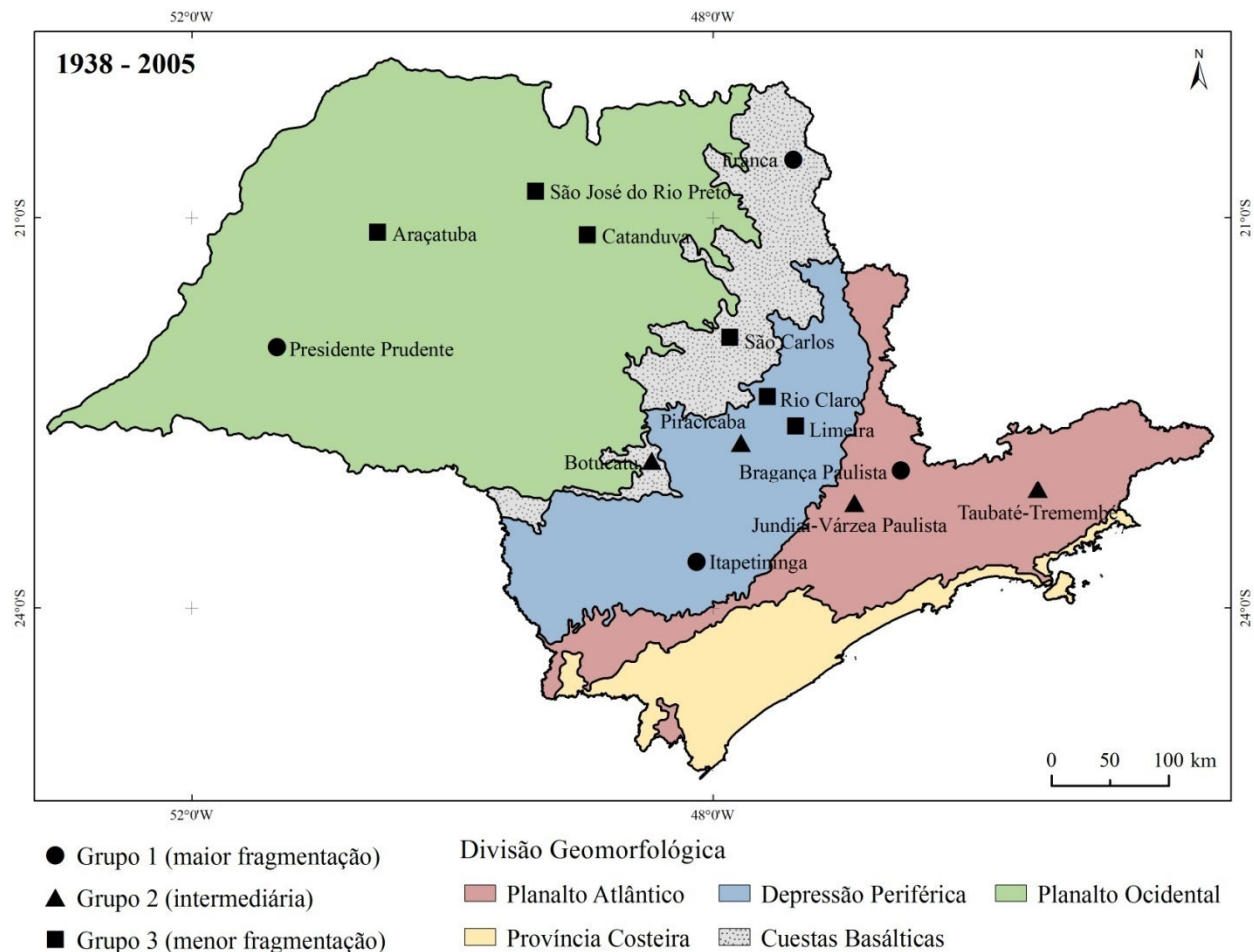


Figura 6.5 - Grupos de cidades médias resultantes da análise de agrupamento para o período 1938-2005, sobrepostos ao mapa geomorfológico do estado de São Paulo (IPT, 1981).

O Grupo 1 - Presidente Prudente, Franca, Itapetininga e Bragança Paulista - está espacialmente distribuído mais próximo às fronteiras do estado de São Paulo, considerando sua disposição geográfica. O Grupo 2 é formado por Botucatu, Piracicaba e os dois aglomerados urbanos, Jundiaí-Várzea Paulista e Taubaté-Tremembé. A localização deste grupo de cidades tende a formar uma linha da porção central de São Paulo em direção a leste. O Grupo 3, que agrega formas urbanas com maior preenchimento, é formado por Araçatuba, São José do Rio Preto, Catanduva, São Carlos, Rio Claro e Limeira. Este grupo distribui-se geograficamente na porção central e norte do estado.

As 14 áreas urbanas que compõem o objeto de estudo estão distribuídas em quatro das

cinco unidades geomorfológicas propostas pelo IPT (1981), conforme caracterização da situação geográfica para cada grupo, no Quadro 6.1. Considerando-se a posição geográfica ocupada pelas cidades, é possível apontar a maior diversidade no Grupo 1 e maior homogeneidade nos Grupos 2 e 3, uma vez que a distribuição das cidades destes grupos se concentra em três das quatro unidades geomorfológicas. Enquanto o Grupo 2 se concentra nas *cuestas* basálticas, depressão periférica e planalto atlântico, o que lhe confere maiores imposições físico ambientais ao crescimento urbano, o Grupo 3 está concentrado no planalto ocidental, nas *cuestas* basálticas e na depressão periférica, fato que revela valores menores de fragmentação urbana, em vista das menores imposições físicas e ambientais ao seu crescimento urbano, levando-se em conta somente aspectos físico-geográficos.

Esta constatação pode ser observada também nos agrupamentos para cada data de análise (Seção 6.3.1), sobretudo para o Grupo 3, pois as cidades que compreenderam este Grupo ao longo do período, apresentaram menor variação e tenderam a se concentrar na porção central e norte do estado, portanto, nas mesmas unidades geomorfológicas.

Quadro 6.1 - Situação geográfica de cada grupo quanto às unidades de relevo e população urbana em 2005.

Grupos	Cidades	Unidade Geomorfológica	Pop. Urbana 2005
1	Bragança Paulista	Planalto Atlântico	129.685
	Franca	<i>Cuestas</i> Basálticas	310.886
	Itapetininga	Depressão Periférica	123.615
	Presidente Prudente	Planalto Ocidental	196.111
2	Botucatu	<i>Cuestas</i> Basálticas	113.719
	Jundiaí-Várzea Paulista	Planalto Atlântico	425.795
	Taubaté-Tremembé	Planalto Atlântico	282.527
	Piracicaba	Depressão Periférica	344.335
3	Catanduva	Planalto Ocidental	108.499
	São José do Rio Preto	Planalto Ocidental	376.828
	Araçatuba	Planalto Ocidental	172.568
	São Carlos	<i>Cuestas</i> Basálticas	204.202
	Limeira	Depressão Periférica	259.148
	Rio Claro	Depressão Periférica	178.990

Fonte: IPT (1981), SEADE (2005).

As características populacionais apresentadas no Quadro 6.1 também evidenciam a grande diversidade entre as cidades que compõem cada grupo, embora estas tenham sido selecionadas no

intervalo populacional entre 100.000 e 500.000 habitantes. Esta diversidade permite concluir que o tamanho populacional ou o aumento da população urbana pode influenciar na demanda por infraestrutura, mas não diretamente na forma urbana, especificamente em seu grau de fragmentação.

Para ilustrar este fato, considerou-se o valor médio de população urbana para cada grupo e data de análise (Figura 6.6). Observa-se que o Grupo 2 possui maior contingente populacional. Isto porque, neste grupo, estão incluídos os dois aglomerados urbanos (Jundiaí-Várzea Paulista e Taubaté-Tremembé), além de Piracicaba, que estão entre as cidades com maior população urbana (ver Figura 3.15). Embora a população não possa ser considerada como determinante na fragmentação urbana, é possível verificar na Figura 3.15 que três das quatro cidades que compõem o Grupo 2 apresentam população representativa no grupo de cidades; no Grupo 1, três das quatro cidades estão entre aquelas com menor população. As cidades do Grupo 3 tendem a possuir população pequena, à exceção de São José do Rio Preto.

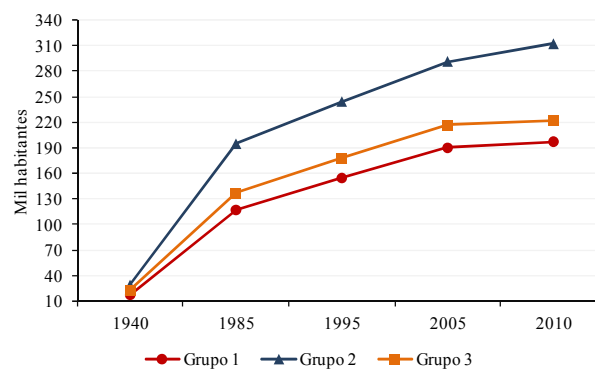


Figura 6.6 - Comportamento da população urbana em cada grupo (1940-2010).

Para os três grupos, houve grande acréscimo em área ocupada entre 1938 e 1985, o que refletiu na extensão do perímetro ocupado pela área urbanizada. Enquanto os valores de área urbanizada apresentam crescimento contínuo, o perímetro pode indicar a maior regularidade ou irregularidade das formas urbanas. A curva que representa os valores de perímetro para o Grupo 2 confirma a irregularidade das formas urbanas que compõem este grupo; se comparado ao Grupo 3, o Grupo 1 apresenta-se mais irregular embora o primeiro tenha maior área urbanizada (Figura 6.7).

Outro ponto a ser destacado diz respeito à variação entre os dados das áreas urbanizadas totais e das manchas principais, sobretudo quanto ao perímetro ocupado. Enquanto os valores

tendem a se aproximar na mancha principal, para os três grupos, na área urbanizada total, a grande diferenciação apresentada pelo Grupo 2 em relação aos outros, pode ser atribuída à fragmentação de sua borda urbana, em razão da ocupação urbana dispersa nas áreas periféricas (TORRENS; ALBERTI, 2000; REIS FILHO, 2006); além de seus formatos alongados, conforme comprovam os valores de IF (Figura 6.8).

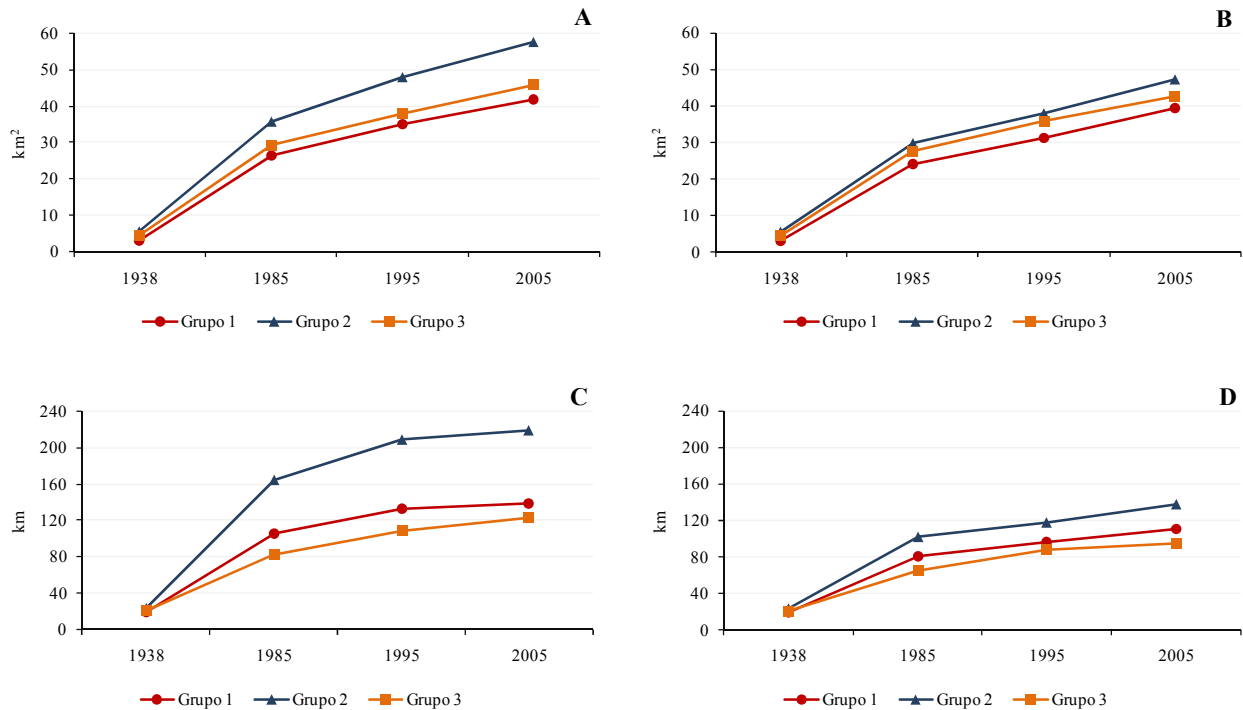


Figura 6.7 - Área urbanizada e respectivo perímetro em cada grupo no período (1938-2005). (A) área urbanizada total; (B) área urbanizada da mancha principal; (C) perímetro da área urbanizada total e (D) perímetro da mancha principal.

Os padrões de fragmentação urbana se tornam mais evidentes ao serem considerados os valores médios de IF para cada grupo ao longo do tempo (Figura 6.8). Neste caso, a caracterização dos grupos foi realizada com base no preenchimento urbano e na forma urbana. A diferença entre as áreas urbanizadas totais dos grupos e as manchas principais está representada pelos valores de IF, que tendem, obviamente, a serem maiores nas manchas principais, pelo fato de constituírem manchas contínuas.

O Grupo 3 apresenta valores de IF superiores aos demais grupos, com variações que podem corresponder ao preenchimento derivado da demanda por estrutura urbana. O Grupo 2, embora aponte uma forte mudança para a área urbanizada total, mantém valores crescentes de IF. Já para

as manchas principais tende a um equilíbrio ao longo do tempo, o que está de acordo com sua posição como grupo intermediário quanto à fragmentação urbana (Figura 6.5). O Grupo 1 apresenta valores crescentes de IF para a área urbanizada total e com maior intensidade para a mancha principal.

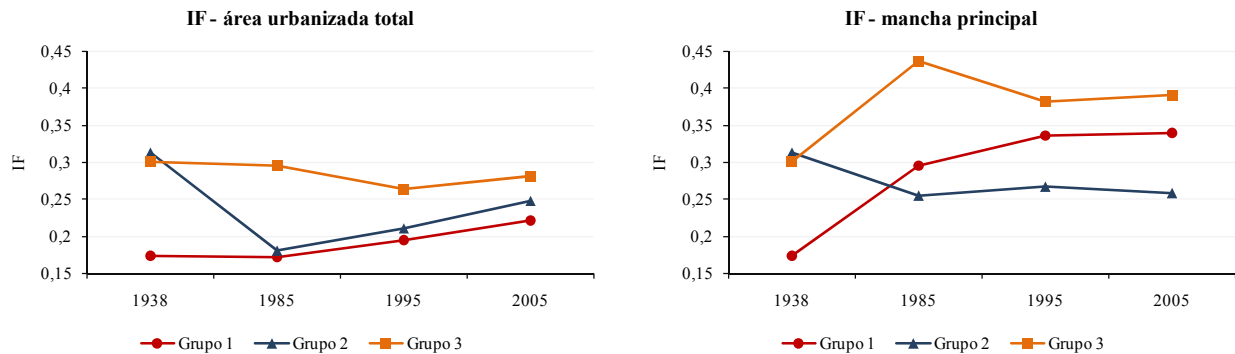


Figura 6.8 - Comportamento das formas urbanas, quanto ao IF, em cada grupo no período (1938-2005).

Ao se confrontar as Figura 6.8 e 6.9 é possível verificar que há uma forte correlação entre IF e D. O comportamento do Grupo 1 tende a indicar maiores oscilações ao longo do período, mostrando o aumento no preenchimento das formas urbanas. As mudanças no Grupo 2 foram menores, porém intermediárias, considerando-se que o Grupo 3 apresentou em todo o período, valores de D superiores e, portanto, formas urbanas mais compactas.

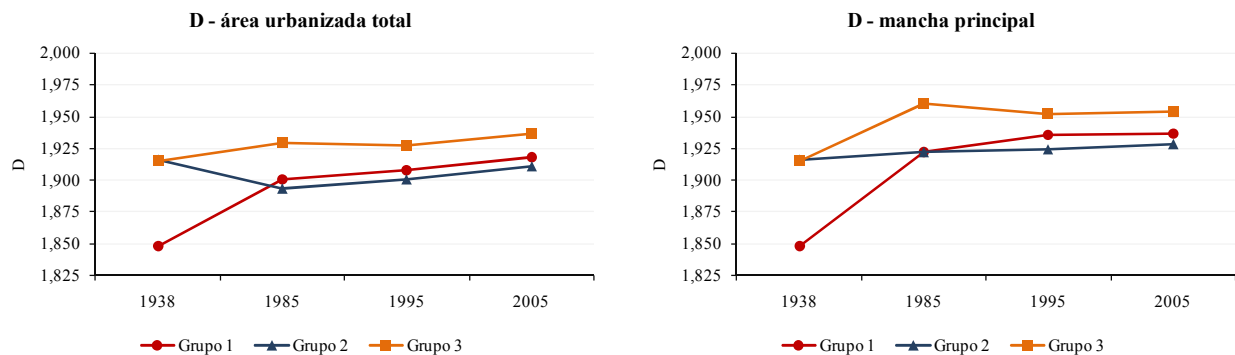


Figura 6.9 - Comportamento das formas urbanas quanto à fragmentação, com base nos valores de D, em cada grupo, no período (1938-2005).

O comportamento dos parâmetros IF, perímetro e área urbanizada, além da posição geográfica das cidades que compõem os grupos, em relação às unidades geomorfológicas, permitiram a caracterização dos padrões identificados. Tal caracterização pode ser

complementada pelos aspectos físico-geográficos de cada sítio urbano (hidrografia e topografia), que permitem compreender, de modo geral, a dissecação do relevo (Figuras 6.10, 6.11 e 6.12), além da rede viária - que detém papel fundamental na configuração da morfologia das cidades, conforme visto ao longo da pesquisa.

A morfologia urbana associa-se aos aspectos da paisagem natural. Ao longo do processo de crescimento urbano, os recursos hídricos constituem locais de convergência, onde ocorre a descontinuidade das formas urbanas e a alternância da morfologia de crescimento (PERES; POLIDORI, 2010).

A localização do sítio urbano é definida com base nas condições naturais (SERRA, 1987). O autor aponta fatores que contribuem para explicar a escolha de localização de cada aglomeração e suas tendências de crescimento. No entanto, também argumenta que a forma da aglomeração não deriva somente da localização, pois são inúmeros os fatores que atuam na sua formação. Os fatores originados pelo espaço natural, como relevo e hidrografia, continuarão influenciando na forma urbana ao longo do processo de expansão.

Estas características tendem a explicar a origem das áreas densamente ocupadas, os vazios urbanos, as áreas verdes, os limites físicos da cidade, o desenho dos caminhos, as cotas para construção, entre outros elementos. Obviamente, a tecnologia tem permitido a modificação da forma com maior intensidade. No entanto, sua ação em pequenas comunidades não apresenta justificativa, e assim, estas comunidades ao se tornarem de maior porte, já terão traçadas as linhas que constituem sua forma (SERRA, 1987).

Neste contexto, buscou-se relacionar a fragmentação das cidades com a representação de sua topografia, a qual permite caracterizar o sítio quanto às altitudes e de forma generalizada contribui para a compreensão de características do relevo de cada área. Associada à hidrografia e à rede viária, as representações topográficas podem fornecer uma ideia de como os aspectos físico-geográficos influenciam no desenho das formas urbanas.

A generalização necessária para possibilitar a comparação e representação da topografia a partir de uma legenda única, em face da diversidade do grupo de cidades, não permitiu detalhamentos da topografia. Mesmo assim, algumas considerações podem ser feitas. As representações topográficas mostram que as altitudes dos municípios variam de 237 a 1.481 m, sendo Presidente Prudente e Araçatuba os municípios com as menores altitudes. Taubaté-Tremembé apresenta a maior amplitude altimétrica (481 a 1481 m), em decorrência de sua

localização se estender do vale do Rio Paraíba do Sul à Serra da Mantiqueira e à Serra do Mar.

O Grupo 1 (Figura 6.10) - o de maior fragmentação urbana, apresenta a maior diversidade altimétrica (237 a 1193 m), o que permite inferir sobre a diversidade do relevo das referidas cidades. Franca e Bragança Paulista transparecem a atuação da topografia em suas morfologias urbanas. A primeira situa-se no *front* das *cuestas* basálticas, o que tende a direcionar seu crescimento urbano; a segunda possui elevações que margeiam sua mancha urbana. A área urbanizada de Presidente Prudente parece acompanhar os divisores de água, da mesma forma que Itapetininga. Embora esta última cidade esteja assentada predominantemente em vales, os prolongamentos de sua mancha urbana derivam principalmente da influência da hidrografia e das vias de transporte.

A diversidade contida neste grupo pode estar vinculada com a própria distribuição espacial das cidades no estado de São Paulo em porções periféricas e, conforme descrito anteriormente, situam-se em unidades geomorfológicas diferentes. Além do contexto histórico que caracterizou o desenvolvimento destas áreas urbanas. Presidente Prudente, por exemplo, foi o ponto final de linha férrea, ao mesmo que tempo representava ligação dos estados vizinhos a São Paulo para fins de transporte de mercadorias, sendo denominada “boca de sertão”, conforme Monbeig (1943). Itapetininga, serviu de ponto de parada para viajantes e tropas, devido a sua posição geográfica decorrente do relevo, assim como Franca, situada sobre espigões inclinados que limitam seu crescimento (MONBEIG, 1943).

O Grupo 2 (Figura 6.11) se refere a cidades com fragmentação pouco menor que a apresentada pelas cidades do Grupo 1. A variação altimétrica dos municípios do Grupo 2 é de 269 a 1.481 m. Este grupo reúne áreas urbanas influenciadas por imposições físicas e ambientais de modo mais intenso. Botucatu está no *front* das *cuestas* - o que tende a limitar seu crescimento urbano; Jundiaí-Várzea Paulista e Taubaté-Tremembé, além da forte influência de rodovias que cruzam suas manchas urbanas, estão situadas em áreas de vale e limitadas por elevações.

A Serra do Japi, que também é área de preservação permanente, limita o crescimento de Jundiaí-Várzea Paulista na porção Sul e Sudeste; Taubaté-Tremembé tem seu crescimento limitado ao norte pelo vale cultivado do rio Paraíba do Sul e, ainda, as serras da Mantiqueira (norte) e do Mar (sul). A maior imposição física de Piracicaba é o traçado do rio Piracicaba, que divide a cidade e obriga a construção de ligações permitindo acesso de uma margem à outra. O crescimento urbano de Piracicaba parece acompanhar principalmente os divisores de água.

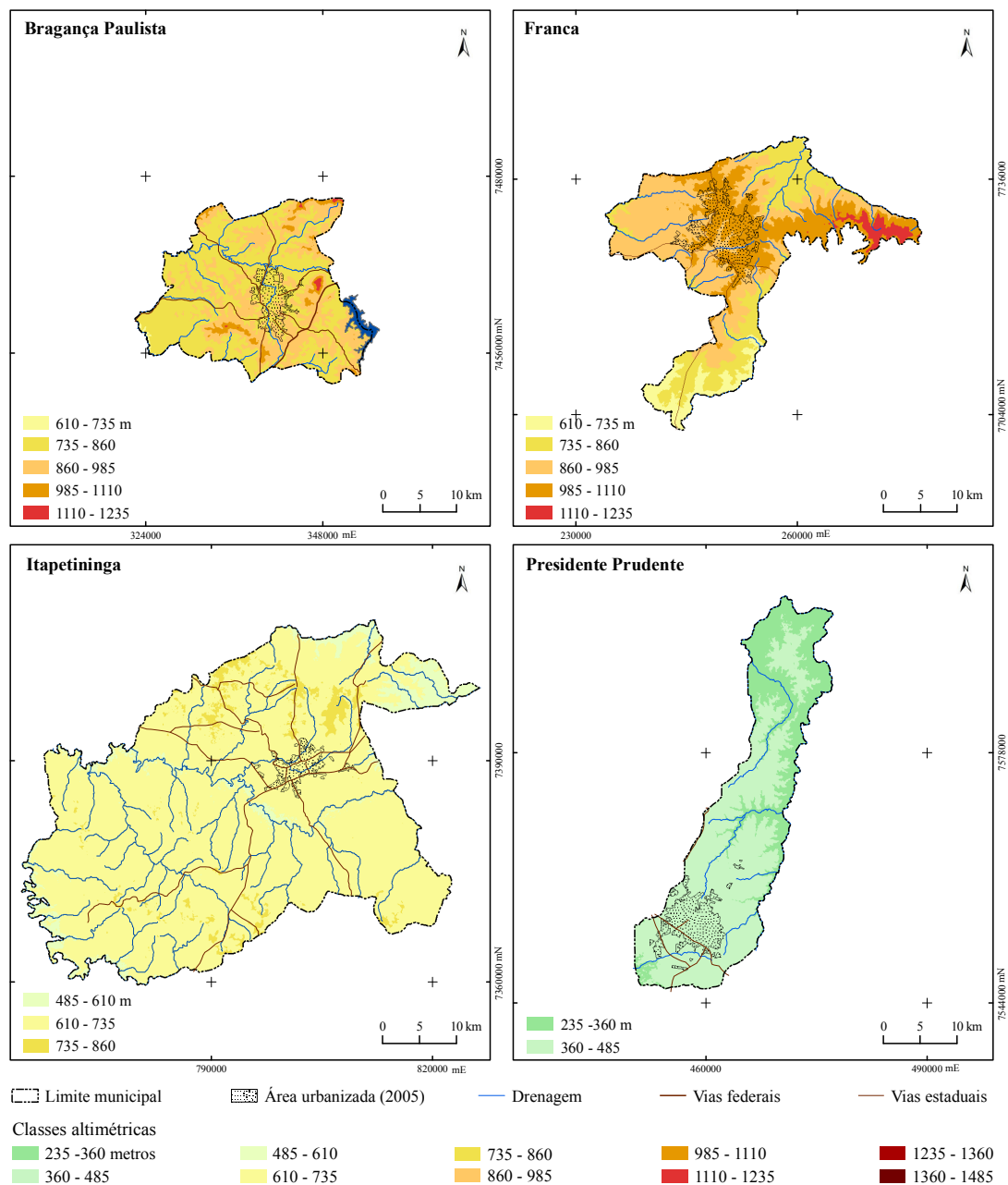


Figura 6.10 - Representações topográficas das cidades que compõem o Grupo 1.

O Grupo 3 (Figura 6.12) caracteriza-se pelas altitudes mais baixas. As representações topográficas permitem inferir o predomínio de relevo mais plano, de acordo com o verificado anteriormente, com base na distribuição das cidades deste grupo ao longo do tempo, e em relação às unidades geomorfológicas. Estas características estão de acordo com as formas urbanas menos fragmentadas deste grupo, uma vez que as mesmas não encontram relevantes imposições físicas e ambientais para seu crescimento. No entanto, as vias de transporte parecem direcionar a expansão

de modo similar ao observado nos demais grupos.

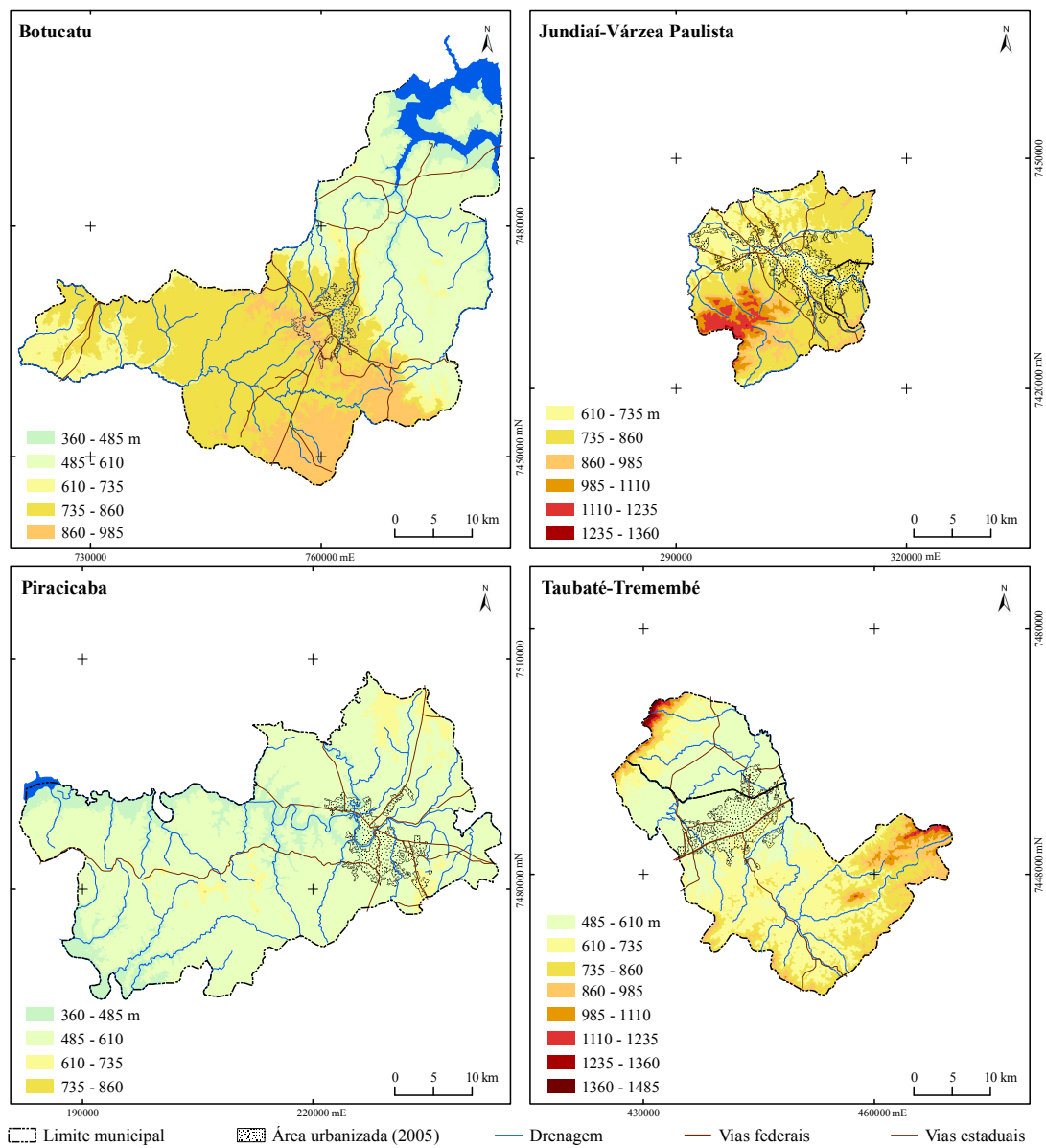


Figura 6.11 - Representações topográficas das cidades que compõem o Grupo 2.

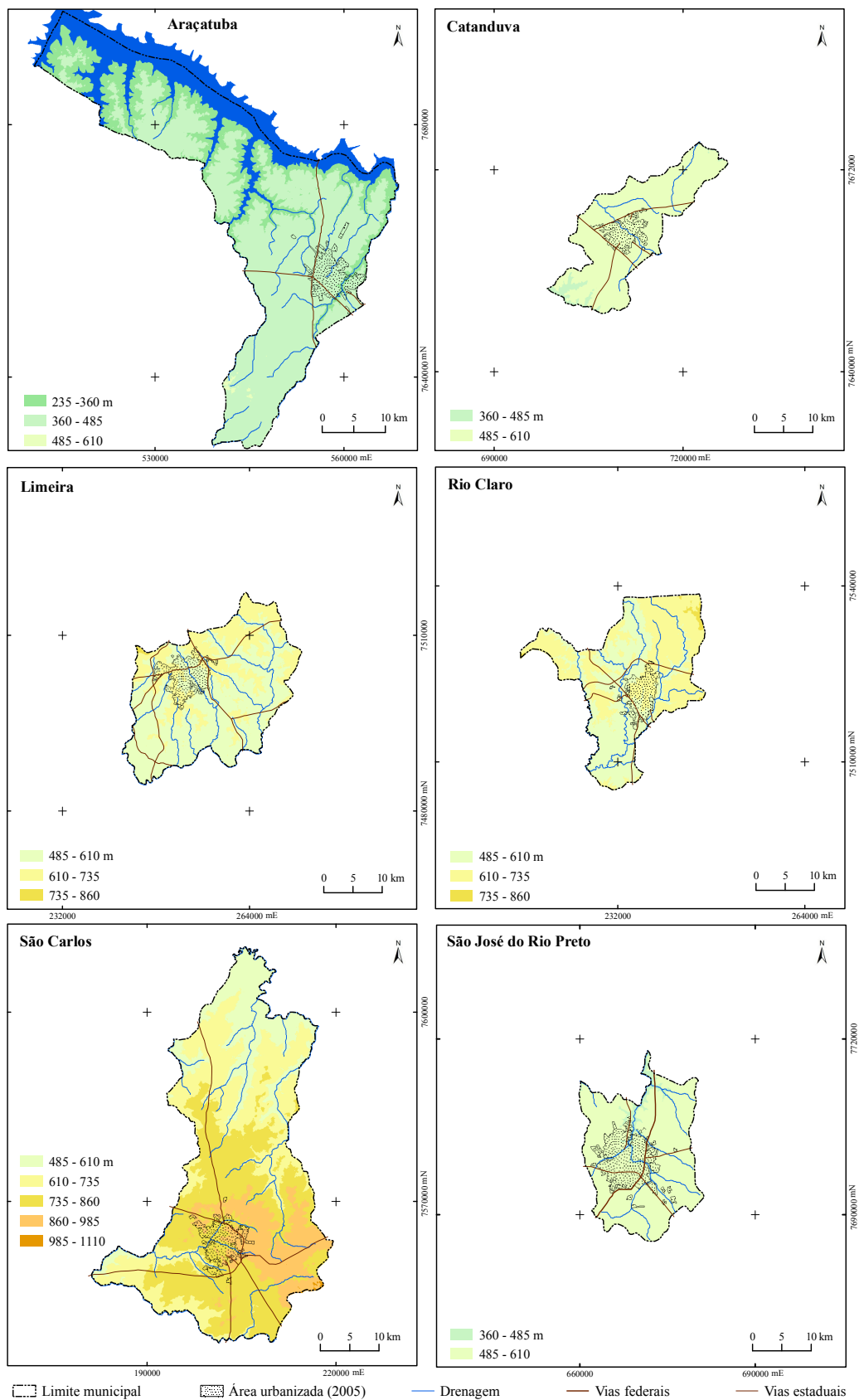


Figura 6.12 - Representações topográficas das cidades que compõem o Grupo 3.

As vias de circulação constituem objetos sociais implantados no espaço natural, e que, muitas vezes, são influenciadas pelas características físicas do sítio. Da mesma forma, a tipologia de uso e ocupação, sobretudo nas áreas periféricas das formas urbanas, tende a influenciar na morfologia urbana, em maior ou menor grau. O limite entre o que antes se considerava urbano e rural é praticamente inexistente, uma vez que usos característicos de áreas urbanas tendem a se desenvolver em áreas rurais, próximas à área urbana consolidada, constituindo uma faixa de transição denominada Região de Entorno Imediato (REI), conforme termo definido por Sparovek et al. (2004).

Pode-se associar ainda ao fenômeno de dispersão urbana (REIS FILHO, 2006), que geralmente acompanha os principais eixos viários, em vista da mobilidade que permitem entre os centros urbanos. Estas características de ocupação tendem a ocorrer nas cidades médias em estudo, diferindo quanto ao nível de intensidade, mas pode-se afirmar que influenciam no crescimento das formas urbanas. Isto foi comprovado para Piracicaba, onde a implantação de novos loteamentos ocorre, de fato, em áreas de expansão urbana e ao longo de eixos viários e os mesmos tendem a direcionar a morfologia urbana.

A maior proximidade a grandes centros urbanos, questões ligadas à acessibilidade e à mobilidade - importantes eixos viários - apontam as cidades do Grupo 2 com maiores possibilidades de apresentar tendência de urbanização periférica mais intensa. Isto pode ser relacionado com as discussões em torno da criação de aglomerações urbanas, tema tratado por Braga (2005). O autor define aglomeração urbana como uma entidade formada a partir do agrupamento de municípios limítrofes, que estão conurbados, e então, com objetivos de interesse comum quanto à gestão das funções urbanas.

De fato, em 2011 foi aprovada a lei que cria a Aglomeração Urbana de Jundiaí, em 2012 foi aprovada a Aglomeração Urbana de Piracicaba e também a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (PORTAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011; 2012a; 2012b). De certa forma, isto mostra a tendência de urbanização dispersa e de baixa densidade, fortemente influenciada pela acessibilidade, com tendência de concentração em cidades médias, como cita Braga (2005).

De modo geral, pode-se dizer que as características físicas e geográficas desempenham, e desempenham, ao longo do tempo, importante papel na configuração da morfologia urbana atual. Todavia, seria necessária também uma abordagem complementar em escala maior, de tal

maneira a permitir a identificação de outros detalhes da rede viária e da hidrografia, e além disso, a inclusão de outras informações espaciais para se verificar a relação entre o relevo e as formas urbanas, como, por exemplo, um mapa geomorfológico detalhado do sítio urbano. Considerando-se este fato, a escala de trabalho desta pesquisa e os dados disponíveis, propôs-se verificar a relação entre o desvio padrão das altitudes para a área correspondente às manchas urbanas principais e aos seus respectivos valores de D. A utilização do desvio padrão para a variação altimétrica permite agregar outras informações relativas às características do relevo, como a rugosidade e mesmo a declividade.

Para esta análise exploratória, utilizou-se o modelo digital de elevação (MDE) de cada município como base do recorte das manchas urbanas principais do ano de 2005. Tomando-se como dados brutos as altitudes dos pixels do MDE desses recortes, foi calculado o desvio altimétrico que compreende cada mancha urbana. A relação entre o desvio padrão das altitudes e os respectivos valores de D para cada mancha principal, considerando ainda os grupos de cidades médias, foram normalizados segundo a variável Z^{16} e representados no diagrama da Figura 6.13.

Com base na representação gráfica da Figura 6.13 e também nas representações tridimensionais do Apêndice M, pode-se verificar que as cidades do Grupo 1 apresentaram a maior diversidade, uma vez que se encontram nos quadrantes com maior fragmentação urbana e com menor e maior variação topográfica entre as cidades. A maior variação da topografia ocorre em Franca e em Bragança Paulista, as quais de fato apresentam relevo com maior complexidade (ver Figura 6.10).

O Grupo 2 é predominante no quadrante com maior fragmentação urbana e maior variação topográfica, de acordo com sua caracterização anterior. O Grupo 3 tende a concentrar-se no quadrante com menor fragmentação e menor variação de topografia. São Carlos constitui-se na exceção deste grupo, em vista de suas características físicas e da posição do sítio urbano.

Com base na representação da Figura 6.13, pode-se inferir que há tendência de maior fragmentação urbana em cidades situadas em relevo com maior variabilidade topográfica - embora o caso de São Carlos mostre que, nestas áreas, também é possível haver regularidade da forma urbana em situações de maior variação topográfica.

¹⁶ A normalização das escalas dos valores de D e DP foi realizada a partir dos valores médios e de desvio padrão para cada variável (D e DP das altitudes), de acordo com a seguinte relação: $Z = \frac{(Y_1 - \bar{X}_Y)}{DP_Y}$, em que Z representou os valores normalizados para as variáveis D e DP das altitudes; Y correspondeu, individualmente, ao valor de D e DP das altitudes em cada cidade.

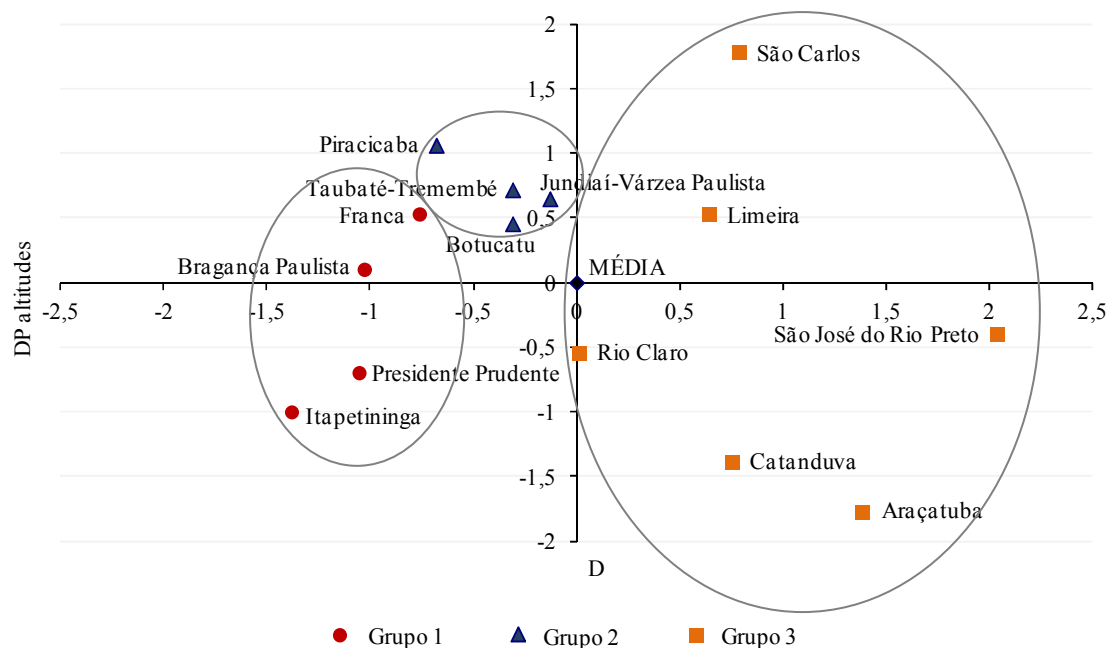


Figura 6.13 - Relação entre o desvio padrão (DP) das altitudes e os valores de D para as manchas urbanas principais nos grupos identificados.

Para esta proposta de padronização, a fragmentação urbana foi a variável principal na formação dos grupos que constituíram os três padrões para o crescimento urbano (Quadro 6.2). As características da forma urbana (IF, área e perímetro) participaram da caracterização, assim como a topografia e as unidades de paisagem, referente à divisão geomorfológica do estado de São Paulo.

Quadro 6.2 - Síntese dos padrões de fragmentação urbana para o grupo de cidades médias.



Padrão	Forma urbana				Físico-geográficas
	D (DOC)	IF	Área urbanizada (2005)	Perímetro urbano* (2005)	
Formas fragmentadas <i>(Bragança Paulista, Itapetininga, Presidente Prudente, Franca)</i>	Total: 1,8935 Principal: 1,9102	Total: 0,1899 Principal: 0,2864	Total: 41,92 km ² Principal: 39,44 km ²	Total: 137,94 km Principal: 110,55 km	Maior diversidade físico-geográfica decorrente da distribuição espacial das cidades no estado de São Paulo. Formas urbanas alongadas e mais fragmentadas ao longo tempo.
Formas fragmentadas com imposições físicas e ambientais <i>(Jundiaí-Várzea Paulista, Taubaté-Tremembé, Piracicaba, Botucatu)</i>	Total: 1,9050 Principal: 1,9224	Total: 0,2377 Principal: 0,2734	Total: 57,55 km ² Principal: 47,20 km ²	Total: 218,52 km Principal: 136,87 km	Imposições físicas e ambientais tendem a influenciar no crescimento urbano. Formas alongadas e com fragmentação intermediária.
Formas com maior regularidade <i>(Araçatuba, Catanduva, São José do Rio Preto, Limeira, Rio Claro, São Carlos)</i>	Total: 1,9270 Principal: 1,9450	Total: 0,2853 Principal: 0,3775	Total: 45,70 km ² Principal: 42,59 km ²	Total: 121,90 km Principal: 94,11 km	Concentram-se em áreas mais planas, com menores imposições físicas ao crescimento urbano. Formas urbanas com tendência à circularidade e menor fragmentação no período.

* Refere-se ao perímetro da área urbanizada total e da mancha principal.

Total: refere-se à área urbanizada total, com os fragmentos de entorno.

Principal: refere-se à mancha urbana principal.

Os três padrões de fragmentação urbana compreendem diferentes situações geográficas para onde os sítios urbanos das cidades médias em análise se assentam. O comportamento da dimensão fractal dos padrões aqui propostos foi comparado com os resultados obtidos por Marques e Ferreira (2006) para a Região Metropolitana de São Paulo (Figura 6.14). Pôde-se constatar a maior fragmentação urbana de áreas metropolitanas, que tendem a apresentar valores de D mais baixos, ou seja, maior fragmentação urbana considerando o método de densidade de ocupação. Obviamente, as diferenças metodológicas entre os trabalhos, sobretudo quanto ao detalhamento do material cartográfico utilizado para a delimitação das áreas urbanizadas e o intervalo temporal, devem ser considerados.

A maior fragmentação da região metropolitana ou mesmo de cidades de maior porte, estão relacionadas às suas características de ocupação urbana que tendem a ser mais intensas, sobretudo nas áreas periféricas - além da conurbação entre as cidades. Este quadro, associado às características físicas, tende a resultar em maior fragmentação, e então, a maior ocorrência de vazios urbanos.

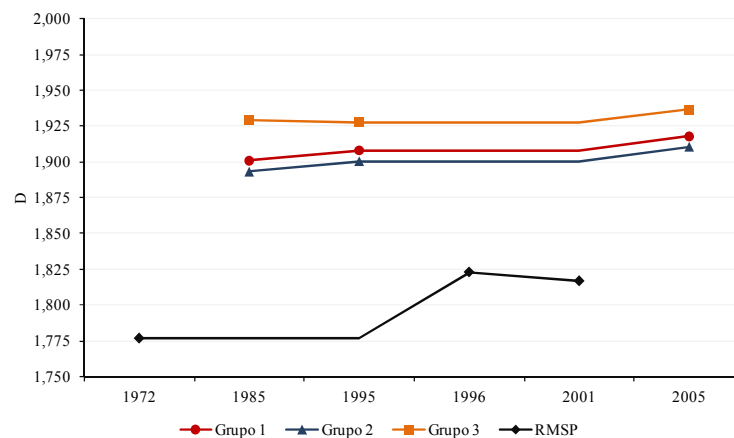


Figura 6.14 - Comportamento da dimensão fractal dos padrões de fragmentação urbana para as cidades médias e para a Região Metropolitana de São Paulo - RMSP (MARQUES; FERREIRA, 2006).

Considerando uma análise de tendência com base nos valores obtidos nas quatro datas de análise e para o ano de 2010, apresentados no Capítulo 5, é possível verificar que os três padrões apresentam continuidade no preenchimento urbano (Figura 6.15). Esta tendência parece ser ligeiramente mais acentuada nos padrões com maior fragmentação (Grupos 1 e 2).

A intensidade do processo de urbanização no período representado pelas datas de análise de 1938 e 1985 influenciou na função de melhor ajuste da linha de tendência para cada padrão de

fragmentação, tanto para a área urbanizada total como para a mancha principal. As funções polinomial e logarítmica representaram melhor ajuste ao comportamento temporal da fragmentação urbana dos grupos.

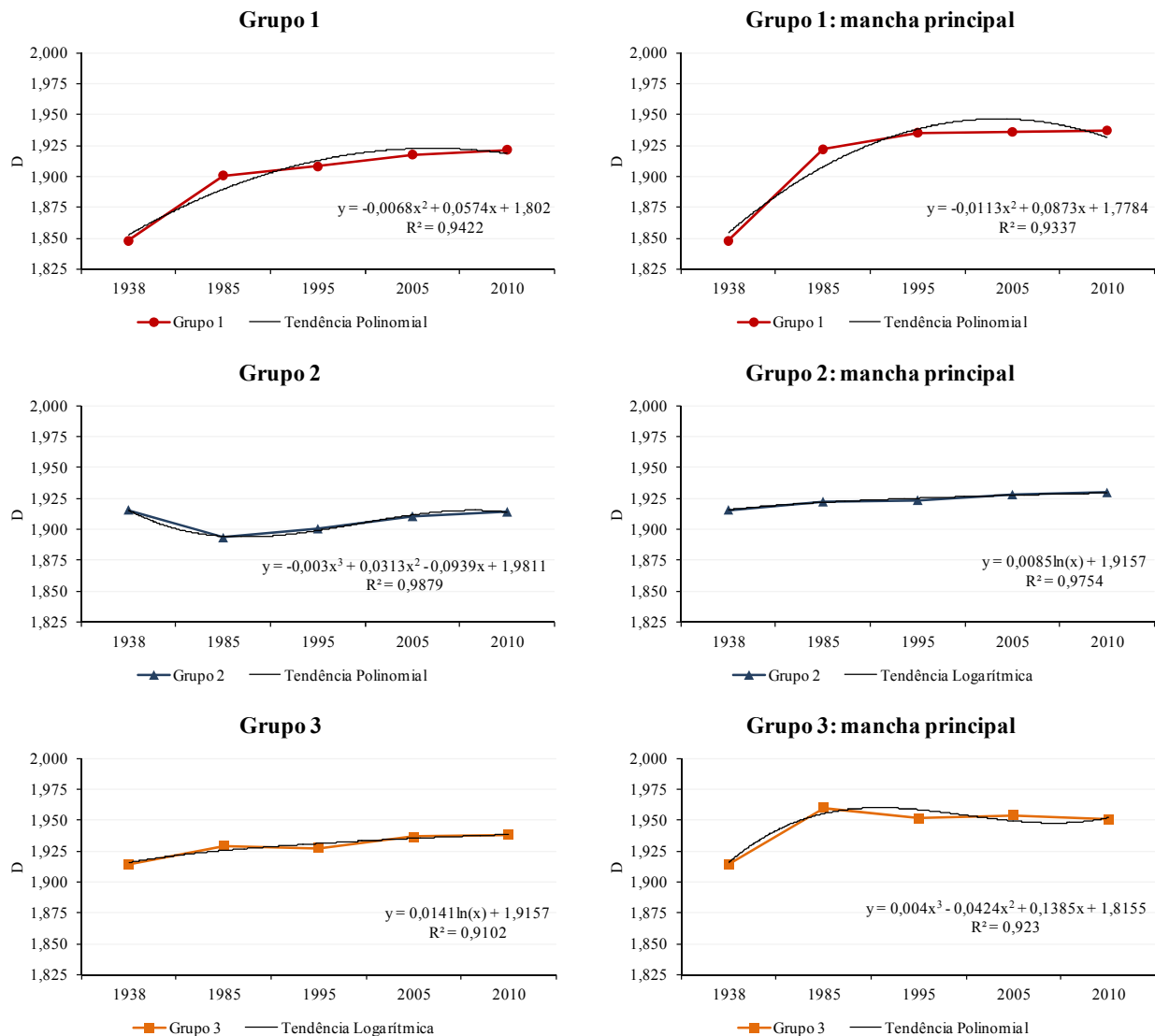


Figura 6.15 - Comportamento temporal e linha de tendência para os padrões de fragmentação urbana.

O comportamento de D ao longo do tempo, analisado a partir das linhas de tendência, permite supor a existência de continuidade no processo de expansão urbana, compreendendo o preenchimento das formas urbanas com valores de D que poderão apresentar variação. No entanto, esta variação tende a ser similar àquela verificada nas datas de análise mais recentes (1995, 2005), uma vez que a probabilidade de ocorrência de transformações intensas como as

verificadas até a década de 1980 é menor.

Esta possibilidade de análise de tendência pode se constituir em importante ferramenta para a utilização de D como categoria de análise espacial em uma etapa de modelagem e simulação de cenários futuros. Sugere-se a utilização de outros modelos para este mesmo objetivo, bem como sua validação. A dimensão fractal como uma variável do processo de modelagem pode contribuir para a compreensão da dinâmica espacial de crescimento urbano, considerando a fragmentação da forma ao longo do tempo.

6.4 Conclusões

A análise de agrupamento por meio dos dados de D, para o método DOC, para as manchas principais, compreendeu uma situação geográfica para cada data de análise (1938, 1985, 1995 e 2005) e uma situação para a dinâmica espacial do período. Esta última constituiu os padrões de fragmentação urbana do grupo de cidades.

Em cada situação, três grupos foram definidos como ideais para representar a fragmentação das áreas urbanas. O Grupo 1 compreendeu as formas com maior fragmentação, o Grupo 2, as formas com fragmentação intermediária, e o Grupo 3 reuniu as formas urbanas com menor fragmentação. Esta definição foi válida, tanto para as quatro datas de análise, como para a dinâmica espacial do período.

Com relação às situações geográficas obtidas individualmente para cada data de análise, verificou-se grande variabilidade quanto ao pertencimento das cidades aos grupos identificados. O Grupo 3, contudo, revelou a menor variação relativa a sua distribuição espacial no estado de São Paulo.

A situação geográfica que resultou nos padrões espaciais de fragmentação urbana confirmou a menor variabilidade do Grupo 3, que tendeu a se concentrar na porção centro-norte do estado, compreendendo as unidades geomorfológicas do planalto ocidental, depressão periférica e *cuestas* basálticas. O Grupo 1 concentrou-se nas áreas periféricas do estado, e o Grupo 2 na porção central, próximo à Região Metropolitana.

O Grupo 1 correspondeu ao padrão de crescimento que agrega cidades com maior fragmentação, sendo que estas formas urbanas tendem a ser alongadas. Quanto aos aspectos físico-geográficos, constitui-se no padrão com maior diversidade pela sua distribuição espacial.

O Grupo 2 também referiu-se a cidades fragmentadas e com formatos alongados, no entanto, a influência de imposições físicas e ambientais é maior neste padrão de crescimento urbano.

O Grupo 3 agregou as formas urbanas que tenderam à circularidade no período, e portanto, à menor fragmentação, que corresponde a valores elevados de D. Predominam áreas com relevo plano, e assim, a influência de impedâncias espaciais ao crescimento urbano é menor.

Em todos os padrões a influência da rede viária tem papel determinante, uma vez que define os eixos de expansão urbana, além das características físico-geográficas. A continuidade no processo de preenchimento urbano e crescimento das formas a partir dos padrões identificados tende a se manter, de forma similar às datas de análise para o período recente.

A influência dos aspectos físicos sobre a morfologia urbana foi verificada a partir da caracterização dos padrões de fragmentação urbana e sua relação aos aspectos físico-geográficos, considerando a escala regional e a proposta desta pesquisa. No entanto, a influência de aspectos físicos, sobretudo relacionados ao relevo, sugere a necessidade de utilização de escala maior para análises mais detalhadas e que permitam a caracterização dos sítios urbanos, sobretudo quanto à geomorfologia. Isto possibilitaria melhor compreensão quanto às diferenças, principalmente, entre os Grupos 1 e 2, uma vez que ambos se referem a formas fragmentadas e alongadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dimensão fractal permitiu caracterizar a dinâmica espacial e temporal de expansão urbana das cidades médias escolhidas para análise, selecionadas no intervalo entre 100.000 e 500.000 habitantes, quanto à irregularidade do perímetro, à complexidade da forma e ao preenchimento urbano. O grupo de cidades foi caracterizado considerando-se a expansão de suas formas urbanas ao longo do tempo. A variação de suas características de forma urbana foi analisada e associada aos valores de D calculados. As características de fragmentação urbana, com base na dimensão fractal, permitiram identificar e caracterizar padrões de fragmentação urbana entre as cidades em análise: formas fragmentadas, fragmentadas com imposições físicas e ambientais e formas com maior regularidade.

Nesta perspectiva, o objetivo central da pesquisa foi alcançado, a partir do desenvolvimento de etapas que compreenderam os objetivos específicos. Inicialmente, foi selecionado o objeto de estudo, coletado o material, definido o período de análise (1938-2005) e estruturada a base de dados espacial da pesquisa. Posteriormente, procedeu-se ao desenvolvimento da pesquisa, propriamente dito.

As principais **conclusões** obtidas nesta pesquisa são apresentadas a seguir:

- A evolução da morfologia urbana apresentou formatos alongados e outros que tenderam à circularidade. De modo geral, a expansão das formas manteve-se vinculada ao desenho da primeira data de análise ou fase inicial de ocupação urbana (1938);
- A área ocupada pelas manchas urbanizadas totais variou, em média, de 4,4 km², na primeira data de análise (1938), até 48 km², na data de análise para o ano de 2005. Os valores extremos quanto à área ocupada no período foram de 2,08 km², para Presidente Prudente em 1938, e 81,61 km², em São José do Rio Preto no ano de 2005;
- O ritmo de crescimento urbano foi maior entre as duas primeiras datas de análise (1938 e 1985), em decorrência do maior intervalo temporal, mas, sobretudo, do contexto histórico de urbanização do estado de São Paulo e do Brasil. O intenso processo de urbanização que atingiu estas cidades se refletiu na expansão de suas formas urbanas, aliada ao processo de modernização agrícola que resultou no êxodo rural. No período recente, o crescimento urbano apresentou diminuição, assim como a população urbana. Esta tendência é

comprovada em nível mundial;

- A influência da rede viária se mostrou determinante no direcionamento das formas e também na definição dos principais eixos de expansão urbana. Além disso, inclui-se a tendência de urbanização periférica do período atual, em razão da maior mobilidade que as vias permitem.
- O estudo de caso referente à cidade de Piracicaba revelou dependência espacial na distribuição locacional de loteamentos urbanos. Os valores de R obtidos variaram entre 0,632 e 1,176, para o período entre 1985 e 2010, o que revela a agregação na distribuição locacional dos loteamentos - os valores, em sua maioria, ficaram abaixo de 1,0 e tendem a se acentuar no período recente;
- A localização dos loteamentos em Piracicaba tendeu a acompanhar as vias de circulação, e também, os eixos de expansão definidos pelo plano diretor da cidade, permanecendo assim nas áreas periféricas da área urbanizada no período considerado;
- A influência da implantação de novos loteamentos na morfologia urbana da cidade de Piracicaba foi comprovada para o período 1985-2010 (vetores sudeste e noroeste). Este fato pode ser generalizado para as demais cidades da pesquisa, de acordo com a tendência de urbanização periférica, influenciada pela rede viária e pela própria especulação imobiliária.
- O grupo de cidades apresentou grande dinâmica no período, considerando-se seus valores de D . Esta dinâmica foi reflexo do processo de urbanização e desenvolvimento do sistema viário, sobretudo nas décadas de 1970 e 1980. A maior variação de D ocorreu entre 1938 e 1985;
- Os valores de D para o método PRE, na área urbanizada total, variaram de 1,038 (Catanduva) em 1938 a 1,2358 (Itapetininga) em 1985. Este método permitiu caracterizar a evolução das cidades quanto à irregularidade de seus perímetros. Jundiaí-Várzea Paulista e Bragança Paulista apresentaram valores de D maiores e são, portanto, mais irregulares. Franca e Araçatuba apresentaram valores menores de D nas quatro datas, caracterizando menor irregularidade de seus perímetros;
- Os valores de D para o método PAR, variaram de 1,0860 (Catanduva), em 1938, até 1,2463 (Jundiaí-Várzea Paulista) em 1995. Os resultados deste método mostram a complexidade das formas urbanas estudadas. Quanto mais distantes de 1,0, maior a complexidade de suas formas urbanas. Os valores de D para o método PAR permitiram relacionar a maior complexidade da forma urbana, a formatos alongados e, a menor complexidade, a formatos

circulares. Por exemplo, os formatos alongados de Jundiaí-Várzea Paulista, Itapetininga e Piracicaba apresentaram forma urbana mais complexa. Seus valores de D foram maiores que os de São José do Rio Preto e Limeira, cujas formas tendem à circularidade e, portanto, são menos complexas;

- Os valores de D para o método DOC foram analisados a partir do preenchimento das formas urbanas com o afastamento do centro urbano, compreendendo as assinaturas fractais para cada cidade e também o valor de D para o último círculo atingido pela forma urbana em cada data de análise. As assinaturas fractais revelaram maior preenchimento das áreas centrais, então, maiores valores de D, e fragmentação em direção às bordas urbanas ou áreas periféricas. Os valores para o último círculo comprovam a ocupação mais fragmentada das áreas periféricas;
- Os valores de D calculados pelo método DOC variaram de 2,0 (preenchimento total de áreas centrais), a 1,7132 (Presidente Prudente) em 1938. Se considerados somente os valores para o último círculo, o valor máximo de D foi de 1,8883 (Catanduva), em 1938. As cidades de Itapetininga e Jundiaí-Várzea Paulista estiveram entre as mais fragmentadas no período;
- Os valores de D para a mancha principal, considerando-se os três métodos de cálculo, mostraram, de modo geral, menor irregularidade, complexidade e fragmentação, se comparados às respectivas áreas urbanizadas totais em cada data de análise. A ocupação urbana é mais densa nas áreas centrais, espalhando-se em direção à periferia. Este fato relaciona-se ao processo de periferação ou urbanização de baixa densidade, mencionado pela literatura.
- A análise da variação temporal entre os valores de D obtidos pelos três métodos de cálculo apontou o método DOC como o de maior variação temporal entre as cidades que compõem o grupo, com base nos valores médios de D, desvio padrão e coeficiente de variação. Este método também apontou maior separação entre os valores de D, considerando a mancha urbana principal (teste de mínimos quadrados);
- A variação nos valores de D está relacionada à forma de expansão das cidades, com a urbanização periférica e ao longo da rede viária e, ainda, com o maior preenchimento das formas urbanas ao longo do tempo. Estas características de D se repetiram para o ano de 2010 e confirmaram a maior variação no método DOC, além do menor crescimento da área urbanizada - embora o intervalo seja menor entre as datas de análise (5 anos);

- O resultado obtido para o índice de forma (IF) confirmou a associação entre D e as formas urbanas analisadas qualitativamente no método PAR. Formas alongadas, como Jundiaí-Várzea Paulista (0,211) e Piracicaba (0,265) apresentaram valores menores de IF, enquanto os maiores valores de IF se associaram a cidades com tendência à circularidade, como São José do Rio Preto (0,356) e Limeira (0,351);
- A análise de correlação entre os valores de IF e D mostrou-se significativa, principalmente para o método DOC, tanto para as áreas urbanizadas totais ($r_s=0,960$) como para as manchas principais ($r_s=0,666$).
- Três grupos foram definidos como ideais para representar a fragmentação das áreas urbanas. O Grupo 1 compreendeu as formas com maior fragmentação; o Grupo 2, as formas com fragmentação intermediária e; o Grupo 3 reuniu as formas urbanas com menor fragmentação;
- O agrupamento para cada data de análise revelou grande variabilidade quanto à afinidade das cidades aos grupos identificados, à exceção do Grupo 3, em que a variação foi menor, já que sua distribuição espacial no estado de São Paulo se manteve na porção centro-norte, compreendendo as unidades geomorfológicas do planalto ocidental, depressão periférica e *cuestas* basálticas. Este comportamento do Grupo 3 foi confirmado no agrupamento para a dinâmica do período;
- Quanto aos outros dois grupos que representaram a dinâmica do período, o Grupo 1 concentrou-se nas áreas periféricas do estado e o Grupo 2 na porção central, próximo à Região Metropolitana. Os três grupos que representaram a dinâmica do período corresponderam aos padrões de fragmentação urbana para o grupo de cidades médias;
- O Grupo 1 compreendeu o padrão com maior fragmentação urbana, formado pelas cidades de Bragança Paulista, Franca, Itapetininga e Presidente Prudente. As formas urbanas deste padrão tendem a ser alongadas e suas características físico-geográficas as mais diversas entre os padrões de fragmentação identificados;
- O Grupo 2 agregou as formas urbanas de Botucatu, Jundiaí-Várzea Paulista, Taubaté-Tremembé e Piracicaba. Este segundo padrão, também composto por formas alongadas, é definido como fragmentado. No entanto, a influência de imposições físicas e ambientais é maior;
- O Grupo 3 - Araçatuba, São José do Rio Preto, Limeira, Rio Claro, São Carlos e Catanduva - compreendeu o padrão com menor fragmentação. Suas formas urbanas mostram maior

tendência à circularidade e maior preenchimento urbano. Além disso, as impedâncias espaciais ao crescimento das cidades são menores;

- A rede viária desempenhou papel determinante em todos os padrões, uma vez que definiu os eixos de expansão urbana, além das características físico-geográficas, que de fato parecem ter uma participação significativa na morfologia urbana, embora o desenvolvimento tecnológico atual permita grandes intervenções no espaço;
- A partir da adição de uma linha de tendência em cada padrão de fragmentação identificado é possível afirmar que há continuidade no processo de preenchimento e crescimento das formas urbanas, similar às datas de análise do período recente.
- O suporte à pesquisa por parte da matriz de Berry (1964), quanto à organização dos lugares (cidades) com suas características (resultados obtidos), foi fundamental em vista da grande quantidade de dados obtidos em diferentes datas de análise, além da associação de grande parte das análises a tabelas e gráficos;
- A utilização da dimensão fractal para caracterizar a dinâmica urbana de cidades médias se mostrou satisfatória, uma vez que revelou mais informações do que simplesmente as análises de área e perímetro ocupados. O comportamento da morfologia urbana das cidades com base nos resultados dos três métodos para a estimativa de D - PRE, PAR e DOC - agregou maior consistência à análise do processo de expansão urbana;
- A caracterização das formas quanto à fragmentação urbana, estimada a partir de D, permitiu a identificação de padrões de fragmentação urbana para o grupo de cidades. Dessa maneira, pode-se confirmar a contribuição da dimensão fractal para o monitoramento espacial e temporal de formas irregulares e complexas que não se ajustam à geometria euclidiana, como as formas urbanas.

A partir destas conclusões, as quais atendem e respondem aos objetivos e à tese proposta, pôde-se avaliar a comprovação das seguintes **hipóteses** lançadas.

Hipótese 1 - A integração da dimensão fractal de cidades médias à análise espacial possibilita a compreensão da dinâmica de crescimento urbano a partir da fragmentação da borda urbana, ao longo de uma série histórico-temporal.

Hipótese comprovada. Os valores de D obtidos para o grupo de cidades, em datas de

análise que compreenderam uma série temporal, permitiram caracterizar a dinâmica de crescimento urbano de cada cidade média. Evidenciaram a variação da forma urbana ao longo do tempo, identificando as irregularidades no perímetro, a complexidade da forma e também a evolução do preenchimento urbano, considerando-se a extensão das áreas urbanas, ou seja, o preenchimento a partir do centro urbano em direção à periferia ou borda urbana.

Hipótese 2 - O crescimento e o preenchimento urbanos identificados pelo comportamento fractal das cidades estão diretamente vinculados às diferentes fases do processo histórico de urbanização.

Hipótese comprovada. A alteração das formas urbanas comprovada pelos valores de D, no intervalo entre 1938 e 1985, compreendeu o período de maior intensidade do processo de urbanização no estado de São Paulo, além da implantação de rodovias e da sua influência na morfologia urbana, como nos casos de Jundiaí-Várzea Paulista e Taubaté-Tremembé. Além disso, pequenas mudanças da forma urbana podem ser verificadas pelos valores de D, como a redução no ritmo de crescimento urbano do período recente.

Dentro desta hipótese, foi incluído o teste de dependência espacial aplicado aos loteamentos de Piracicaba. Observou-se que a localização dos loteamentos influenciou a morfologia urbana ao longo do tempo, e consequentemente, os respectivos valores de D da forma urbana. Assim, eventos ou alterações que caracterizam o contexto de evolução das formas urbanas podem ser associados ao comportamento temporal de D.

Hipótese 3 - A partir da identificação de padrões de fragmentação urbana é possível identificar tendências de crescimento para as cidades, por meio da análise fractal.

Hipótese parcialmente comprovada. Os valores de D permitiram identificar padrões de fragmentação urbana para o grupo de cidades. A análise da linha de tendência com base nos valores das datas de análise consideradas (1938, 1985, 1995 e 2005) e também dos valores para uma nova data - o ano de 2010 - possibilitou apontar a continuidade das características de crescimento urbano nos padrões identificados. No entanto, não é possível afirmar como seria um cenário futuro para estes padrões sem o desenvolvimento de uma etapa de modelagem mais elaborada, que considere as características de cada padrão como variáveis de um modelo.

Hipótese 4 - A dimensão fractal mostra a contribuição do quadro físico regional à evolução da forma urbana das cidades e a relação entre esta forma e o uso e ocupação do solo na região de entorno imediato.

Hipótese comprovada. Ao longo da pesquisa, constatou-se a contribuição do quadro físico regional à evolução das formas urbanas. Os valores de D para o método PAR, que trata da complexidade da forma, revelaram valores maiores para formas urbanas alongadas. De fato, o formato alongado esteve relacionado com imposições físicas e ambientais, sejam elas relativas a cursos de água, relevo e mesmo derivadas do sistema viário, que também é produto das características físico-geográficas, assim como o próprio uso e ocupação do solo no entorno urbano. Os valores de D para os métodos PRE e DOC também evidenciam este fato, já que caracterizam a forma urbana quanto à irregularidade e ao preenchimento.

Os padrões de fragmentação urbana identificados mostram a contribuição do quadro físico, uma vez que as formas fragmentadas (Grupos 1 e 2) tendem a se concentrar nas unidades de paisagem com maiores imposições físicas e ambientais do estado de São Paulo, enquanto o Grupo 3 concentrou-se em áreas com menores impedimentos ao crescimento urbano. As representações topográficas para os padrões possibilitou uma caracterização geral da topografia de cada sítio, apesar da limitação imposta pela escala de análise.

A confirmação desta hipótese está de acordo com a escala de análise utilizada e com a proposta desta pesquisa. A elaboração de testes estatísticos complementares podem definir a significância da associação entre quadro físico regional e formas urbanas. A utilização de uma escala maior de análise, que permita considerar o detalhe geomorfológico de cada sítio urbano, possibilitará a análise pormenorizada da rede de drenagem e do sistema viário - importantes elementos na configuração das formas urbanas.

Ao longo desta pesquisa, foi verificada também a contribuição do uso do solo no entorno urbano, limitando ou mesmo influenciando a expansão das formas urbanas, como o caso de Taubaté-Tremembé, que tem seu crescimento limitado ao norte, pelo cultivo de arroz nas planícies do rio Paraíba do Sul. Dessa forma, o uso do solo no entorno urbano também pode oferecer respostas para a análise da morfologia urbana.

Algumas considerações ainda podem ser apontadas como etapas de continuidade desta pesquisa e **sugestões** para trabalhos futuros que venham a utilizar metodologia similar. Para uma

maior compreensão da relação entre a fragmentação urbana e os aspectos do relevo, seria interessante a inclusão de um mapeamento geomorfológico. Isto demandaria a utilização de uma escala maior, com detalhamento da base cartográfica (rede viária e hidrográfica). Ao longo da pesquisa verificou-se a importância do sistema viário sobre a morfologia urbana, por esta razão sugere-se que em futuros trabalhos seja considerada uma análise evolutiva do sistema viário de forma relacionada ao contexto histórico da urbanização.

A escala regional tende a limitar a leitura de alguns detalhes históricos e socioeconômicos do processo de urbanização de cada sítio urbano. Assim, informações específicas de cada sítio, que incluam uso e ocupação do entorno urbano, poderiam oferecer maior detalhamento aos padrões de fragmentação urbana, sobretudo quanto à inclusão das cidades aos padrões.

Para novas pesquisas que venham a utilizar a dimensão fractal, sugere-se considerar uma resolução espacial maior ou metodologia que permita o detalhamento das áreas urbanas, e assim, possam ser considerados os vazios urbanos - que desempenham importante papel na configuração morfológica das cidades. Análises setoriais urbanas também podem auxiliar na análise da fragmentação, no caso de pesquisas em nível de sítio urbano.

Por fim, a conclusão fundamental desta pesquisa confirma a dimensão fractal como métrica espacial de importância para aplicações no estudo, monitoramento e mesmo modelagem das formas urbanas, constituindo-se em uma importante categoria de análise espacial. No entanto, os valores de D não devem ser abordados isoladamente, apenas na forma numérica, mas sim associados ao contexto histórico, socioeconômico e físico-geográfico de cada local ou região aos quais faz referência analítica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C. M. de. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil**. 2003. 351f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.
- ANDRADE, M. C. de. **História Econômica e Administrativa do Brasil**. São Paulo: Atlas, 1979. 139 p.
- ANDRADE, T. A.; LODDER, C. A. Sistema urbano e cidades médias no Brasil. Rio de Janeiro: IPEA/INPES, 1979. 146p.
- ANDRADE, T. A.; SERRA, R. V. Crescimento econômico nas cidades médias brasileiras. Texto para discussão N. 592. Rio de Janeiro: IPEA, 1998.
- ANDRADE, T. A.; SANTOS, A. M. S. P.; SERRA, R. V. **Fluxos migratórios nas cidades médias e regiões metropolitanas brasileiras**: a experiência do período 1980/96. Texto para discussão N. 747. Rio de Janeiro: IPEA, 2000.
- ANDRADE, T. A.; SERRA, R. V. (Org.). **Cidades médias brasileiras**. Rio de Janeiro: IPEA, 2001.
- ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM). Disponível em: <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/> Acesso em: 10 set. 2009.
- BATTY, M.; FOTHERINGHAM, A. S.; LONGLEY, P. Fractal geometry and morphology. In: DE COLA, L.; LAM, N. S. **Fractals in Geography**. Nova Jersey: Prentice Hall, 1993. p. 228-246.
- BATTY, M.; LONGLEY, P. **Fractal cities**: a geometry of form and function. London: Academic Press, 1994. 394p.
- BATTY, M.; XIE, Y. Preliminary evidence for a theory of the fractal city. **Environment and Planning A**, v. 28, p. 1745-1762, 1996.
- BATTY, M.; XIE, Y. Urban Growth Using Cellular Automata Models. In: MAGUIRE, D, J; BATTY, M.; GOODCHILD, M., F. (Eds.). **GIS, Spatial Analysis, and Modeling**. Redlands: ESRI Press, 2005. p. 151-172.
- BATTY, M. **Cities and Complexity**: understanding cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals. London: MIT, 2005. 565p.
- BATTY, M. Building a science of cities. **Cities**, v. 29, p. S9-S16, 2012.

BERRY, B. J. Approaches to regional analysis: a synthesis. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 54, n. 1, p. 2-11, 1964.

BERRY, J. K. The unique character of spatial analysis. **GIS World**, abril, p. 29-30, 1996.

BOLLIGER, J.; LISCHKE, H. Simulating the spatial and temporal dynamics of landscapes using generic and complex models. **Ecological Complexity**, v. 2, p. 107-116, 2005.

BRAGA, R. Política urbana e gestão ambiental: considerações sobre o plano diretor e o zoneamento urbano. In: CARVALHO, P. F. de; BRAGA, R. (Org.). **Perspectivas de gestão ambiental em cidades médias**. Rio Claro: UNESP/IGCE, Laboratório de Planejamento Municipal - Deplan, 2001. p. 95-109.

BRAGA, R. Sobre o conceito de cidade média. **Território e Cidadania**, ano IV, n. 2, 2004.

BRAGA, R. Cidades médias e aglomerações urbanas no estado de São Paulo: novas estratégias de gestão territorial. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 10., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005. p. 2241-2254.

BRANCO, M. L. C. Cidades médias no Brasil. In: SPOSITO, E. S.; SPOSITO, M. E. B.; SOBARZO, O. (Org.). **Cidades médias**: produção do espaço. São Paulo: Expressão Popular, 2006. p. 245-277.

CASTELLS, M. **A questão urbana**. 3 ed. São Paulo: Paz e Terra, 2000. 590p. Tradução de Arlene Caetano.

CHRISTOFOLETTI, A. As características da Nova Geografia. **Geografia**, v. 1, n. 1, p. 3-33, 1976.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H.; CHRISTOFOLETTI, A. O uso das fractais na análise geográfica. **Geografia**, v.19, n. 2, p. 79-112, 1994.

COSTA, M. A. **Expansão urbana e organização espacial**. Recife: Ed. Universitária, 1982. 248 p.

CRÒSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG-UNICAMP, 1999. 170p.

DE COLA, L.; LAM, N. S. Introduction to fractals in Geography. In: LAM, N. S.; DE COLA, L. **Fractals in Geography**. Caldwell: The Blackburn Press, 1993. p. 3-22.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM. DER. **Mapas das Diretorias de Planejamento**. São Paulo: 2009. 11 Mapas. Escala 1:250.000.

DIREITO MINERÁRIO. **Estado de São Paulo (.zip)**. 2012. Arquivos digitais. Disponível em <<http://www.direitominerario.com/downloads.htm>>. Acesso em 15 de maio de 2012.

EASTMAN, J. R. **Idrisi Taiga**. Massachusetts, USA: Clark University, 2009.

EWING, R. H. Characteristics, Causes, and Effects of Sprawl: A Literature Review.

Environmental and Urban Studies, v. 21, n. 2, p. 1-15, 1994.

FERREIRA, M. C. **Dados de sensoriamento remoto e parâmetros do meio físico aplicados à regionalização de bacias hidrográficas**. 1991. 160f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991.

FERREIRA, M. C. Considerações teórico-metodológicas sobre as origens e a inserção do sistema de informação geográfica na Geografia. In: VITTE, A. C. **Contribuições à história e à epistemologia da Geografia**. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2007. p. 101-125.

FRANKHAUSER, P. **La fractalité des structures urbaines**. Paris: Anthropos, 1994. 291p.

FRANKHAUSER, P. The fractal approach. A new tool for the spatial analysis of urban agglomerations. **Population**, v. 10, n. 1, p. 205-240, 1998.

FRANKHAUSER, P. Comparing the morphology of urban patterns in Europe – fractal approach. In: BORSODORF, A.; ZEMBRI, P. (Eds.). **European Cities – Insights on outskirts**. Brussels: Report COST Action 10 Urban Civil Engineering, 2004. p. 79-105.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. SEADE. **São Paulo no limiar do século XXI - Cenários da urbanização paulista**. São Paulo: Fundação Seade, 1992. 106 p. v. 5.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. SEADE. **Informações dos Municípios Paulistas**. 2000. Disponível em <<http://www.seade.gov.br/produtos/imp/index.php>> acesso em 10 de agosto de 2008.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. SEADE. **Informações dos Municípios Paulistas: 1985; 1995; 2005; 2010**. Disponível em <<http://www.seade.gov.br/produtos/imp/index.php>> acesso em 25 de maio de 2010.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. SEADE. **Informações dos Municípios Paulistas**. Disponível em <<http://www.seade.gov.br/produtos/imp/index.php>> acesso em 10 de agosto de 2011.

GEIGER, P. P. **Evolução da rede urbana brasileira**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Estudos Pedagógicos/ Ministério da Educação e Cultura, 1963. 457 p.

GERARDI, L. H. de O.; SILVA, B. C. N. **Quantificação em Geografia**. São Paulo: Difel, 1981. 161p.

GOOGLE EARTH 4.0. [S.l.]: Google, 2012. Disponível em <<http://earth.google.com/>>.

GONÇALVES, M. F. Novas configurações no desenvolvimento urbano paulista. **Espaço & Debates – Revista de Estudos Regionais e Urbanos**, ano XVI, n. 38, p. 39-53, 1994.

GOODCHILD, M. F. Fractals and the accuracy of geographical measures. **Mathematical Geology**. v. 12, n. 2, p. 85-98, 1980.

GOODCHILD, M. F.; MARK, D. M. The fractal nature of geographic phenomena. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 77, n. 2, p. 265-278, 1987.

GOODCHILD, M. F.; LONGLEY, P. A. The future of GIS and spatial analysis. In: LONGLEY, P. A. et al. **Geographical Information Systems**. v.1. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999.

GRIMM, N. B.; et al. Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems. **BioScience**, v. 50, n. 7, p. 571-584, 2000.

HAIR, J. F.; et al. **Multivariate Data Analysis**. 5rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998. p.468-518.

HEPPLE, L. The impact of stochastic process theory upon spatial analysis in human Geography. In: BOARD, C. (Ed.). **Progress in Geography**: international reviews of current research. London: Edward Arnold, 1973. P. 91-142.

HEROLD, M.; COUCLELIS, H.; CLARKE, K. C. The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 29, p. 369-399, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Censo Demográfico de 1970**. Rio de Janeiro: IBGE, 1970.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Malha municipal digital**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em <ftp://geofpt.ibge.gov.br/mapas/malhas_digitais/municipio_2007/Malha_Municipal_Digital_2007_2500/Disseminacao_2007/Proj_Geografica/>.

INSTITUTO DE ESTUDOS E ASSESSORIA EM POLÍTICAS SOCIAIS. PÓLIS. **Revisão do Plano Diretor de Desenvolvimento de Piracicaba**: relatório I – leitura técnica e participativa. Piracicaba: PÓLIS, 2003. 45 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS. IPEA. **Ipeadata**. Disponível em <<http://www.ipea.gov.br/default.jsp>> Acesso em 25 de maio de 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS E PLANEJAMENTO DE PIRACICABA. IPPLAP. **Base cartográfica do da área urbana de Piracicaba**. Piracicaba: IPPLAP, 2012. Arquivo digital.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. IPT. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, vol. II, 1981. (Publicação IPT 1183). Escala 1:1.000.000.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO. IGG. **Mapeamento dos municípios do estado de São Paulo**. São Paulo: IGG/Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio, 1938. 13 Mapas. Escala 1:100.000.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. INPE. Catálogo de Imagens. **Satélite LANDSAT TM 5**. São José dos Campos: INPE, 1984. 1 cena. Órbita/ponto 218/76. Disponível em < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. INPE. Catálogo de Imagens. **Satélite LANDSAT TM 5**. São José dos Campos: INPE, 1985. 7 cenas. Órbitas/ponto: 219/76; 220/74; 220/75; 220/76; 221/74; 221/75; 222/75. Disponível em < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. INPE. Catálogo de Imagens. **Satélite LANDSAT TM 5**. São José dos Campos: INPE, 1995. 8 cenas. Órbitas/ponto: 218/76; 219/76; 220/74; 220/75; 220/76; 221/74; 221/75; 222/75. Disponível em < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. INPE. Catálogo de Imagens. **Satélite LANDSAT TM 5**. São José dos Campos: INPE, 2004. 1 cena. Órbita/ponto 218/76. Disponível em < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. INPE. Catálogo de Imagens. **Satélite LANDSAT TM 5**. São José dos Campos: INPE, 2005. 7 cenas. Órbitas/ponto: 219/76; 220/74; 220/75; 220/76; 221/74; 221/75; 222/75. Disponível em < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. INPE. Catálogo de Imagens. **Satélite LANDSAT TM 5**. São José dos Campos: INPE, 2010. 8 cenas. Órbitas/ponto: 218/76; 219/76; 220/74; 220/75; 220/76; 221/74; 221/75; 222/75. Disponível em < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>.

JUNDIAÍ. Prefeitura. Secretaria. Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente. **Mapa do Município de Jundiaí**. Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente: 1940. Um mapa. Escala aproximada 1:30.000.

KING, L. The analysis of spatial form and its relation to geographic theory. **Annals of the American Geographers**, v. 59, n. 3, p. 573-595, 1969.

LAMAS, J. M. R. G. **Morfologia Urbana e Desenho da Cidade**. 2 ed. S.I: Fundação Calouste Gulbenkian; Fundação para a Ciência e Tecnologia, 2000. 590 p.

LAM, N. S.; DE COLA, L. Fractal measurement. In: LAM, N. S.; DE COLA, L. **Fractals in Geography**. Caldwell: The Blackburn Press, 1993. p. 23-55.

LENCIONI, S. Mudanças na metrópole de São Paulo (Brasil) e transformações industriais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 12, p. 27-42, 1998.

LONGLEY, P. A.; BATTY, M. Urban shapes as fractal. **Area**, v.19.3, p. 215-221, 1987.

LONGLEY, P. A.; BATTY, M. Fractal measurement and line generalization. **Computers & Geosciences**, v. 15, n. 2, p. 167-183, 1989.

LONGLEY, P. A.; MESEV, V. Measurement of density gradients and space-filling in urban systems. **Papers in Regional Science**, v. 81, p. 1-28, 2002.

MANDELBROT, B. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. **Science. New Series**, v. 156, n. 3775, p. 636-638, 1967.

MANDELBROT, B. B. **The fractal geometry of nature**. New York: W. H. Freeman and Company, 1983. 468p.

MARQUES, M. L. **Metodologias para Estimativa da Dimensão Fractal do Crescimento de Aglomerados Urbanos: Uma Contribuição ao Estudo da Expansão Urbana da Região Metropolitana de São Paulo entre 1905 e 2001**. 2005. 207f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

MARQUES, M. L.; FERREIRA, M. C. Análise da densidade de ocupação do aglomerado urbano da Região Metropolitana de São Paulo pela estimativa de dimensão fractal. **Geografia**, v. 31, n. 2, p. 293-316, 2006.

MARQUES, M. L.; FERREIRA, M. C. Análise direcional do crescimento urbano da Região Metropolitana de São Paulo entre 1905 e 2001, utilizando-se a dimensão fractal. **Revista do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo**, n. 23, p. 100-118, 2008.

MATIAS, L. F. Sistema de informações geográficas (SIG): ainda a questão do método. **GEOUSP**, v. 13, n. 1, p. 21-33, 2003.

McGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **Fragstats**: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Dolores: Forest Service Department, Oregon State University, 1994. 141 p.

MONBEIG, P. O estudo geográfico das cidades. **Boletim Geográfico**, n. 7, p. 7-29, 1943.

NATURE. Cities: The urban equation. **Nature**, v. 467, p. 899, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/467899a>>. Acesso em 25 out. 2010.

NEGRI, B. **Concentração e desconcentração industrial de São Paulo (1880-1990)**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1996. 242p.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2008. 363p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU. **A ONU e a população mundial**. Disponível em <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-em-acao/a-onu-e-a-populacao-mundial/>>. Acesso em 4 de outubro de 2011.

PERES, O. M.; POLIDORI, M. C. Especulando sobre a fragmentação da forma urbana: dinâmicas do crescimento e ecologia urbana. In: IFHP World Congress, 54. 2010, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2010.

PIRES, E. L. S.; SAMPAIO, S. S. Indústria e exportação na região de Rio Claro: problemas e desafios da competitividade industrial e do comércio exterior no limiar do século XXI. **Geografia**, v. 25, n. 3, p.45-66, 2000.

PORTAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Alckmin sanciona Lei que cria a Aglomeração Urbana de Jundiaí**. São Paulo, ago., 2011. Disponível em <<http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/lenoticia.php?id=215908>>. Acesso em 26 de setembro de 2012.

PORTAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estado sanciona lei que cria a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte**. São Paulo, jan., 2012a. Disponível em <<http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/lenoticia.php?id=217357>>. Acesso em 26 de setembro de 2012.

PORTAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estado cria Aglomeração Urbana de Piracicaba**. São Paulo, jun., 2012b. Disponível em <<http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/lenoticia.php?id=220250>>. Acesso em 26 de setembro de 2012.

PRADO JÚNIOR, C. **História Econômica do Brasil**. 22 ed. São Paulo: Brasiliense, 1979. 364 p.

REIS FILHO, N. G. **Notas sobre urbanização dispersa e novas formas de tecido urbano**. São Paulo: Via das Artes, 2006. 201 p.

RODRIGUES, M. R. B. **A Forma Urbana em Portugal Continental**: Aplicação de Índices Quantitativos na Caracterização Morfológica das Cidades. 2009. 147f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2009.

SACK, R. D. The spatial separatist theme in Geography. **Economic Geography**, v. 50, n. 1, p. 1-19, 1974.

SALINGAROS, N. A. **Connecting the fractal city**. In: Biennial of towns and town planners in Europe, 5. 2003, Barcelona. Keynote speech.

SANCHES, S. da P.; FERREIRA, M. A. G. Análise comparativa da forma urbana de cidades brasileiras de porte médio. **Minerva: Pesquisa & Tecnologia**, v. 5, n. 2, p. 177-185, 2008.

SERRA, Geraldo. **O espaço natural e a forma urbana**. São Paulo: Nobel, 1987. 211p.

SHEN, G. Fractal dimension and fractal growth of urbanized areas. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 16, n. 5, p. 419-437, 2002.

SHESKIN, D. J. **Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures**. 3rd ed. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2004. 1193p.

SOUZA, G. V. de; CENTENO, J. Análise comparativa de imagens de alta resolução para classificação através de Geometria Fractal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009, p. 1039-1046.

SPAROVEK, G., LEONELLI, G. C. V.; BARRETTO, A. G. O. P. 'A linha imaginária' In: SANTORO, P.; PINHEIRO, E. (Eds.). **O Município e as áreas rurais**. São Paulo: Instituto Pólis, Caderno Pólis, n. 8, 2004. p.14-24.

SPOSITO, M. E. B. Loteamentos fechados em cidades médias paulistas - Brasil. In: SPOSITO, E. S.; SPOSITO, M. E. B.; SOBARZO, O. (Org.). **Cidades médias**: produção do espaço. São Paulo: Expressão Popular, 2006. p. 175-197.

TANNIER, C.; PUMAIN, D. Fractals in urban geography: a theoretical outline and an empirical example. **Cybergeo**: European Journal of Geography [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 307, mis en ligne le 20 avril 2005. URL: <http://www.cybergeo.eu/index3275.html>.

TAYLOR, P. J. **Quantitative Methods in Geography**. Atlanta: Houghton Mifflin Company Boston, 1977.

TERZI, F.; KAYA, H. S. **Analyzing urban sprawl patterns through fractal geometry**: the case of Istanbul metropolitan area. London: Center for Advanced Spatial Analysis. Working Paper, 2008. n. 144, 23 p.

THOMAS, I. et al. The morphology of built-up landscapes in Wallonia (Belgium): a classification using fractal indices. **Landscape and Urban Planning**, v. 84, p. 99-115, 2008.

TORRENS, P. M.; ALBERTI, M. Measuring Sprawl. **Working Paper Series**, n. 27, 2000.

UEDA, V. Loteamentos fechados e a produção do espaço urbano: algumas reflexões para o debate. In: SPOSITO, E. S.; SPOSITO, M. E. B.; SOBARZO, O. (Org.). **Cidades médias**: produção do espaço. São Paulo: Expressão Popular, 2006. p. 235-241.

UN-HABITAT. **State of world's cities 2010/2011**: bridging the urban divide. London: Earthscan, 2008.

VILLAÇA, Flávio. **Espaço intra-urbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel/FAPESP/Lincoln Institute, 2001. 373p.

XU, T.; MOORE, I. D.; GALLANT, J. C. Fractals, fractal dimensions and landscapes – a review. **Geomorphology**, n. 8, p. 245-262, 1993.

APÊNDICES

Apêndice A - Dados e informações utilizadas na seleção do objeto de estudo.

	Localidade	Pop. (2000)	Características físicas	Região Metropolitana
1	1 Franco da Rocha	100.173	Planalto Atlântico	RMSP
	2 Botucatu	103.818	Cuestas Basálticas	
	3 Catanduva	104.118	Planalto Ocidental	
	4 Ribeirão Pires	104.305	Planalto Atlântico	RMSP
	5 Jaú	107.023	Cuestas Basálticas	
	6 Cubatão	107.488	Província Costeira	RMBS
2	7 Bragança Paulista	110.856	Planalto Atlântico	
	8 Itapetininga	111.918	Depressão Periférica	
	9 Mogi Guaçu	115.956	Depressão Periférica	
	10 Pindamonhangaba	118.841	Planalto Atlântico	
	11 Itu	123.670	Planalto Atlântico	
	12 Itapeceira da Serra	127.827	Planalto Atlântico	RMSP
	13 Francisco Morato	132.981	Planalto Atlântico	RMSP
	14 São Caetano do Sul	140.241	Planalto Atlântico	RMSP
3	15 Ferraz de Vasconcelos	140.687	Planalto Atlântico	RMSP
	16 Indaiatuba	144.228	Depressão Periférica	RMC
	17 Cotia	148.519	Planalto Atlântico	RMSP
	18 Hortolândia	151.697	Depressão Periférica	RMC
	19 Itapevi	161.810	Planalto Atlântico	RMSP
	20 Rio Claro	163.170	Depressão Periférica	
	21 Araçatuba	164.287	Planalto Ocidental	
	22 Santa Bárbara d'Oeste	167.660	Depressão Periférica	RMC
4	23 Araraquara	173.349	Planalto Ocidental	
	24 Americana	181.867	Depressão Periférica	RMC
	25 São Carlos	183.092	Cuestas Basálticas	
	26 Jacareí	183.109	Planalto Atlântico	
	27 Presidente Prudente	184.997	Planalto Ocidental	
	28 Marília	189.357	Planalto Ocidental	
	29 Praia Grande	192.769	Província Costeira	RMBS
	30 Sumaré	193.322	Depressão Periférica	RMC
5	31 Taboão da Serra	197.247	Planalto Atlântico	RMSP
	32 Embu	207.103	Planalto Atlântico	RMSP
	33 Barueri	207.372	Planalto Atlântico	RMSP
	34 Suzano	220.675	Planalto Atlântico	RMSP
	35 Taubaté	229.495	Planalto Atlântico	
	36 Limeira	237.939	Depressão Periférica	
6	37 Guarujá	264.156	Província Costeira	RMSP
	38 Itaquaquecetuba	271.649	Planalto Atlântico	RMSP
	39 Franca	281.639	Cuestas Basálticas	
	40 Jundiaí	299.890	Planalto Atlântico	
	41 Mogi das Cruzes	301.578	Planalto Atlântico	RMSP
	42 São Vicente	303.061	Província Costeira	RMBS
	43 Bauru	309.881	Planalto Ocidental	
7	44 Piracicaba	316.876	Depressão Periférica	
	45 São José do Rio Preto	336.519	Planalto Ocidental	
	46 Carapicuíba	343.962	Planalto Atlântico	RMSP
	47 Diadema	356.535	Planalto Atlântico	RMSP
8	48 Mauá	362.676	Planalto Atlântico	RMSP
	49 Santos	415.739	Província Costeira	RMBS
	50 Sorocaba	485.520	Depressão Periférica	

RMSP: Região Metropolitana de São de Paulo; RMBS: Região Metropolitana da Baixada Santista; RMC: Região Metropolitana de Campinas.

Apêndice B - Cidades médias selecionadas e características físico-geográficas predominantes.

G r u p o	Município (Ano de Fundação)	População urbana - 2000 (hab.)	Unidade geomorfológica do estado de São Paulo	Características de relevo	Clima	Vegetação original	Características de ocupação
1	Botucatu (1876)	103.818	Cuestas Basálticas	- Escarpas e áreas de relevo fortemente ondulado, fentonadas com mesas basálticas e morros testemunhos e colinas médias no reverso - Altitude: 800-1000m	- Tropical com duas estações definidas - Temp. média: 20 a 21°C - Precipitação anual: 1400-1500mm	- Mata latifoliada tropical de encosta no front e remanescentes de cerrado no reverso.	- Preservação da flora e fauna silvestres - Predomínio de indústrias de pequeno porte
	Catanduva (1917)	104.118	Planalto Ocidental (Planalto de Catanduva)	- Ondulado ou suavemente ondulado, além de colinas amplas e médias e as planícies aluviais junto ao rio Turvo - Altitude: 300-600m	- Tropical - Temp. média: 22 a 23°C - Precipitação anual: 1100 mm	- Mata latifoliada, perene e semidecídua interrompidas por manchas de Cerrado, restritas a APAS e reservas	- Agricultura: culturas temporárias e permanentes - Pecuária - Predomínio de indústrias de pequeno porte
2	Bragança Paulista (1856)	110.856	Planalto Atlântico (Planalto de Jundiá)	- Fortemente ondulado com morros paralelos do tipo apalacheano, morros de serras restritas e alongadas - Sequência de mar de morros ou meias laranjas - Altitude: 600-800m	- Tropical de altitude - Temp. média: 19°C - Precipitação anual: 1100-1400mm	- Mata Atlântica ou Mata latifoliada tropical em áreas restritas - Numerosas áreas de proteção, APAS e parques	- Industrialização e urbanização densas - Agricultura: culturas temporárias e permanentes - pastagens - reflorestamento
	Itapetininga (1855)	111.918	Depressão Periférica (Zona do Paranapanema)	- Ondulado e fortemente ondulado em áreas restritas - Colinas amplas e médias, morrotes alongados e espigões - Altitude: 600-800m	- Tropical na porção norte e Subtropical na porção sul - Temp. média: 20°C - Precipitação anual: 1100-1200mm	- Cerrado e pequenas manchas da mata latifoliada tropical em reservas e APAS	- Industrialização - Reflorestamento para fins econômicos devido aos entraves do relevo e solos - Pastagens - Culturas temporárias
3	Rio Claro (1857)	163.170	Depressão Periférica (Zona do Médio Tietê)	- Colinas amplas e médias, além de morrotes alongados e espigões - Altitude: 600-800m	- Tropical - Temp. média: 21°C - Precipitação anual: 1100-1200mm	- Testemunhas do Cerrado, Mata de encosta em reservas e APAS	- Agricultura: culturas permanentes e temporárias - Pastagens - Reflorestamentos - Indústrias
	Araçatuba (1921)	164.287	Planalto Ocidental (Áreas Indivisas)	- Fortemente a suavemente ondulado com colinas amplas e médias juntamente com planícies aluviais marginando o Tietê. - Altitude: 300-500m	- Tropical - Temp. média: 22°C - Precipitação anual: 1000-1100mm	- Mata latifoliada tropical e subtropical, ambas semidecíduas - Manchas de cerrado em reservas e APAS	- Agricultura: culturas temporárias e permanentes - Indústria - Pastagens
4	São Carlos (1880)	183.092	Cuestas Basálticas	- Escarpas e áreas de relevo fortemente ondulado, fentonadas com mesas basálticas e morros testemunhos e colinas médias no reverso - Altitude: 800-1000m	- Tropical com duas estações definidas - Temp. média: 20 a 21°C - Precipitação anual: 1400-1500mm	- Mata latifoliada tropical de encosta no front e restos de cerrado no reverso.	- Preservação da flora e fauna silvestres - Predomínio de indústrias de pequeno porte

	Presidente Prudente (1921)	184.997	Planalto Ocidental (Áreas Indivisas)	- Fortemente a suavemente ondulado com colinas amplas e médias, além de morros alongados e esporões - Altitude: 300-500m	- Tropical/ subtropical - Temp. média: 22°C - Precipitação anual: 1100mm	- Mata tropical latifoliada e tropical semidecidual - Pequenas manchas de cerrado em áreas restritas e parques	- Agricultura: culturas temporárias e permanentes - Pecuária - Indústria de pequeno porte
5	Taubaté (1842)	229.495	Planalto Atlântico (Médio Vale do Parnaíba – subzona de colinas sedimentares)	- Extensas planícies aluviais, colinas sedimentares interrompidas por morros cristalinos e serras restritas além de tabuleiros e colinas com esporões locais - Altitude: 500-600m	- Tropical úmido - Temp. média: 21 a 22°C - Precipitação anual: 1800-2000mm	- Formações vegetais de banhados, mata ciliar e nas baixas encostas de mata tropical atlântica, restritas a APAS	- Urbanização e industrialização intensas - Agricultura: culturas temporárias e permanentes em áreas reduzidas - Pastagens
	Limeira (1863)	237.939	Depressão Periférica (Zona do Médio Tietê)	- Colinas amplas e médias, além de morrotes alongados e espigões - Altitude: 600-800m	- Tropical - Temp. média: 21°C - Precipitação anual: 1100-1200mm	- Testemunhas do Cerrado, Mata de encosta em reservas e APAS	- Agricultura: culturas permanentes e temporárias - Pastagens - Reflorestamentos - Indústrias
6	Franca (1856)	281.639	Cuestas Basálticas	- Escarpas e áreas de relevo fortemente ondulado, festonadas com mesas basálticas e morros testemunhos e colinas médias no reverso - Altitude: 800-1000m	- Tropical com duas estações definidas - Temp. média: 20 a 21°C - Precipitação anual: 1400-1500mm	- Mata latifoliada tropical de encosta no front e remanescentes de cerrado no reverso.	- Preservação da flora e fauna silvestres - Predomínio de indústrias de pequeno porte
	Jundiaí (1865)	299.890	Planalto Atlântico (Planalto de Jundiaí)	- Fortemente ondulado com morros paralelos do tipo apalacheano, morros de serras restritas e alongadas - Sequência de mar de morros ou meias laranjas - Altitude: 600-800m	- Tropical de altitude - Temp. média: 19°C - Precipitação anual: 1100-1400mm	- Mata Atlântica ou Mata latifoliada tropical em áreas restritas - Numerosas áreas de proteção, APAS e parques	- Industrialização e urbanização densas - Agricultura: culturas temporárias e permanentes - Pastagens - Reflorestamento
7	Piracicaba (1856)	316.876	Depressão Periférica (Zona do Médio Tietê)	- Colinas amplas e médias, além de morrotes alongados e espigões - Altitude: 600-800m	- Tropical - Temp. média: 21°C - Precipitação anual: 1100-1200mm	- Testemunhas do Cerrado, Mata de encosta em reservas e APAS	- Agricultura: culturas permanentes e temporárias - Pastagens - Reflorestamentos - Indústrias
	São José do Rio Preto (1894)	336.519	Planalto Ocidental (Áreas Indivisas)	- Ondulado ou suavemente ondulado, além de colinas amplas e médias e as planícies aluviais junto ao rio Turvo - Altitude: 300-600m	- Tropical - Temp. média: 22 a 23°C - Precipitação anual: 1100 mm	- Mata latifoliada, perene e semidecidual interrompidas por manchas de Cerrado, restritas a APAS e reservas	- Agricultura: culturas temporárias e permanentes - Pecuária - Predomínio de indústrias de pequeno porte

Fonte: SEADE (2008), Monteiro (1973), IPT (1981), Troppmair (1983), Ross e Moroz (1997).

Apêndice C - Matrizes geográficas da série temporal (1938-2005) agregando características das 14 cidades médias.

Quadro A - Matriz geográfica para o ano de 1938.

Lugares Características	Araçatuba	Botucatu	Bragança Paulista	Catanduva	Franca	Itapetininga	Jundiaí-Várzea Paulista	Limeira	Piracicaba	Presidente Prudente	Rio Claro	São Carlos	São José do Rio Preto	Taubaté-Tremembé
Pop. Total - 1940	45.721	38.881	52.773	40.769	55.760	34.437	58.203	44.807	76.416	75.806	47.287	48.609	74.359	47.672
Pop. Urbana – 1940	17.060	20.305	14.129	19.321	24.038	13.623	31.087	19.299	33.771	17.927	26.571	25.746	28.608	30.422
Tx. Urb. (%) – 1940	37,31	52,22	26,77	47,39	43,11	39,56	53,41	43,07	44,19	23,65	56,19	52,96	38,47	63,81
Área urbanizada (km ²)	3,665700	3,783600	2,966400	5,378400	3,794400	3,195000	4,147200	2,449800	9,711000	2,082600	5,769900	5,367600	4,713300	4,632300
Perímetro Urbano ¹ (km)	15,060000	23,099999	21,420000	18,060000	23,819999	17,280000	18,480000	17,220000	30,119999	14,880000	28,979999	22,499999	20,760000	23,699999
PRE	1,086169	1,151989	1,231193	1,038135	1,115223	1,110765	1,162625	1,169603	1,068655	1,192826	1,149965	1,166040	1,108504	1,119607
PAR	1,089482	1,143693	1,152233	1,085974	1,147530	1,117842	1,107518	1,137549	1,109675	1,130168	1,141826	1,114486	1,113438	1,131954
DOC	1,915303	1,893845	1,862626	1,948313	1,855583	1,835888	1,909728	1,884269	1,947377	1,836888	1,885781	1,906920	1,946535	1,911933
DOC _{uc}	1,837891	1,789516	1,758416	1,888329	1,749221	1,727746	1,801244	1,784869	1,866595	1,713205	1,767533	1,792544	1,870962	1,815382
IF	0,274962	0,184836	0,188330	0,451134	0,210410	0,140864	0,432769	0,269274	0,333332	0,156214	0,169521	0,271666	0,369429	0,300066
grupo	2	2	1	3	1	1	2	2	3	1	2	2	3	2

¹ Refere-se ao perímetro da área urbanizada.

Quadro B - Matriz geográfica para o ano de 1985.

Lugares Características	Araçatuba	Botucatu	Bragança Paulista	Catanduva	Franca	Itapetininga	Jundiaí-Várzea Paulista	Limeira	Piracicaba	Presidente Prudente	Rio Claro	São Carlos	São José do Rio Preto	Taubaté-Tremembé
Pop. Total	142.274	75.171	94.385	81.511	181.905	93.232	318.804	173.903	243.205	149.240	121.864	135.655	226.298	207.144
Pop. Urbana	131.055	69.123	74.790	75.944	176.812	73.761	286.727	154.520	227.677	142.817	115.987	126.084	217.027	195.513
Tx. Urb. (%)	92,11	91,95	79,24	93,17	97,20	79,12	89,94	88,85	93,62	95,70	95,18	92,94	95,90	94,38
Área urbanizada (km ²)	29,204100	19,813500	17,364600	17,822700	39,297600	15,561900	46,253700	26,861400	38,421900	33,015600	23,661000	26,911800	51,371100	38,520000
Área urbanizada (km ²)*	25,375500	15,678000	15,823800	16,636500	36,755100	14,354100	36,875700	26,403300	33,849900	28,891800	22,300200	26,050500	48,426300	32,694300
Perímetro Urbano ¹ (km)	92,819998	96,419998	80,759998	56,819999	132,299997	92,039998	233,639995	71,219998	153,839997	116,639997	72,419998	84,179998	114,479997	170,699996
Perímetro Urbano ¹ (km)*	60,059999	52,379999	64,919999	40,919999	106,859998	74,939998	135,119997	63,299999	101,639998	75,359998	53,879999	75,959998	92,519998	116,399997
PRE	1,142750	1,200031	1,186235	1,200235	1,090100	1,235842	1,172586	1,113089	1,143020	1,168660	1,175905	1,140402	1,154686	1,224549
PRE*	1,151147	1,175829	1,178674	1,141764	1,081381	1,221479	1,167659	1,112561	1,165609	1,154635	1,144355	1,150547	1,158134	1,225171
PAR	1,169544	1,201077	1,189319	1,145347	1,190224	1,212981	1,243678	1,144291	1,209035	1,187646	1,154809	1,163710	1,155967	1,220766
PAR*	1,128118	1,144389	1,169645	1,110606	1,170276	1,193983	1,196991	1,131646	1,170057	1,146015	1,123896	1,153892	1,135753	1,188079
DOC	1,882688	1,884079	1,906021	1,908912	1,923541	1,885731	1,889031	1,957905	1,901083	1,887779	1,916477	1,954817	1,955390	1,898302
DOC*	1,964825	1,943702	1,914266	1,967199	1,920403	1,915099	1,931292	1,957146	1,901850	1,937739	1,943827	1,953589	1,974355	1,912562
DOC _{ac}	1,751820	1,768445	1,802636	1,787650	1,818343	1,772058	1,773646	1,874048	1,792386	1,765213	1,803580	1,874268	1,861569	1,782048
DOC _{ac} *	1,890779	1,859491	1,811917	1,897298	1,810901	1,823047	1,838607	1,872028	1,789676	1,843180	1,852198	1,870449	1,902550	1,797874
IF	0,150494	0,166336	0,196272	0,210227	0,173691	0,155577	0,131811	0,352350	0,216068	0,159953	0,279092	0,373083	0,407227	0,205464
IF*	0,538286	0,264471	0,196691	0,502362	0,254169	0,301001	0,237450	0,346341	0,246947	0,432246	0,409236	0,361143	0,461884	0,268580
grupo	3	2	1	3	1	1	2	3	1	2	2	3	3	1

¹ Refere-se ao perímetro da área urbanizada total e da mancha principal.

*Corresponde aos dados da mancha principal.

Quadro C - Matriz geográfica para o ano de 1995.

Lugares Características	Araçatuba	Botucatu	Bragança Paulista	Catanduva	Franca	Itapetininga	Jundiaí-Várzea Paulista	Limeira	Piracicaba	Presidente Prudente	Rio Claro	São Carlos	São José do Rio Preto	Taubaté-Tremembé
Pop. Total	160.126	98.068	110.341	97.496	256.345	111.955	382.290	225.289	299.701	176.135	150.945	173.324	316.977	253.330
Pop. Urbana	154.885	92.764	97.960	95.198	250.931	97.905	359.086	203.090	287.464	171.367	145.711	163.637	302.871	238.077
Tx. Urb. (%)	96,73	94,59	88,78	97,64	97,89	87,45	93,93	90,15	95,92	97,29	96,53	94,41	95,55	93,98
Área urbanizada (km ²)	35,421300	23,363100	23,922000	21,966300	51,801300	21,296700	62,708400	37,769400	49,689900	42,707700	31,026600	34,971300	66,571200	55,457100
Área urbanizada (km ²)*	32,987700	18,607500	22,978800	21,462300	46,503000	18,335700	50,024700	37,519200	38,226600	36,716400	29,117700	30,721500	63,412200	44,226900
Perímetro Urbano ¹ (km)	98,219998	109,919998	94,679998	67,199998	178,499996	119,459997	288,959994	104,099998	216,719995	137,279997	96,599998	114,359997	166,919996	216,539995
Perímetro Urbano ¹ (km)*	76,559998	67,379998	81,299998	60,359999	133,859997	80,339998	160,019996	100,259998	110,279998	90,119998	73,799998	83,639998	133,739997	134,039997
PRE	1,126857	1,163535	1,193239	1,164869	1,125449	1,226186	1,179531	1,149168	1,155292	1,167442	1,181556	1,136413	1,162370	1,169156
PRE*	1,126277	1,140507	1,166892	1,149346	1,115504	1,210045	1,166783	1,146781	1,160847	1,151714	1,166050	1,163041	1,162197	1,174937
PAR	1,163064	1,204858	1,185613	1,151035	1,205438	1,221335	1,246268	1,165450	1,230165	1,188793	1,170067	1,181438	1,181204	1,222496
PAR*	1,139064	1,162765	1,170449	1,139900	1,180203	1,184826	1,195481	1,161584	1,171254	1,150784	1,143062	1,154027	1,159729	1,183720
DOC	1,898866	1,886927	1,920417	1,923357	1,939695	1,866531	1,872657	1,956742	1,916752	1,905149	1,932859	1,919596	1,933814	1,925443
DOC*	1,968906	1,927341	1,927572	1,922426	1,935095	1,936245	1,935801	1,956435	1,903810	1,942416	1,939190	1,954410	1,966615	1,927512
DOC _{uc}	1,772892	1,773264	1,821483	1,811679	1,849081	1,738461	1,748098	1,873980	1,820632	1,793316	1,834449	1,805365	1,821911	1,821838
DOC _{uc} *	1,898169	1,830944	1,835163	1,809011	1,837076	1,852151	1,845198	1,873216	1,791827	1,853627	1,844076	1,868880	1,885170	1,819229
IF	0,182533	0,189193	0,235408	0,259103	0,228957	0,104327	0,128323	0,393040	0,231689	0,206909	0,218868	0,216822	0,313794	0,292408
IF*	0,417395	0,213916	0,259730	0,253158	0,279515	0,340130	0,253436	0,390437	0,278877	0,464574	0,307975	0,425898	0,495649	0,324850
grupo	3	1	1	1	2	2	2	3	1	2	2	3	3	1

¹ Refere-se ao perímetro da área urbanizada total e da mancha principal.

*Corresponde aos dados da mancha principal.

Quadro D - Matriz geográfica para o ano de 2005.

Lugares Características	Araçatuba	Botucatu	Bragança Paulista	Catanduva	Franca	Itapetininga	Jundiaí-Várzea Paulista	Limeira	Piracicaba	Presidente Prudente	Rio Claro	São Carlos	São José do Rio Preto	Taubaté-Tremembé
Pop. Total	175.184	117.282	135.185	109.177	302.355	134.446	445.203	261.811	346.103	197.986	176.757	206.628	381.993	298.232
Pop. Urbana	172.568	113.719	129.685	108.499	310.886	123.615	425.795	259.148	344.335	196.111	178.990	204.202	376.828	282.527
Tx. Urb. (%)	97,64	96,13	94,53	98,81	98,42	90,18	95,64	96,45	97,02	98,19	97,69	95,93	95,43	94,73
Área urbanizada (km ²)	43,586100	27,880200	28,534500	25,135200	63,193500	26,206200	76,310100	48,030300	59,544900	49,734000	35,233200	40,622400	81,614700	66,449700
Área urbanizada (km ²)*	40,539600	22,221900	27,135900	23,813100	60,979500	23,859900	63,269100	47,832300	49,534200	45,798300	33,217200	36,367200	73,749600	53,760600
Perímetro Urbano ¹ (km)	113,159997	123,179997	103,499998	93,299998	179,939996	118,859997	304,379993	106,799998	233,219995	149,459997	93,839998	129,659997	194,639996	213,299995
Perímetro Urbano ¹ (km)*	87,119998	78,239998	83,099998	77,819998	158,519996	91,679998	180,599996	103,439998	154,859997	108,899998	74,219998	101,579998	120,479997	133,799997
PRE	1,098487	1,152629	1,187432	1,176914	1,130429	1,173348	1,172563	1,114618	1,146755	1,142896	1,149939	1,129465	1,145890	1,161400
PRE*	1,106014	1,128782	1,178350	1,170514	1,130067	1,177145	1,153718	1,109103	1,147797	1,146123	1,133195	1,144782	1,125733	1,152870
PAR	1,165448	1,205722	1,183813	1,180447	1,192991	1,205913	1,238517	1,152510	1,225930	1,188170	1,158170	1,185671	1,184861	1,208548
PAR*	1,140412	1,168231	1,161637	1,162841	1,181224	1,182003	1,193320	1,149164	1,192446	1,157827	1,135023	1,165168	1,138534	1,170537
DOC	1,914153	1,900260	1,932060	1,932157	1,951934	1,883402	1,881006	1,962020	1,922573	1,903311	1,940603	1,929145	1,940996	1,938320
DOC*	1,962370	1,928000	1,938324	1,929588	1,950374	1,931287	1,928695	1,961789	1,914337	1,923881	1,946863	1,954887	1,969506	1,940940
DOC _{uc}	1,795539	1,793074	1,841750	1,827169	1,871200	1,761388	1,762519	1,884222	1,829603	1,790420	1,848931	1,822032	1,834670	1,841582
DOC _{uc} *	1,882116	1,831274	1,854470	1,820958	1,867232	1,839532	1,836227	1,883751	1,809506	1,823088	1,859217	1,869631	1,888388	1,840804
IF	0,204335	0,217920	0,252227	0,293942	0,279309	0,128378	0,152847	0,388947	0,277640	0,222156	0,248542	0,215429	0,333785	0,342428
IF*	0,428783	0,244934	0,269150	0,278481	0,269523	0,346790	0,213257	0,387343	0,278559	0,472756	0,319292	0,378448	0,552923	0,298759
grupo	3	1	2	1	2	1	1	3	1	1	2	2	3	2

¹ Refere-se ao perímetro da área urbanizada total e da mancha principal.

*Corresponde aos dados da mancha principal.

Apêndice D - Representações cartográficas da expansão urbana das 14 cidades médias para o período 1938-2005.

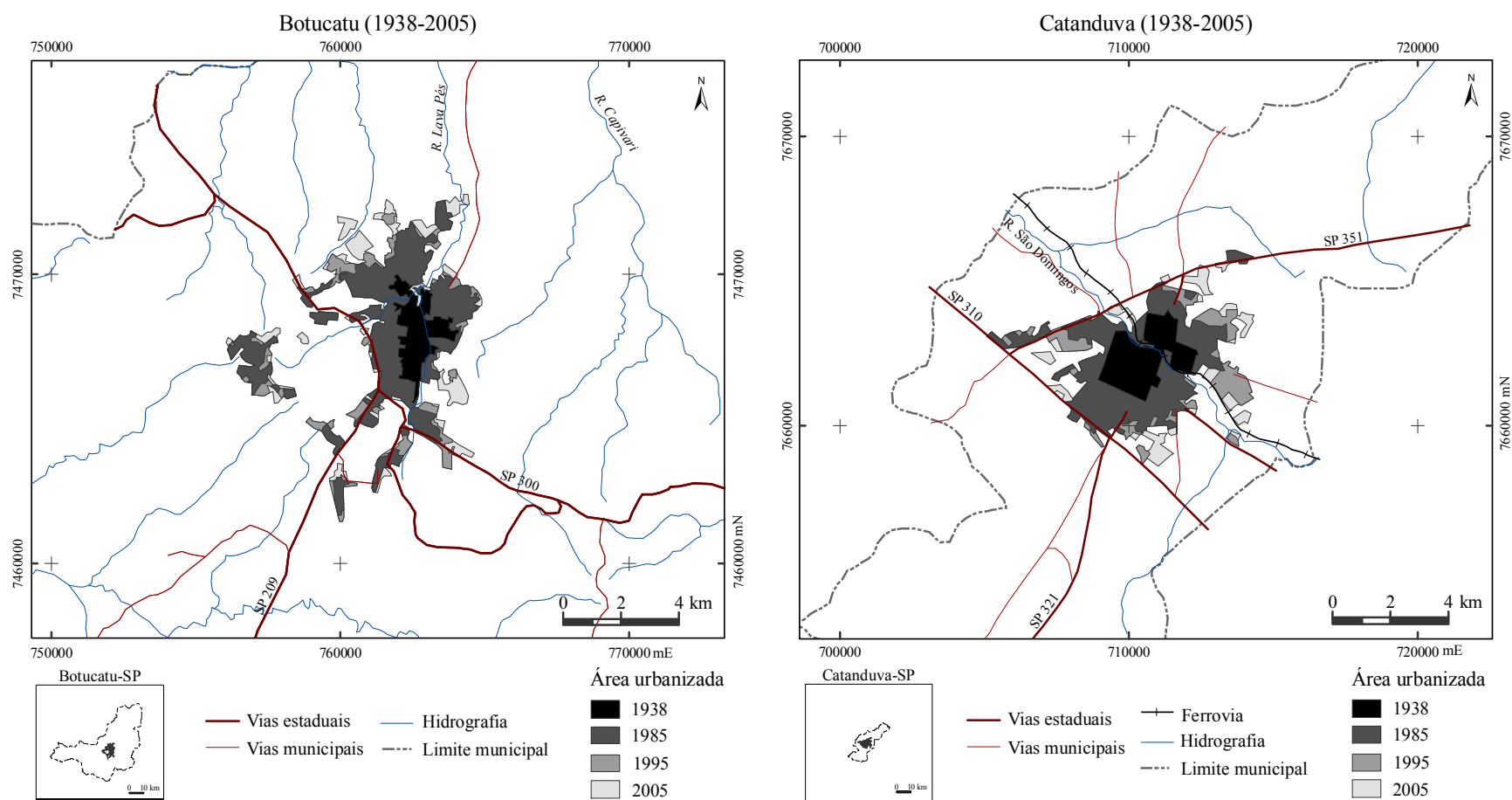


Figura A - Expansão urbana das cidades de Botucatu e Catanduva no período 1938-2005.

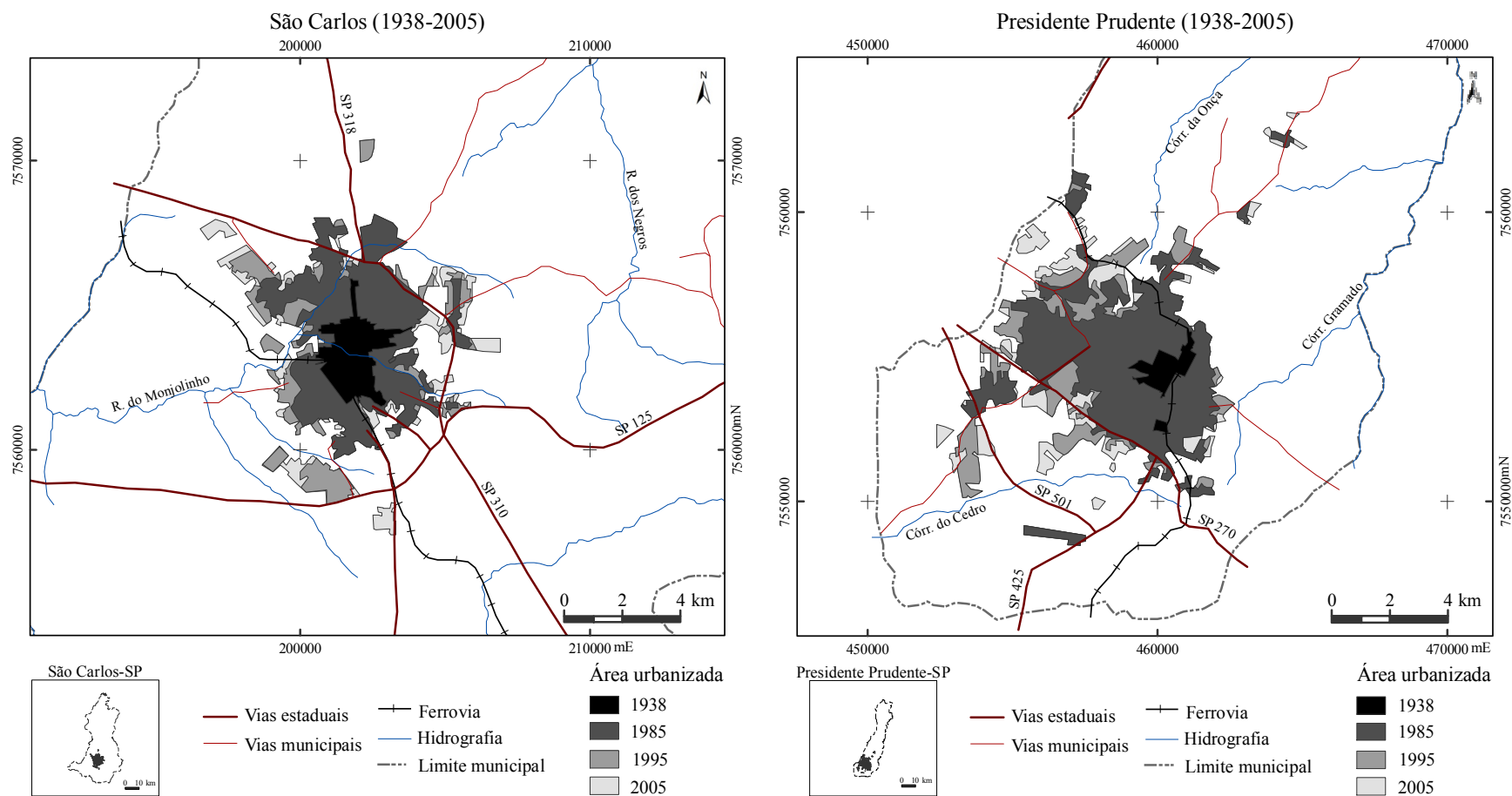


Figura C - Expansão urbana das cidades de São Carlos e Presidente Prudente no período 1938-2005.

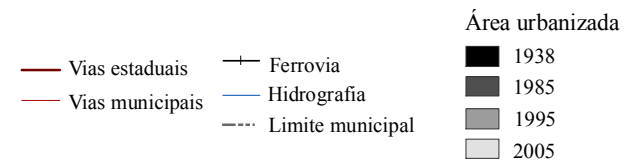
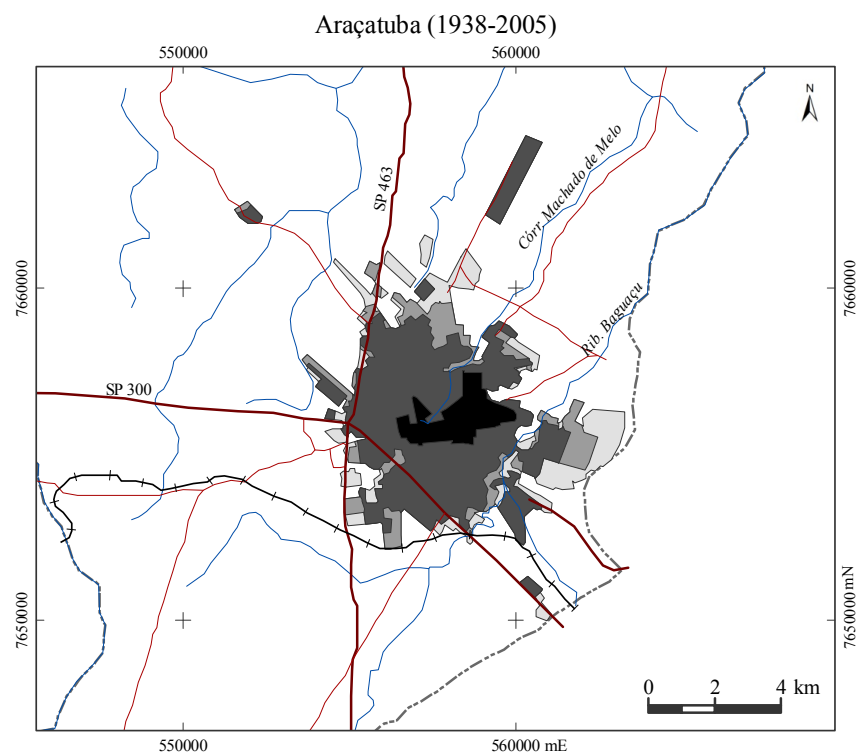
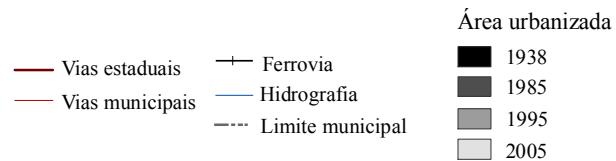
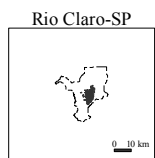
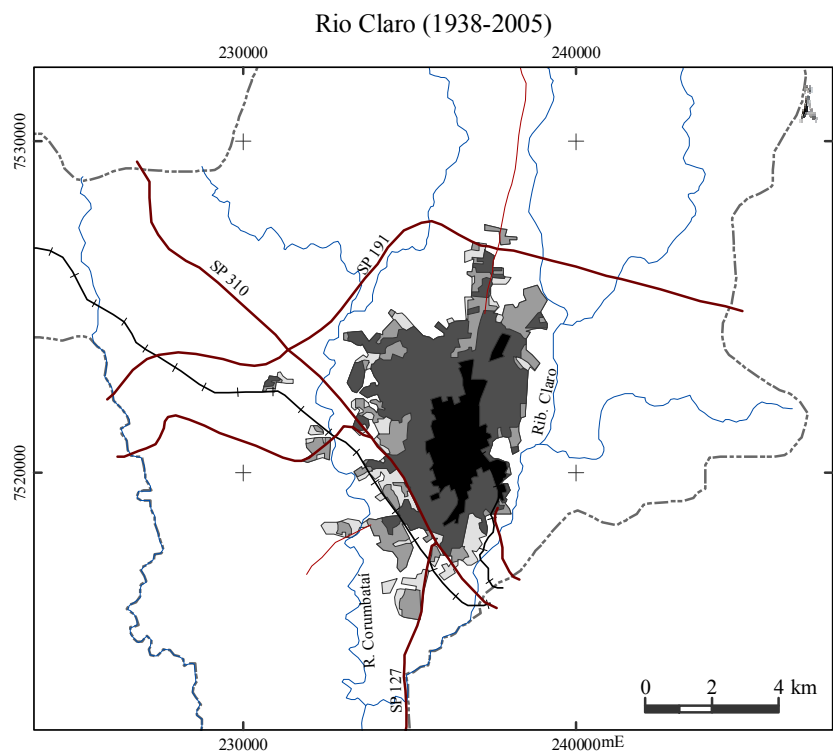


Figura D - Expansão urbana das cidades de Rio Claro e Araçatuba no período 1938-2005.

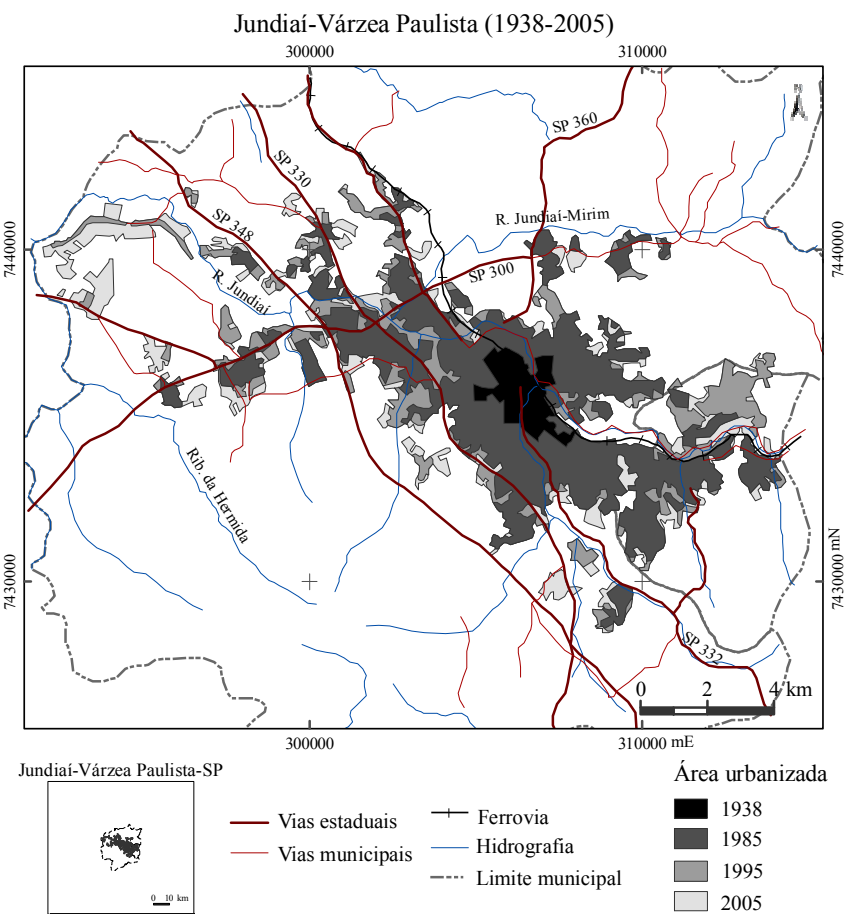
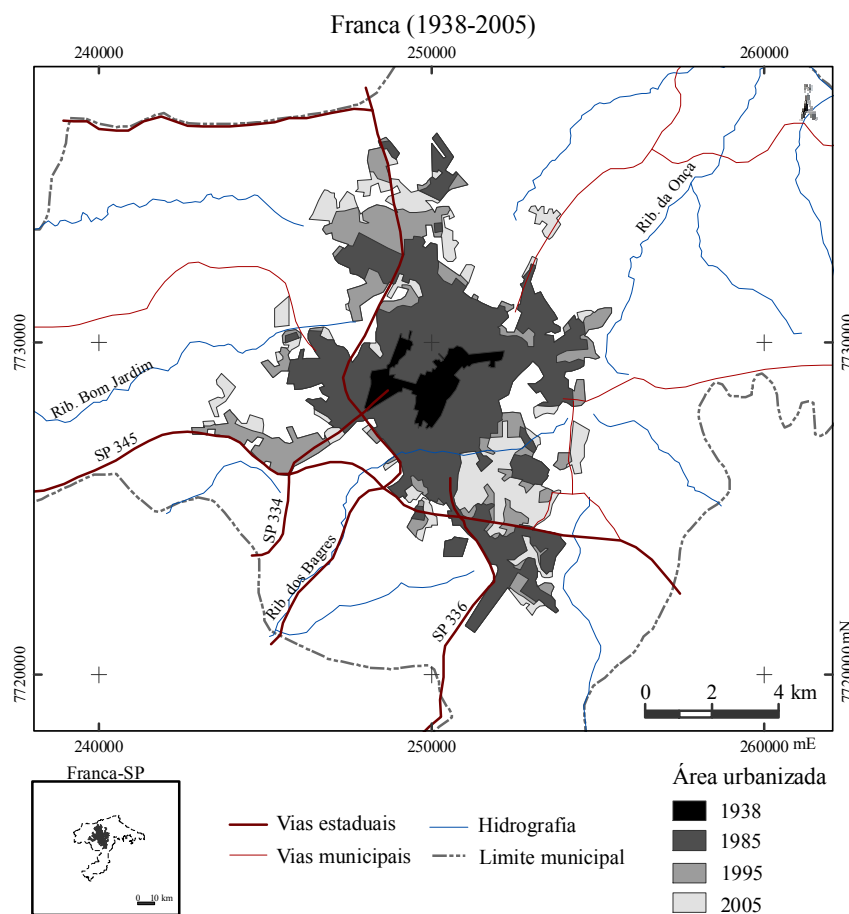


Figura E - Expansão urbana das cidades de Franca e o aglomerado Jundiaí-Várzea Paulista no período 1938-2005.

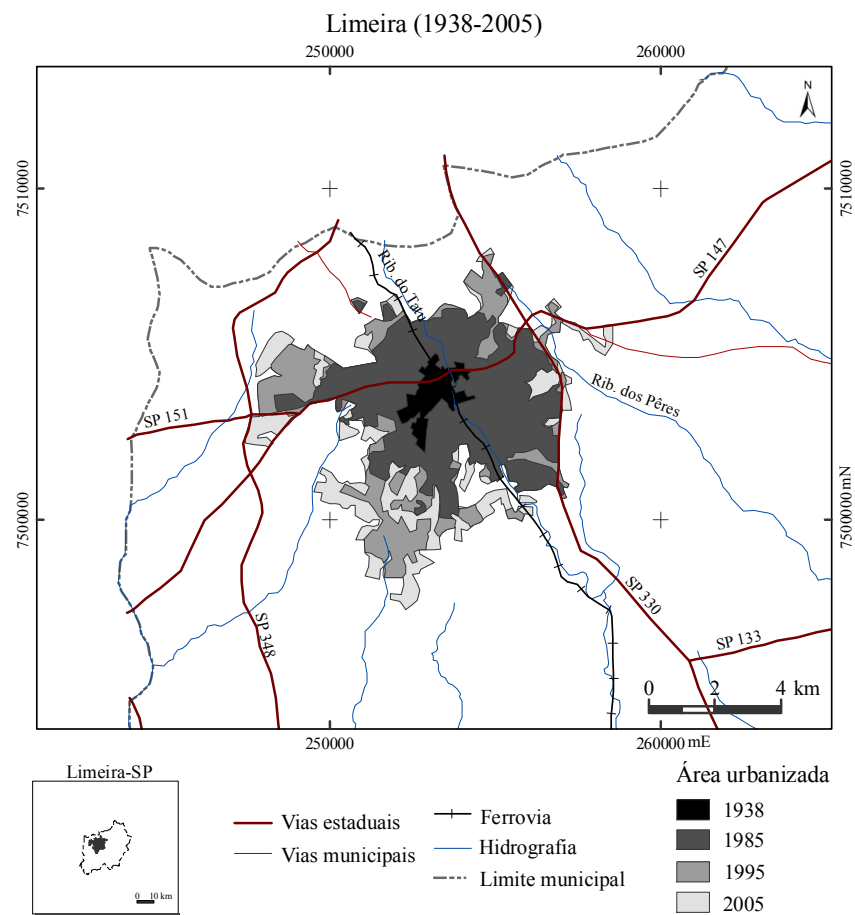
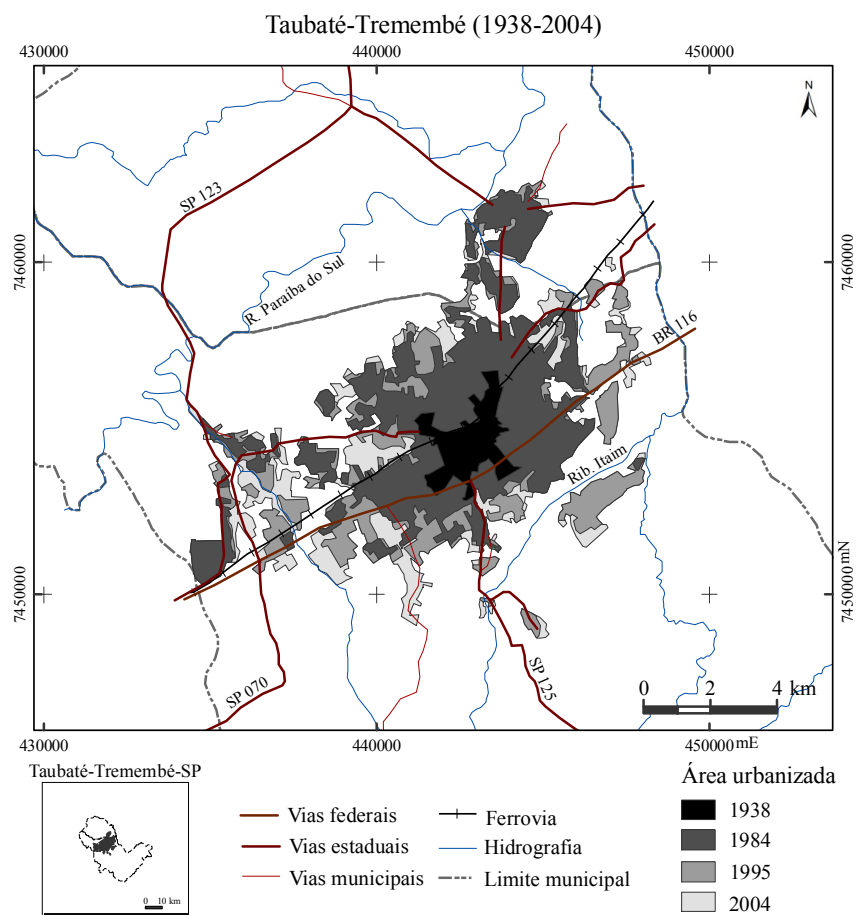


Figura F - Expansão urbana para o aglomerado Taubaté-Tremembé e a cidade de Limeira no período 1938-2005.

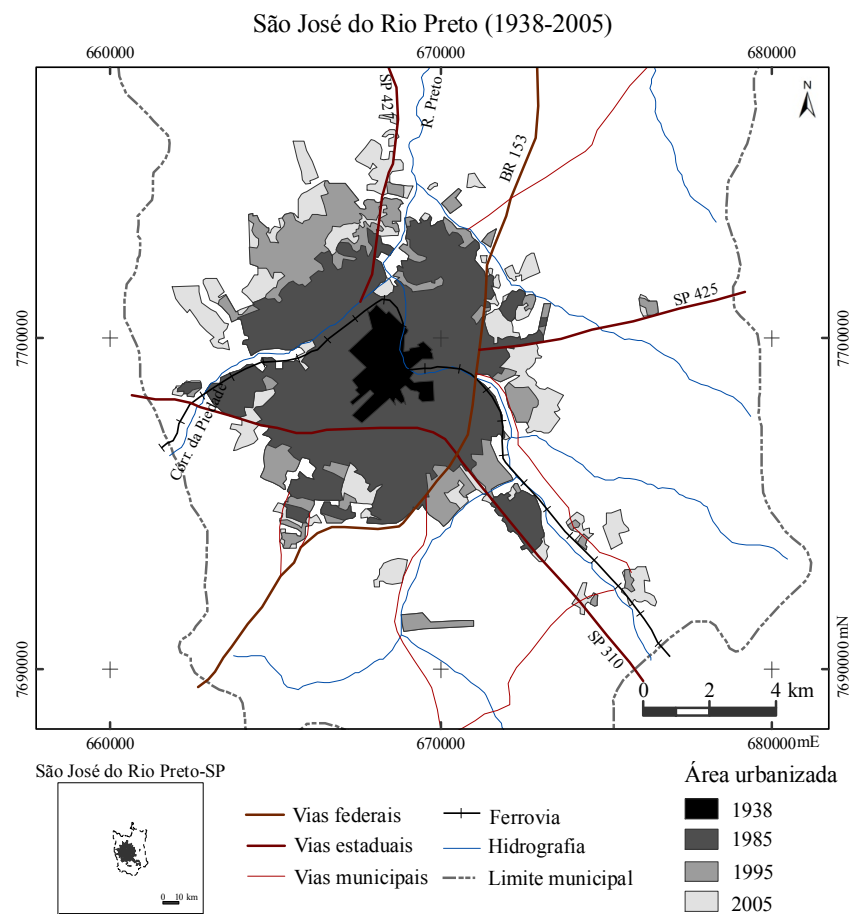
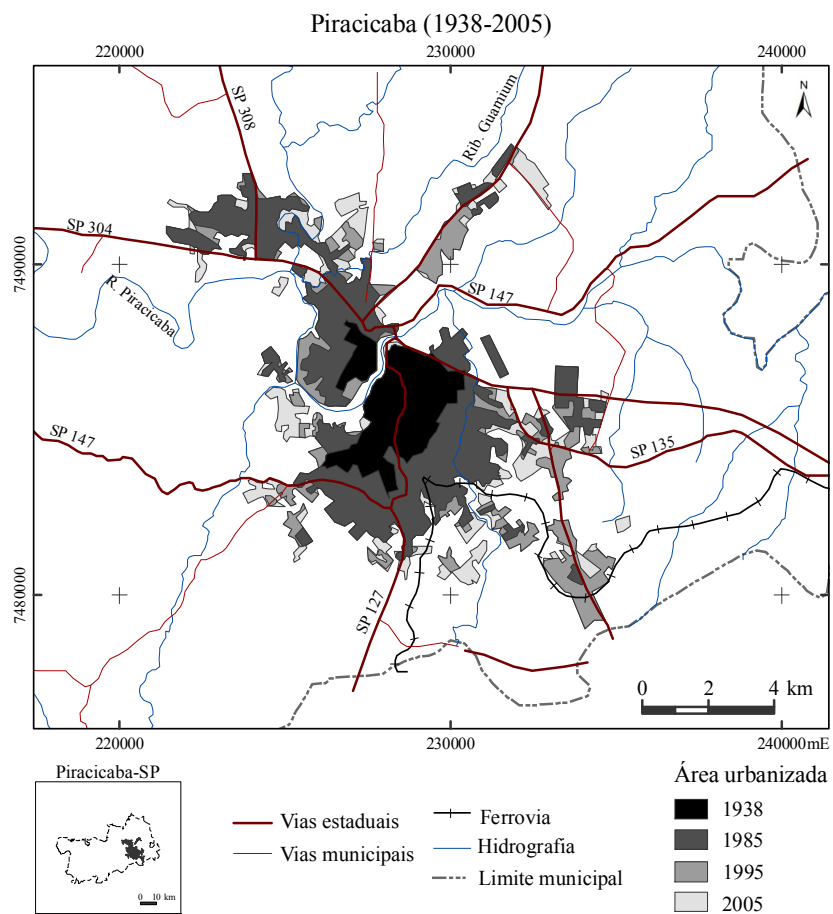


Figura G - Expansão urbana das cidades de Piracicaba e São José do Rio Preto no período 1938-2005.

Apêndice E - Comparação entre o uso dos marcos zero (IBGE) e dos centros médios a partir da forma urbana de 1938, para o cálculo de D pelo método DOC.

No decorrer da pesquisa, especificamente na etapa de qualificação, surgiu o questionamento quanto à utilização do centro médio obtido a partir das áreas urbanizadas do ano de 1938, e não dos marcos zero do IBGE, no método de cálculo da D pela densidade de ocupação. Para verificar a diferença quanto à utilização dos centros médios ou dos marcos zero, propôs-se testar como seria a D calculada a partir do marco zero e comparada aos valores obtidos com base no centro médio.

Inicialmente, as coordenadas de posição dos marcos zero foram obtidas para cada uma das 14 cidades e inseridas na base de dados da pesquisa (Figura A), possibilitando a comparação quanto à posição geográfica de ambos sobre as áreas urbanizadas de 1938.

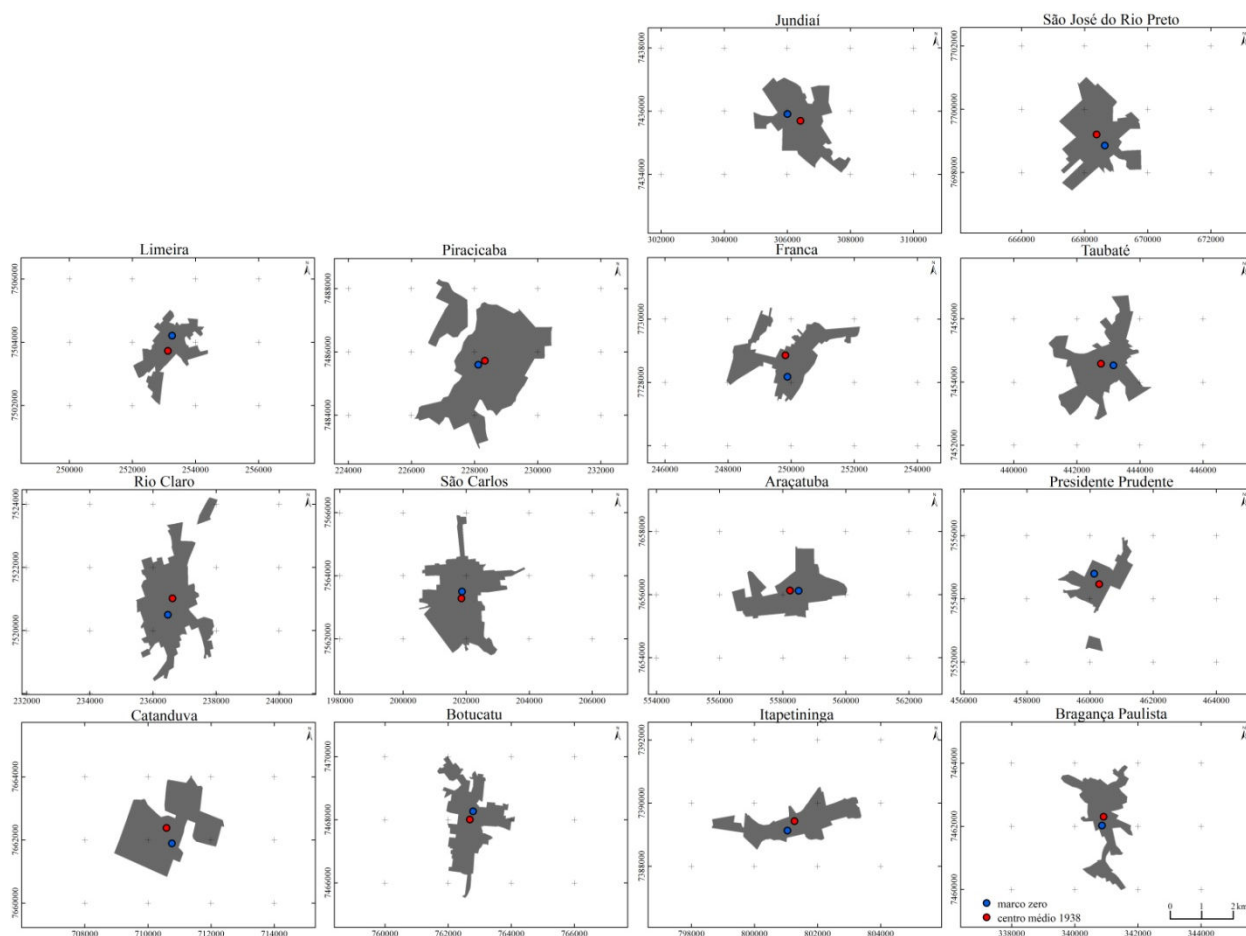


Figura A - Posição geográfica dos marcos zero (IBGE) e dos centros médios (1938), sobre a forma urbana de 1938.

Com base na posição dos marcos zero e dos centros médios, obteve-se o distanciamento entre os pontos para cada cidade (Tabela A). Verificou-se que a maior distância entre o centro médio e o marco zero ocorreu para a cidade de Franca (684,13 m) e a menor distância para São Carlos (216,43 m). Então, o método DOC foi calculado para estas duas cidades, utilizando o marco zero na etapa de obtenção da superfície de isodistâncias, da qual resultam os círculos concêntricos para o referido método. O cálculo seguiu os mesmos procedimentos metodológicos descritos no Capítulo 4, Seção 4.2.1.3.

Tabela A - Distâncias entre a posição geográfica do centro médio (1938) e do marco zero das cidades.

Cidades	Distância entre os pontos (m)
Araçatuba	272,727
Botucatu	281,337
Bragança Paulista	284,929
Catanduva	519,254
Franca	684,135
Itapetininga	372,814
Jundiaí-Várzea Paulista	465,128
Limeira	504,629
Piracicaba	241,403
Presidente Prudente	366,241
Rio Claro	544,876
São Carlos	216,430
São José do Rio Preto	438,156
Taubaté-Tremembé	399,436

Os resultados obtidos para o método DOC, considerando o marco zero como centro urbano, não apresentaram mudanças significativas se comparados aos valores de D obtidos a partir do centro médio da forma urbana para o ano de 1938 (Figura B). A maior alteração nos valores de D, com o afastamento do centro urbano, ocorreu em 1938, para Franca. Em São Carlos, a forma urbana atingiu um nível a mais de distanciamento a partir do marco zero como centro urbano.

De fato, a interferência quanto à utilização do centro médio da forma de 1938 em detrimento do marco zero nesta pesquisa, mostrou-se mínima, em vista da escala utilizada. No entanto, sugere-se a utilização dos dados de marco zero para futuros trabalhos que adotem este método de cálculo de D, sobretudo se forem utilizadas maiores escalas de trabalho, as quais

deverão apontar maiores diferenças nos resultados, e conseqüentemente, na forma de análise da expansão urbana.

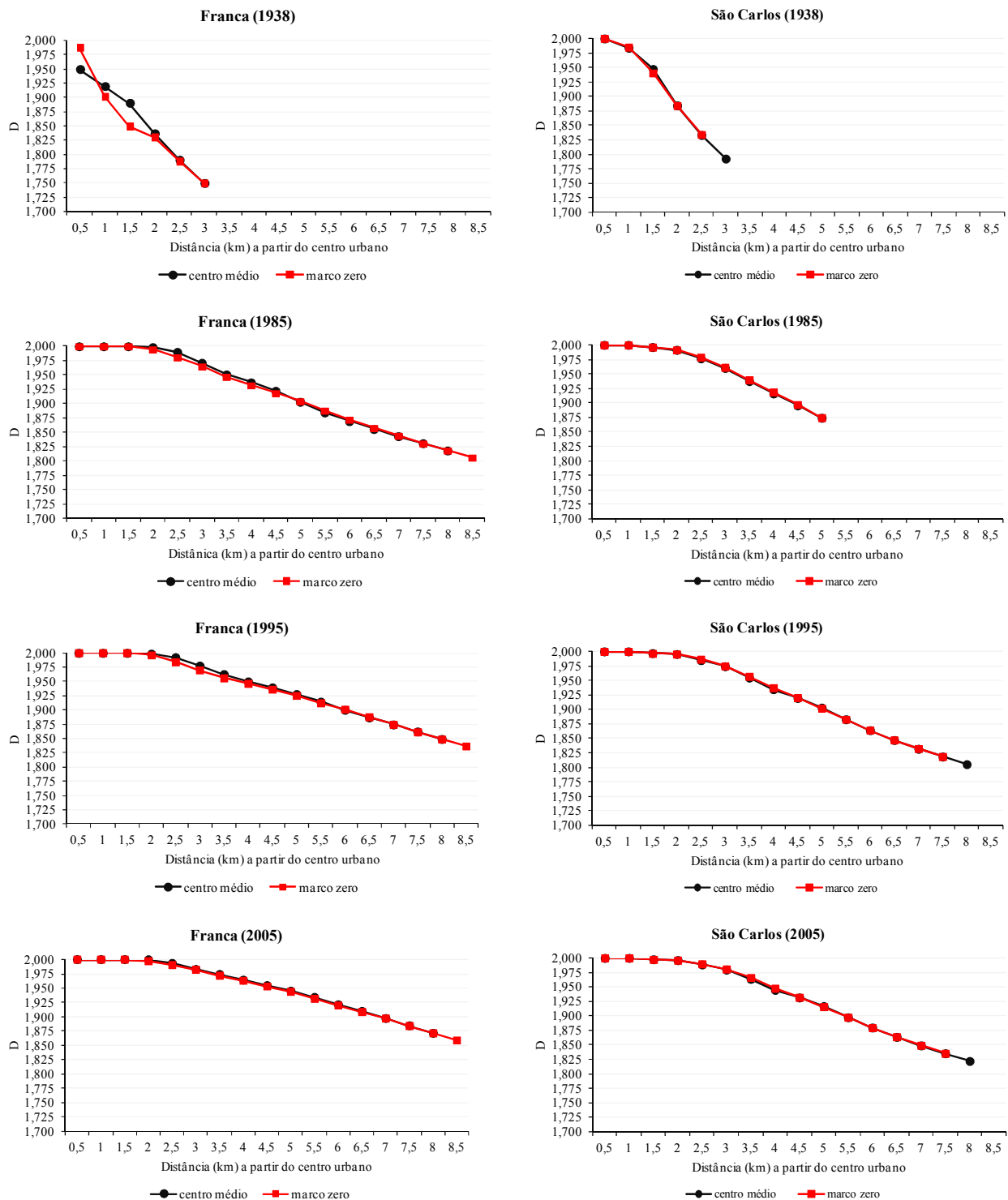


Figura B - Comparação das assinaturas fractais para cada data de análise (1938-2005), obtidas a partir do centro médio da forma de 1938 e do marco zero (IBGE), para as cidades de Franca e São Carlos.

Apêndice F - Sobreposição dos círculos às áreas urbanizadas para o ano de 2005 e número de círculos utilizados em cada data de análise.

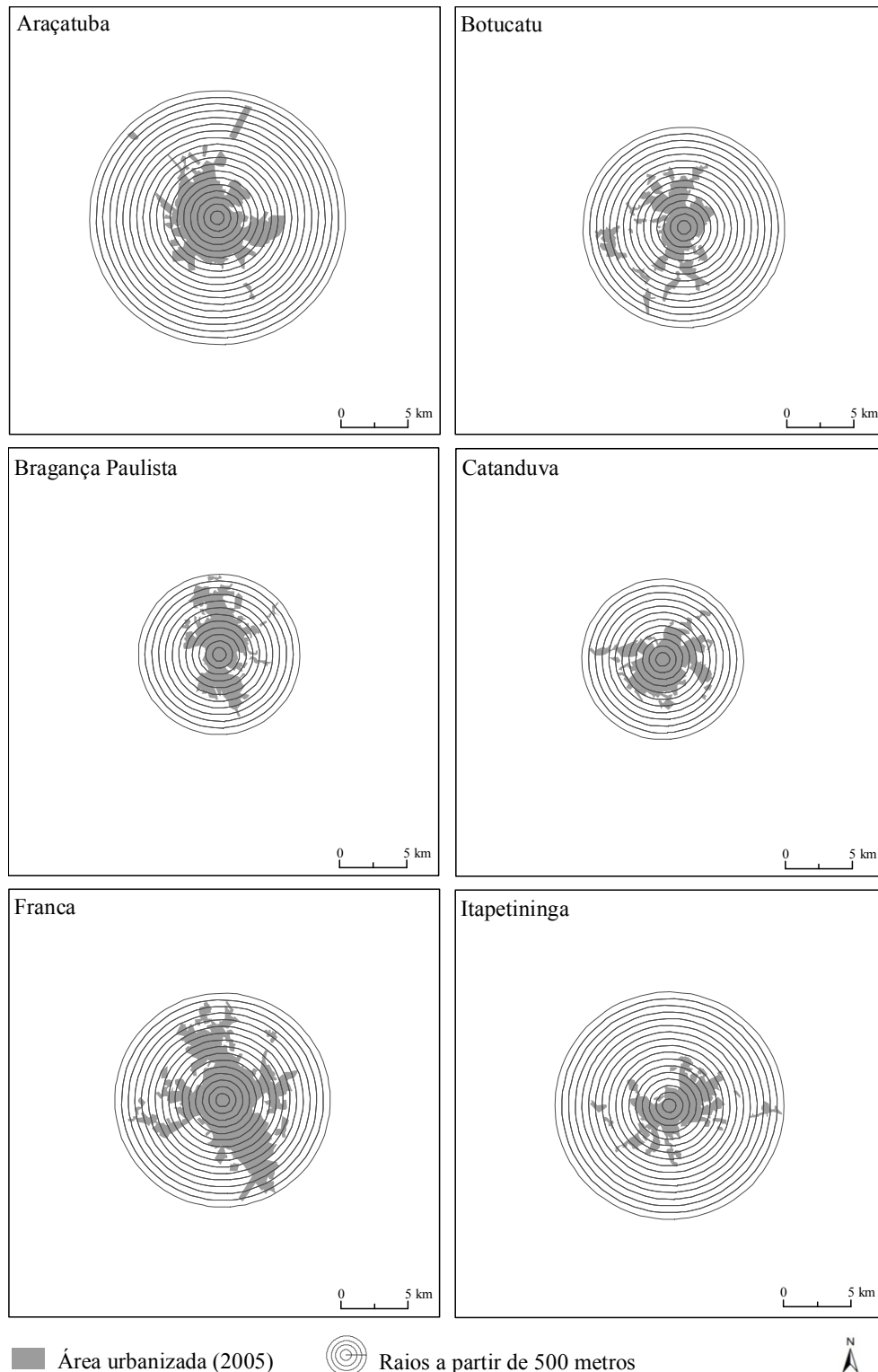
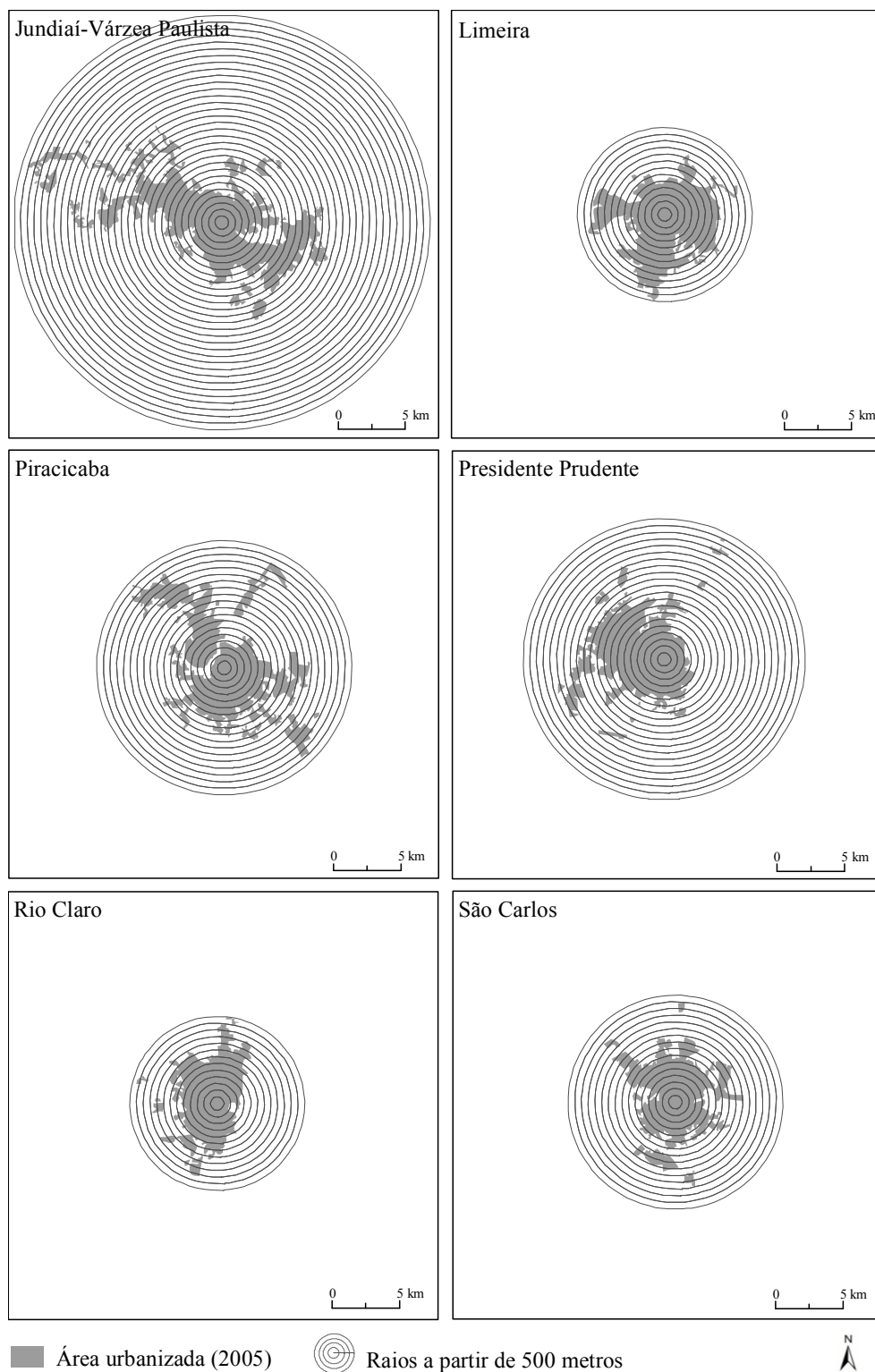


Figura A - Sobreposição dos círculos às áreas urbanizadas no ano de 2005.



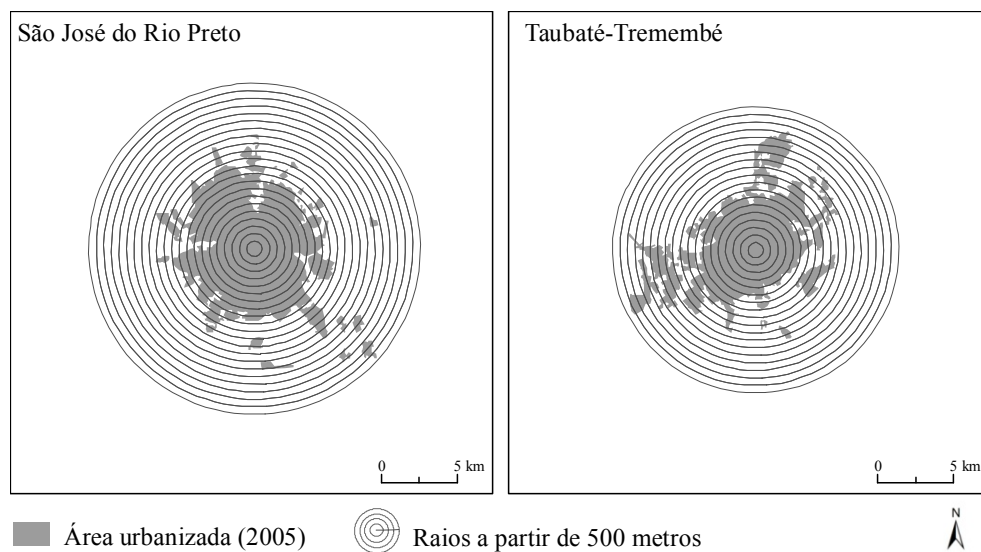


Figura A - Sobreposição dos círculos às áreas urbanizadas no ano de 2005 (Continuação).

Tabela A - Número de círculos utilizados no módulo *overlay* em cada data de análise.

Cidade	1938	1985	1995	2005
Araçatuba	4	19	19	19
Botucatu	5	14	15	15
Bragança Paulista	5	11	12	12
Catanduva	4	12	12	12
Franca	6	16	16	16
Itapetininga	6	12	17	17
Jundiaí-Várzea Paulista	5	22	30	31
Limeira	4	10	12	13
Piracicaba	6	18	18	19
Presidente Prudente	5	19	19	21
Rio Claro	7	13	13	13
São Carlos	6	10	16	16
São José do Rio Preto	4	15	21	22
Taubaté-Tremembé	5	19	19	19

Apêndice G - Tabelas de cálculo de D pelo método perímetro-resolução (PRE) para as áreas urbanizadas totais e manchas principais.

Valores de log para as cinco resoluções:

Raio (metros)	logR
480	2,681241237
240	2,380211242
120	2,079181246
60	1,778151250
30	1,477121255

1.Araçatuba

Área urbanizada total

Tabela A1 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Araçatuba (1938-2005)

R	P (1938)	Log P (1938)	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	11540,516	4,062225227	61547,268	4,789208780	69241,044	4,840363607	84627,714	4,927512610
240	13944,656	4,144407805	75491,778	4,877899654	80781,120	4,907309870	100495,594	5,002147022
120	15120,000	4,179551791	87359,998	4,941312615	92879,998	4,967922197	108959,998	5,037267087
60	14880,000	4,172602931	89279,998	4,950754172	96719,998	4,985516279	111239,998	5,046260972
30	15060,000	4,177824972	92819,998	4,967641555	98219,998	4,992199921	113159,997	5,053692927

R=resolução espacial e P=perímetro, Dados em metros.

Tabela A2 - Resultado da regressão linear: Araçatuba (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1938	$Y=4,326484-0,086169x$	-0,826154	1,086169
1985	$Y=5,202166-0,142750x$	-0,927245	1,142750
1995	$Y=5,202422-0,126857x$	-0,938322	1,126857
2005	$Y=5,218147-0,098487x$	-0,903135	1,098487

r= coeficiente de correlação; 1-D= dimensão fractal

Mancha principal

Tabela A3 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Araçatuba (1938-2005)

R	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	38467,116	4,585089627	53854,080	4,731218611	63471,226	4,802576887
240	49045,800	4,690601823	63471,079	4,802575881	77415,442	4,888827598
120	55919,999	4,747567155	72239,998	4,858777725	83279,998	4,920540706
60	57359,999	4,758609135	75359,998	4,877140878	85679,998	4,932879448
30	60059,999	4,778585321	76559,998	4,884001913	87119,998	4,940117857

R=resolução espacial e P=perímetro. Dados em metros.

Tabela A4 - Resultado da regressão linear: Araçatuba (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1985	$Y=5,026353-0,15114x$	-0,920456	1,151147
1995	$Y=5,093295-0,126277x$	-0,936566	1,126277
2005	$Y=5,1174410-0,106014x$	-0,896105	1,106014

r= coeficiente de correlação 1-D= dimensão fractal

2. Botucatu

Área urbanizada total

Tabela B1 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Botucatu (1938-2005)

R	P (1938)	Log P (1938)	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	15366,374	4,186571399	53796,111	4,730750881	69151,445	4,839801260	78775,441	4,896390843
240	17778,228	4,249888472	75925,064	4,880385167	87936,203	4,944167709	103799,494	5,016195236
120	20640,000	4,314709693	87599,998	4,942504096	100319,998	5,001387515	115439,997	5,062356307
60	22559,999	4,353339076	94559,998	4,975707454	108119,998	5,033906029	122279,997	5,087355419
30	23099,999	4,363611961	96419,998	4,984167118	109919,998	5,041076712	123179,997	5,090540189

Tabela B2 - Resultado da regressão linear: Botucatu (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1938	$Y=4,609636-0,151989x$	-0,969272	1,151989
1985	$Y=5,318604-0,200031x$	-0,911772	1,200031
1995	$Y=5,312086-0,163535x$	-0,935048	1,163535
2005	$Y=5,347911-0,152629x$	-0,900345	1,152629

Mancha principal

Tabela B3 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Botucatu (1938-2005)

R	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	32665,277	4,514086345	46099,123	4,663692663	53790,591	4,730706316
240	39402,532	4,595524130	53338,734	4,727042703	67275,950	4,827859839
120	47759,999	4,679064309	62399,999	4,795184583	72959,998	4,863084813
60	51839,999	4,714664984	66119,999	4,820332838	77639,998	4,890085516
30	52379,999	4,719165486	67379,998	4,828530994	78239,998	4,893428831

Tabela B4 - Resultado da regressão linear: Botucatu (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1985	$Y=5,010082-0,175829x$	-0,949133	1,175829
1995	$Y=5,059095-0,140507x$	-0,953106	1,140507
2005	$Y=5,108793-0,128782x$	-0,914173	1,128782

3. Bragança Paulista

Área urbanizada total

Tabela C1 - Valores de perímetro e respectivo para cada resolução espacial: Bragança Paulista (1938-2005)

R	P (1938)	Log P (1938)	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	10585,714	4,024720156	47155,714	4,673534325	53880,000	4,731427587	61585,714	4,789479981
240	17316,429	4,238458337	63985,714	4,806083020	75529,286	4,878115379	77929,285	4,891700692
120	20640,000	4,314709693	73679,998	4,867349605	86639,998	4,937718434	94319,998	4,974603783
60	21000,000	4,322219295	79319,998	4,899382695	93359,998	4,970160834	101159,998	5,005008812
30	21420,000	4,330819466	80759,998	4,907196300	94679,998	4,976258240	103499,998	5,014940341

Tabela C2 - Resultado da regressão linear: Bragança Paulista (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1938	$Y=4,726877-0,231193x$	-0,851865	1,231193
1985	$Y=5,217926-0,186235x$	-0,918941	1,186235
1995	$Y=5,300515-0,193239x$	-0,907941	1,193239
2005	$Y=5,324853-0,187432x$	-0,941547	1,187432

Mancha principal

Tabela C3 - Valores de perímetro e respectivo para cada resolução espacial: Bragança Paulista (1938-2005)

R	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	38494,286	4,585396269	50991,428	4,707497174	51000,000	4,707570176
240	52922,143	4,723637422	63987,857	4,806097566	63023,571	4,799503007
120	59279,999	4,772908188	73679,998	4,867349605	76079,998	4,881270493
60	64199,999	4,807535021	80039,998	4,903307069	81719,998	4,912328347
30	64919,999	4,812378504	81299,998	4,910090535	83099,998	4,919601013

Tabela C4 - Resultado da regressão linear: Bragança Paulista (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1985	$Y=5,111866-0,178674x$	-0,908479	1,178674
1995	$Y=5,185868-0,166892x$	-0,943254	1,166892
2005	$Y=5,214877-0,178350x$	-0,943703	1,178350

4.Catanduva

Área urbanizada total

Tabela D1 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Catanduva (1938-2005)

R	P (1938)	Log P (1938)	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	16451,613	4,216208485	30967,743	4,490909554	40645,163	4,609008870	54193,550	4,733947601
240	16320,000	4,212720154	46079,999	4,663512461	57119,999	4,756788191	79199,998	4,898725171
120	17520,000	4,243534102	52559,999	4,720655348	63119,999	4,800166983	88079,998	4,944877296
60	17640,000	4,246498581	54839,999	4,739097438	65519,999	4,816373882	91079,998	4,959423012
30	18060,000	4,256717746	56819,999	4,754501222	67199,998	4,827369260	93299,998	4,969881634

Tabela D2 - Resultado da regressão linear: Catanduva (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1938	$Y=4,314425-0,038135x$	-0,929253	1,038135
1985	$Y=5,090061-0,200235x$	-0,883690	1,200235
1995	$Y=5,104735-0,164869x$	-0,875716	1,164869
2005	$Y=5,269208-0,176914x$	-0,864003	1,176914

Mancha principal

Tabela D3 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Catanduva (1938-2005)

R	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	27096,775	4,432917605	38709,679	4,587819570	46451,614	4,667000809
240	33599,999	4,526339264	50879,999	4,706547094	65279,999	4,814780139
120	38399,999	4,584331213	56879,999	4,754959580	74399,998	4,871572924
60	39359,999	4,595055079	58919,999	4,770262731	75839,998	4,879898313
30	40919,999	4,611935614	60359,999	4,780749224	77819,998	4,891091215

Tabela D4 - Resultado da regressão linear: Catanduva (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1985	$Y=4,844869-0,141764x$	-0,924393	1,141764
1995	$Y=5,030584-0,149346x$	-0,897507	1,149346
2005	$Y=5,179399-0,170514x$	-0,872395	1,170514

5. Franca

Área urbanizada total

Tabela E1 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Franca (1938-2005)

R	P (1938)	Log P (1938)	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	17306,676	4,238213663	102906,822	5,012444166	125966,250	5,100254201	124075,568	5,093686272
240	19228,235	4,283939421	115348,876	5,062013367	147557,646	5,168961718	150432,512	5,177341708
120	21600,000	4,334453751	123359,997	5,091174350	166319,996	5,220944466	168959,996	5,227783891
60	22559,999	4,353339076	130319,997	5,115011061	175319,996	5,243831452	176639,996	5,247089046
30	23819,999	4,376941739	132299,997	5,121559834	178499,996	5,251638211	179939,996	5,255127706

Tabela E2 - Resultado da regressão linear: Franca (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1938	$Y=4,556947-0,115223x$	-0,980361	1,115223
1985	$Y=5,267776-0,090100x$	-0,961092	1,090100
1995	$Y=5,457957-0,125449x$	-0,947128	1,125449
2005	$Y=5,471391-0,130429x$	-0,929470	1,130429

Mancha Principal

Tabela E3 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Franca (1938-2005)

R	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	84634,629	4,927548095	97121,789	4,987316674	109641,232	5,039973907
240	94679,358	4,976255304	111986,309	5,049164931	132170,694	5,121135170
120	99599,998	4,998259330	124079,997	5,093701774	148799,997	5,172602922
60	104399,998	5,018700490	131279,997	5,118198558	155759,997	5,192455930
30	106859,998	5,028815162	133859,997	5,126650811	158519,996	5,200084053

Tabela E4 - Resultado da regressão linear: Franca (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1985	$Y=5,159121-0,081381x$	-0,961800	1,081381
1995	$Y=5,315160-0,115504x$	-0,955590	1,115504
2005	$Y=5,415684-0,130067x$	-0,932031	1,130067

6. Itapetininga

Área urbanizada total

Tabela F1 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Itapetininga (1938-2005)

R	P (1938)	Log P (1938)	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	12528,676	4,097905178	46266,163	4,665263484	61688,478	4,790204055	70367,050	4,847369344
240	15360,000	4,186391216	68159,998	4,833529569	91199,998	4,959994829	99359,998	4,997211574
120	16560,000	4,219060332	81359,998	4,910410929	107999,998	5,033423747	109919,998	5,041076712
60	17400,000	4,240549248	88319,998	4,946059051	116639,997	5,066847500	115799,997	5,063708548
30	17280,000	4,237543738	92039,998	4,963976601	119459,997	5,077222500	118859,997	5,075035715

Tabela F2 - Resultado da regressão linear: Itapetininga (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1938	$Y=4,426590-0,110765x$	-0,892520	1,110765
1985	$Y=5,354206-0,235842x$	-0,921884	1,235842
1995	$Y=5,455821-0,226186x$	-0,908919	1,226186
2005	$Y=5,365303-0,173348x$	-0,887634	1,173348

Mancha Principal

Tabela F3 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Itapetininga (1938-2005)

R	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	39519,291	4,596809144	43374,870	4,637238186	53980,449	4,732236493
240	55679,999	4,745699219	62879,999	4,798512526	75839,998	4,879898313
120	65279,999	4,814780139	71519,998	4,854427494	84479,998	4,926753895
60	71879,998	4,856608056	78599,998	4,895422535	89759,998	4,953082834
30	74939,998	4,874713677	80339,998	4,904931817	91679,998	4,962274595

Tabela F4 - Resultado da regressão linear: Itapetininga (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1985	$Y=5,238217-0,221479x$	-0,935809	1,221479
1995	$Y=5,254828-0,210045x$	-0,913281	1,210045
2005	$Y=5,259167-0,177145x$	-0,894480	1,177145

7.Jundiaí-Várzea Paulista

Área urbanizada total

Tabela G1 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Jundiaí-Várzea Paulista (1938-2005)

R	P (1938)	Log P (1938)	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	11478,261	4,059876096	143478,262	5,156786107	173130,437	5,238373425	185565,219	5,268496578
240	15416,059	4,187973364	182583,943	5,261462582	226905,112	5,355844280	243766,426	5,386973890
120	16560,000	4,219060332	212639,995	5,327644953	263519,994	5,420813572	282719,994	5,451356523
60	18360,000	4,263872677	227759,995	5,357477445	282719,994	5,451356523	299639,993	5,476599778
30	18480,000	4,266701967	233639,995	5,368547188	288959,994	5,460837720	304379,993	5,483416103

Tabela G2 - Resultado da regressão linear: Jundiaí-Várzea Paulista (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1938	$Y=4,537625-0,162625x$	-0,914286	1,162625
1985	$Y=5,653222-0,172586x$	-0,939129	1,172586
1995	$Y=5,758722-0,179531x$	-0,929785	1,179531
2005	$Y=5,772157-0,172563x$	-0,917827	1,172563

Mancha Principal

Tabela G3 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Jundiaí-Várzea Paulista (1938-2005)

R	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	83217,392	4,920214101	101391,305	5,006000713	116695,653	5,067054679
240	109357,665	5,038849229	123328,468	5,091063337	145970,804	5,164266000
120	122399,997	5,087781407	144719,997	5,160528545	166559,996	5,221570702
60	132599,997	5,122543514	157319,996	5,196783927	176879,996	5,247678720
30	135119,997	5,130719627	160019,996	5,204174255	180599,996	5,256717736

Tabela G4 - Resultado da regressão linear: Jundiaí-Várzea Paulista (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1985	$Y=5,408616-0,167659x$	-0,926537	1,167659
1995	$Y=5,478483-0,166783x$	-0,952719	1,166783
2005	$Y=5,511066-0,153718x$	-0,934074	1,153718

8.Limeira

Área urbanizada total

Tabela H1 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Limeira (1938-2005)

R	P (1938)	Log P (1938)	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	11502,609	4,060796357	51742,608	4,713848315	66121,739	4,820344267	76671,304	4,884632850
240	11537,518	4,062112392	60108,613	4,778936707	88950,656	4,949149155	91841,167	4,963037394
120	14880,000	4,172602931	66719,999	4,824256031	99359,998	4,997211574	101999,998	5,008600163
60	16680,000	4,222196046	69479,998	4,841859797	100919,998	5,003977233	104759,998	5,020195481
30	17220,000	4,236033147	71219,998	4,852601957	104099,998	5,017450721	106799,998	5,028571245

Tabela H2 - Resultado da regressão linear: Limeira (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1938	$Y=4,503384-0,169603x$	-0,951308	1,169603
1985	$Y=5,037432-0,113089x$	-0,946119	1,113089
1995	$Y=5,267774-0,149168x$	-0,877064	1,149168
2005	$Y=5,219319-0,114618x$	-0,916584	1,114618

Mancha Principal

Tabela H3 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Limeira (1938-2005)

R	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	45993,043	4,662692144	64205,217	4,807570318	75711,304	4,879160726
240	53858,102	4,731251044	85583,649	4,932390799	88955,912	4,949174817
120	59519,999	4,774662915	95519,998	4,980094305	98879,998	4,995108449
60	62039,999	4,792671782	97079,998	4,987129759	101519,998	5,006551601
30	63299,999	4,801403703	100259,998	5,001127692	103439,998	5,014688503

Tabela H4 - Resultado da regressão linear: Limeira (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1985	$Y=4,986572-0,112561x$	-0,939295	1,112561
1995	$Y=5,246846-0,146781x$	-0,881120	1,146781
2005	$Y=5,195781-0,109103x$	-0,923666	1,109103

9.Piracicaba

Área urbanizada total

Tabela I1 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Piracicaba (1938-2005)

R	P (1938)	Log P (1938)	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	24014,909	4,380480945	101798,261	5,007740359	139241,653	5,143769170	153639,697	5,186503442
240	29322,353	4,467198818	128340,962	5,108365290	174966,416	5,242954696	189869,518	5,278455248
120	28559,999	4,455758188	144719,997	5,160528545	200639,996	5,302417510	216719,995	5,335898982
60	29999,999	4,477121240	151439,997	5,180240592	211919,995	5,326171935	227879,995	5,357706201
30	30119,999	4,478854953	153839,997	5,187069263	216719,995	5,335898982	233219,995	5,367765782

Tabela I2 - Resultado da regressão linear: Piracicaba (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1938	$Y=4,594628-0,068655x$	-0,797706	1,068655
1985	$Y=5,426154-0,143020x$	-0,915383	1,143020
1995	$Y=5,593123-0,155292x$	-0,930973	1,155292
2005	$Y=5,610396-0,146755x$	-0,933048	1,146755

Mancha Principal

Tabela I3 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Piracicaba (1938-2005)

R	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	61464,358	4,788623350	68190,713	4,833725231	100840,815	5,003636347
240	86523,208	4,937132613	93250,908	4,969653069	128822,245	5,109990863
120	94319,998	4,974603783	101279,998	5,005523684	143519,997	5,156912417
60	99719,998	4,998782261	108719,998	5,036309436	152159,997	5,182300491
30	101639,998	5,007064648	110279,998	5,042496750	154859,997	5,189939247

Tabela I4 - Resultado da regressão linear: Piracicaba (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1985	$Y=5,285572-0,165609x$	-0,880383	1,165609
1995	$Y=5,311972-0,160847x$	-0,896033	1,160847
2005	$Y=5,435854-0,147797x$	-0,919552	1,147797

10. Presidente Prudente

Área urbanizada total

Tabela J1 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Presidente Prudente (1938-2005)

R	P (1938)	Log P (1938)	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	8670,643	3,938051305	71232,313	4,852677047	84731,907	4,928046981	100166,985	5,000724602
240	11050,127	4,043367269	94657,215	4,976153723	110033,418	5,041524604	122046,583	5,086525625
120	13920,000	4,143639235	107999,998	5,033423747	125279,997	5,097881734	139439,997	5,144387365
60	14280,000	4,154728207	113639,997	5,055531214	133799,997	5,126456104	147599,997	5,169086349
30	14880,000	4,172602931	116639,997	5,066847500	137279,997	5,137607261	149459,997	5,174524969

Tabela J2 - Resultado da regressão linear: Presidente Prudente (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1938	$Y=4,491399-0,192826x$	-0,927681	1,192826
1985	$Y=5,347602-0,168660x$	-0,913438	1,168660
1995	$Y=5,414446-0,167442x$	-0,929160	1,167442
2005	$Y=5,412157-0,142896x$	-0,934211	1,142896

Mancha Principal

Tabela J3 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Presidente Prudente (1938-2005)

R	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	48113,853	4,682270137	57771,755	4,761715561	71271,349	4,852914979
240	61986,836	4,792299469	74474,937	4,872010145	91778,228	4,962739668
120	69119,998	4,839603717	80879,998	4,907841132	101279,998	5,005523684
60	73799,998	4,868056350	87599,998	4,942504096	108239,998	5,034387776
30	75359,998	4,877140878	90119,998	4,954821173	108899,998	5,037027872

Tabela J4 - Resultado da regressão linear: Presidente Prudente (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1985	$Y=5,133389-0,154635x$	-0,924265	1,154635
1995	$Y=5,203220-0,151714x$	-0,931612	1,151714
2005	$Y=5,282335-0,146123x$	-0,911292	1,146123

11.Rio Claro

Área urbanizada total

Tabela L1 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Rio Claro (1938-2005)

R	P (1938)	Log P (1938)	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	18240,000	4,261024834	44159,999	4,645029055	56639,999	4,753123237	60479,999	4,781611775
240	24959,999	4,397244564	56159,999	4,749427091	78239,998	4,893428831	77759,998	4,890756241
120	26639,999	4,425534204	67679,998	4,830460337	89519,998	4,951920064	88799,998	4,948412956
60	27959,999	4,446537152	70679,998	4,849296529	94679,998	4,976258240	91319,998	4,960565893
30	28979,999	4,462098366	72419,998	4,859858508	96599,998	4,984977117	93839,998	4,972387990

Tabela L2 - Resultado da regressão linear: Rio Claro (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1938	$Y=4,710292-0,149965x$	-0,885616	1,149965
1985	$Y=5,152554-0,175905x$	-0,926784	1,175905
1995	$Y=5,289429-0,181556x$	-0,902966	1,181556
2005	$Y=5,222497-0,149939x$	-0,906800	1,149939

Mancha Principal

Tabela L3 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Rio Claro (1938-2005)

R	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	35519,999	4,550472945	45119,999	4,654369081	50879,999	4,706547094
240	44159,999	4,645029055	61439,999	4,788451200	60959,999	4,785044951
120	51119,999	4,708590837	69119,998	4,839603717	70079,998	4,845594081
60	52199,999	4,717670495	72599,998	4,860936609	72119,998	4,858055706
30	53879,999	4,731427579	73799,998	4,868056350	74219,998	4,870520938

Tabela L4 - Resultado da regressão linear: Rio Claro (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1985	$Y=4,970778-0,144355x$	-0,917270	1,144355
1995	$Y=5,147531-0,166050x$	-0,894476	1,166050
2005	$Y=5,090090-0,133195x$	-0,931841	1,133195

12.São Carlos

Área urbanizada total

Tabela M1 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: São Carlos (1938-2005)

R	P (1938)	Log P (1938)	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	14468,663	4,160428401	55933,551	4,747672392	77154,795	4,887362922	88732,947	4,948084906
240	16800,000	4,225309282	70559,998	4,848558560	95039,998	4,977906418	110399,998	5,042969066
120	20880,000	4,319730494	79199,998	4,898725171	107279,998	5,030518757	121199,997	5,083502609
60	21960,000	4,341632336	82439,998	4,916137973	111359,998	5,046729214	126839,997	5,103256223
30	22499,999	4,352182499	84179,998	4,925208911	114359,997	5,058274135	129659,997	5,112806007

Tabela M2 - Resultado da regressão linear: São Carlos (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1938	$Y=4,625084-0,166040x$	-0,946696	1,166040
1985	$Y=5,159182-0,140402x$	-0,913897	1,140402
1995	$Y=5,283787-0,136413x$	-0,925526	1,136413
2005	$Y=5,327305-0,129465x$	-0,918361	1,129465

Mancha Principal

Tabela M3 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: São Carlos (1938-2005)

R	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	49184,999	4,691832667	52079,537	4,716667115	66550,214	4,823149456
240	62399,999	4,795184583	67679,998	4,830460337	84959,998	4,929214494
120	71279,998	4,852967679	77999,998	4,892094592	94799,998	4,976808328
60	74279,998	4,870871883	81239,998	4,909769904	99479,998	4,997735768
30	75959,998	4,880584945	83639,998	4,922414014	101579,998	5,006808200

Tabela M4 - Resultado da regressão linear: São Carlos (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1985	$Y=5,131303-0,150547x$	-0,917961	1,150547
1995	$Y=5,193273-0,163041x$	-0,916853	1,163041
2005	$Y=5,247772-0,144782x$	-0,914881	1,144782

13.São José do Rio Preto

Área urbanizada total

Tabela N1 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: São José do Rio Preto (1938-2005)

R	P (1938)	Log P (1938)	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	15394,286	4,187359551	75034,285	4,875259749	104850,000	5,020568435	126021,428	5,100444396
240	17796,429	4,250332866	89005,714	4,949417888	134220,000	5,127817234	164528,571	5,216241326
120	19920,000	4,299289334	105119,998	5,021685344	155039,997	5,190443751	182879,996	5,262166204
60	20760,000	4,317227349	111719,998	5,048130919	163199,996	5,212720144	189599,996	5,277838324
30	20760,000	4,317227349	114479,997	5,058729609	166919,996	5,222508366	194639,996	5,289232087

Tabela N2 - Resultado da regressão linear: São José do Rio Preto (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1938	$Y=4,499887-0,108504x$	-0,925961	1,108504
1985	$Y=5,312266-0,154686x$	-0,952156	1,154686
1995	$Y=5,492408-0,162370x$	-0,924443	1,162370
2005	$Y=5,532516-0,145890x$	-0,900174	1,145890

Mancha Principal

Tabela N3 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: São José do Rio Preto (1938-2005)

R	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	59648,571	4,775600044	85607,142	4,932509998	84651,428	4,927634289
240	73129,286	4,864091333	103907,143	5,016645404	100056,428	5,000244995
120	85439,998	4,931661230	123839,997	5,092860933	112319,997	5,050457083
60	90959,998	4,958850442	131039,997	5,117403874	118079,997	5,072176333
30	92519,998	4,966235615	133739,997	5,126261309	120479,997	5,080914948

Tabela N4 - Resultado da regressão linear: São José do Rio Preto (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1985	$Y=5,228077-0,158134x$	-0,940558	1,158134
1995	$Y=5,394373-0,162197x$	-0,942141	1,162197
2005	$Y=5,287706-0,125733x$	-0,943735	1,125733

14. Taubaté-Tremembé

Área urbanizada total

Tabela O1 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Taubaté-Tremembé (1938-2005)

R	P (1938)	Log P (1938)	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	17329,655	4,238789917	90504,826	4,956671738	133842,756	5,126594871	133842,756	5,126594871
240	19200,000	4,283301229	125759,997	5,099542518	172799,996	5,237543728	174239,996	5,241147852
120	23039,999	4,362482456	155039,997	5,190443751	200159,996	5,301377284	199199,996	5,299289325
60	23519,999	4,371437299	167639,996	5,224377642	213239,995	5,328868664	209999,995	5,322219284
30	23699,999	4,374748328	170699,996	5,232233511	216539,995	5,335538122	213299,995	5,328990845

Tabela O2 - Resultado da regressão linear: Taubaté-Tremembé (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1938	$Y=4,574836-0,119607x$	-0,923498	1,119607
1985	$Y=5,607531-0,224549x$	-0,924886	1,224549
1995	$Y=5,617691-0,169156x$	-0,925332	1,169156
2005	$Y=5,599229-0,161400x$	-0,913956	1,161400

Mancha Principal

Tabela O3 - Valores de perímetro e respectivo log para cada resolução espacial: Taubaté-Tremembé (1938-2005)

R	P (1985)	Log P (1985)	P (1995)	Log P (1995)	P (2005)	Log P (2005)
480	61622,068	4,789736269	81842,757	4,912980251	86653,791	4,937787567
240	84959,998	4,929214494	104639,998	5,019697723	108479,998	5,035349669
120	105599,998	5,023663910	124559,997	5,095378589	124319,997	5,094540991
60	113399,997	5,054613043	131159,997	5,117801398	131279,997	5,118198558
30	116399,997	5,065952969	134039,997	5,127234409	133799,997	5,126456104

Tabela O4 - Resultado da regressão linear: Taubaté-Tremembé (1938-2005)

	Equação	r	1-D
1985	$Y=5,440807-0,225171x$	-0,927842	1,225171
1995	$Y=5,418344-0,174937x$	-0,927925	1,174937
2005	$Y=5,380312-0,152870x$	-0,929533	1,152870

Apêndice H - Tabelas de cálculo de D pelo método perímetro-área (PAR) para as áreas urbanizadas totais e manchas principais.

Tabela A1 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Araçatuba (1938-2005)

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1938	3665700,00	15060,00	15,114530	9,619798	1,089482
1985	29204100,00	92819,9980	17,189820	11,438417	1,169544
1995	35421300,00	98219,9980	17,382824	11,494965	1,163064
2005	43586100,00	113159,9970	17,590249	11,636558	1,165448

Tabela A2 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Araçatuba (1938-2005): mancha principal

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1985	25375500,00	60059,9990	17,049295	11,003099	1,128118
1995	32987700,00	76559,9980	17,311645	11,245830	1,139064
2005	40539600,00	87119,9980	17,517790	11,375042	1,140412

Tabela B1 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Botucatu (1938-2005)

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1938	3783600,00	23099,9990	15,146186	10,047588	1,143693
1985	19813500,00	96419,9980	16,801874	11,476469	1,201077
1995	23363100,00	109919,9980	16,966668	11,607508	1,204858
2005	27880200,00	123179,9970	17,143427	11,721402	1,205722

Tabela B2 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Botucatu (1938-2005): mancha principal

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1985	15678000,00	52379,9990	16,567769	10,866280	1,144389
1995	18607500,00	67379,9980	16,739075	11,118103	1,162765
2005	22221900,00	78239,9980	16,916589	11,267536	1,168231

Tabela C1 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Bragança Paulista (1938-2005)

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1938	2966400,00	21420,00	14,902860	9,972080	1,152233
1985	17364600,00	80759,9980	16,669944	11,299237	1,189319
1995	23922000,00	94679,9980	16,990309	11,458258	1,185613
2005	28534500,00	103499,9980	17,166624	11,547327	1,183813

Tabela C2 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Bragança Paulista (1938-2005): mancha principal

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1985	15823800,00	64919,9990	16,577026	11,080911	1,169645
1995	22978800,00	81299,9980	16,950083	11,305901	1,170449
2005	27135900,00	83099,9980	17,116368	11,327800	1,161637

Tabela D1 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Catanduva (1938-2005)

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1938	5378400,00	18060,00	15,497901	9,801455	1,085974
1985	17822700,00	56819,9990	16,695983	10,947644	1,145347
1995	21966300,00	67199,9980	16,905020	11,115428	1,151035
2005	25135200,00	93299,9980	17,039780	11,443575	1,180447

Tabela D2 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Catanduva (1938-2005): mancha principal

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1985	16636500,00	40919,9990	16,627110	10,619374	1,110606
1995	21462300,00	60359,9990	16,881808	11,008082	1,139900
2005	23813100,00	77819,9980	16,985746	11,262154	1,162841

Tabela E1 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Franca (1938-2005)

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1938	3794400,00	23819,9990	15,149037	10,078281	1,147530
1985	39297600,00	132299,9970	17,486674	11,792827	1,190224
1995	51801300,00	178499,9960	17,762926	12,092344	1,205438
2005	63193500,00	179939,9960	17,961712	12,100379	1,192991

Tabela E2 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Franca (1938-2005): mancha principal

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1985	36755100,00	106859,9980	17,419788	11,579275	1,170276
1995	46503000,00	133859,9970	17,655027	11,804550	1,180203
2005	60979500,00	158519,9960	17,926048	11,973636	1,181224

Tabela F1 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Itapetininga (1938-2005)

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1938	3195000,00	17280,00	14,977098	9,757305	1,117842
1985	15561900,00	92039,9980	16,560336	11,429979	1,212981
1995	21296700,00	119459,9970	16,874063	11,690737	1,221335
2005	26206200,00	118859,9970	17,081507	11,685702	1,205913

Tabela F2 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Itapetininga (1938-2005): mancha principal

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1985	14354100,00	74939,9980	16,479546	11,224443	1,193983
1995	18335700,00	80339,9980	16,724361	11,294023	1,184826
2005	23859900,00	91679,9980	16,987710	11,426060	1,182003

Tabela G1 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Jundiaí-Várzea Paulista (1938-2005)

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1938	4147200,00	18480,00	15,237944	9,824444	1,107518
1985	46253700,00	233639,9950	17,649652	12,361537	1,243678
1995	62708400,00	288959,9940	17,954006	12,574044	1,246268
2005	76310100,00	304379,9930	18,150316	12,626032	1,238517

Tabela G2 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Jundiaí-Várzea Paulista (1938-2005): mancha principal

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1985	36875700,00	135119,9970	17,423063	11,813919	1,196991
1995	50024700,00	160019,9960	17,728027	11,983054	1,195481
2005	63269100,00	180599,9960	17,962908	12,104040	1,193320

Tabela H1 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Limeira (1938-2005)

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1938	2449800,00	17220,00	14,711517	9,753827	1,137549
1985	26861400,00	71219,9980	17,106201	11,173529	1,144291
1995	37769400,00	104099,9980	17,447010	11,553107	1,165450
2005	48030300,00	106799,9980	17,687343	11,578713	1,152510

Tabela H2 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Limeira (1938-2005): mancha principal

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1985	26403300,00	63299,9990	17,089000	11,055641	1,131646
1995	37519200,00	100259,9980	17,440363	11,515522	1,161584
2005	47832300,00	103439,9980	17,683212	11,546747	1,149164

Tabela I1 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Piracicaba (1938-2005)

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1938	9711000,00	30119,9990	16,088770	10,312945	1,109675
1985	38421900,00	153839,9970	17,464138	11,943668	1,209035
1995	49689900,00	216719,9950	17,721312	12,286361	1,230165
2005	59544900,00	233219,9950	17,902241	12,359737	1,225930

Tabela I2 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Piracicaba (1938-2005): mancha principal

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1985	33849900,00	101639,9980	17,337447	11,529192	1,170057
1995	38226600,00	110279,9980	17,459042	11,610778	1,171254
2005	49534200,00	154859,9970	17,718174	11,950277	1,192446

Tabela J1 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Presidente Prudente (1938-2005)

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1938	2082600,00	14880,00	14,549128	9,607773	1,130168
1985	33015600,00	116639,9970	17,312491	11,666848	1,187646
1995	42707700,00	137279,9970	17,569890	11,829778	1,188793
2005	49734000,00	149459,9970	17,722199	11,914784	1,188170

Tabela J2 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Presidente Prudente (1938-2005): mancha principal

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1985	28891800,00	75359,9980	17,179068	11,230032	1,146015
1995	36716400,00	90119,9980	17,418734	11,408897	1,150784
2005	45798300,00	108899,9980	17,639758	11,598185	1,157827

Tabela L1 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Rio Claro (1938-2005)

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1938	5769900,00	28979,9990	15,568165	10,274361	1,141826
1985	23661000,00	72419,9980	16,979339	11,190238	1,154809
1995	31026600,00	96599,9980	17,250355	11,478334	1,170067
2005	35233200,00	93839,9980	17,377499	11,449346	1,158170

Tabela L2 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Rio Claro (1938-2005): mancha principal

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1985	22300200,00	53879,9990	16,920106	10,894515	1,123896
1995	29117700,00	73799,9980	17,186857	11,209114	1,143062
2005	33217200,00	74219,9980	17,318578	11,214789	1,135023

Tabela M1 - Cálculo de D pelo perímetro-área para São Carlos (1938-2005)

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1938	5367600,00	22499,9990	15,495891	10,021271	1,114486
1985	26911800,00	84179,9980	17,108075	11,340713	1,163710
1995	34971300,00	114359,9970	17,370038	11,647107	1,181438
2005	40622400,00	129659,9970	17,519830	11,772671	1,185671

Tabela M2 - Cálculo de D pelo perímetro-área para São Carlos (1938-2005): mancha principal

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1985	26050500,00	75959,9980	17,075548	11,237962	1,153892
1995	30721500,00	83639,9980	17,240473	11,334277	1,154027
2005	36367200,00	101579,9980	17,409178	11,528602	1,165168

Tabela N1 - Cálculo de D pelo perímetro-área para São José do Rio Preto (1938-2005)

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1938	4713300,00	20760,00	15,365899	9,940783	1,113438
1985	51371100,00	114479,9970	17,754586	11,648155	1,155967
1995	66571200,00	166919,9960	18,013783	12,025270	1,181204
2005	81614700,00	194639,9960	18,217520	12,178907	1,184861

Tabela N2 - Cálculo de D pelo perímetro-área para São José do Rio Preto (1938-2005): mancha principal

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1985	48426300,00	92519,9980	17,695554	11,435180	1,135753
1995	63412200,00	133739,9970	17,965167	11,803653	1,159729
2005	73749600,00	120479,9970	18,116186	11,699239	1,138534

Tabela O1 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Taubaté-Tremembé (1938-2005)

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1938	4632300,00	23699,9990	15,348564	10,073230	1,131954
1985	38520000,00	170699,9960	17,466688	12,047663	1,220766
1995	55457100,00	216539,9950	17,831120	12,285531	1,222496
2005	66449700,00	213299,9950	18,011956	12,270455	1,208548

Tabela O2 - Cálculo de D pelo perímetro-área para Taubaté-Tremembé (1938-2005): mancha principal

Ano	Área (m ²)	Perímetro (m)	ln A	ln P	D
1985	32694300,00	116399,9970	17,302711	11,664788	1,188079
1995	44226900,00	134039,9970	17,604844	11,805894	1,183720
2005	53760600,00	133799,9970	17,800051	11,804101	1,170537

Apêndice I - Exemplo de tabelas de cálculo para o método da densidade de ocupação (DOC).

Tabela A - Cálculo de D pela densidade de ocupação para Araçatuba (1938).

Raio (R)	Área círculo (Km²)	Área ocup/círc (Km²)	ρ (R)	log R	log ρ (R)	D
500	0,789300	0,717300	0,908779932	2,698970004	-0,041541272	1,984608472
1000	3,154500	2,109600	0,668758916	3,000000000	-0,174730415	1,941756528
1500	7,042500	3,314700	0,470670927	3,176091259	-0,327282627	1,896954275
2000	12,568500	3,665700	0,291657716	3,301029996	-0,535126530	1,837891043

Tabela B - Cálculo de D pela densidade de ocupação para Araçatuba (1985).

Raio (R)	Área círculo (Km²)	Área ocup/círc (Km²)	ρ (R)	log R	log ρ (R)	D
500	0,789300	0,789300	1,000000000	2,698970004	0,000000000	2,000000000
1000	3,154500	3,154500	1,000000000	3,000000000	0,000000000	2,000000000
1500	7,042500	6,861600	0,974313099	3,176091259	-0,011301459	1,996441708
2000	12,568500	11,751300	0,934980308	3,301029996	-0,029197536	1,991155023
2500	19,638900	16,520400	0,841208011	3,397940009	-0,075096600	1,977899374
3000	28,257300	21,975300	0,777685766	3,477121255	-0,109195850	1,968595904
3500	38,463300	25,438500	0,661370709	3,544068044	-0,179555043	1,949336457
4000	50,282100	26,913600	0,535252108	3,602059991	-0,271441614	1,924642673
4500	63,594900	27,316800	0,429543879	3,653212514	-0,366992466	1,899542536
5000	78,527700	27,345600	0,348228714	3,698970004	-0,458135421	1,876145138
5500	95,033700	27,416700	0,288494502	3,740362689	-0,539862458	1,855665746
6000	113,048100	27,557100	0,243764380	3,778151250	-0,613029755	1,837743458
6500	132,729300	27,800100	0,209449609	3,812913357	-0,678920446	1,821941811
7000	153,926100	28,065600	0,182331651	3,845098040	-0,739137935	1,807771368
7500	176,663700	28,334700	0,160387788	3,875061263	-0,794828703	1,794886158
8000	201,089700	28,601100	0,142230557	3,903089987	-0,847007090	1,782990632
8500	226,991700	28,910700	0,127364569	3,929418926	-0,894951370	1,772243330
9000	254,409300	29,203200	0,114788257	3,954242509	-0,940102540	1,762254708
9500	283,554900	29,204100	0,102992754	3,977723605	-0,987193330	1,751819526

Tabela C - Cálculo de D pela densidade de ocupação para Araçatuba (1995).

Raio (R)	Área círculo (Km ²)	Área ocup/circ (Km ²)	ρ (R)	log R	log ρ (R)	D
500	0,789300	0,789300	1,000000000	2,698970004	0,000000000	2,000000000
1000	3,154500	3,154500	1,000000000	3,000000000	0,000000000	2,000000000
1500	7,042500	6,907500	0,980830671	3,176091259	-0,008405962	1,997353363
2000	12,568500	12,048300	0,958610813	3,301029996	-0,018357677	1,994438803
2500	19,638900	17,695800	0,901058613	3,397940009	-0,045246958	1,986684003
3000	28,257300	24,285600	0,859445170	3,477121255	-0,065781825	1,981081527
3500	38,463300	29,035800	0,754896226	3,544068044	-0,122112746	1,965544469
4000	50,282100	31,868100	0,633786178	3,602059991	-0,198057236	1,945015564
4500	63,594900	33,189300	0,521886189	3,653212514	-0,282424196	1,922691550
5000	78,527700	33,376500	0,425028366	3,698970004	-0,371582085	1,899544445
5500	95,033700	33,560100	0,353138939	3,740362689	-0,452054392	1,879141562
6000	113,048100	33,700500	0,298107620	3,778151250	-0,525626923	1,860877215
6500	132,729300	33,943500	0,255734793	3,812913357	-0,592210182	1,844683021
7000	153,926100	34,209000	0,222243011	3,845098040	-0,653171887	1,830128678
7500	176,663700	34,478100	0,195162334	3,875061263	-0,709603997	1,816879283
8000	201,089700	34,744500	0,172781102	3,903089987	-0,762503760	1,804640999
8500	226,991700	35,054100	0,154428995	3,929418926	-0,811271156	1,793539154
9000	254,409300	35,379900	0,139066850	3,954242509	-0,856776382	1,783327305
9500	283,554900	35,421300	0,124918667	3,977723605	-0,903372660	1,772892048

Tabela D - Cálculo de D pela densidade de ocupação para Araçatuba (2005).

Raio (R)	Área círculo (Km ²)	Área ocup/circ (Km ²)	ρ (R)	log R	log ρ (R)	D
500	0,789300	0,789300	1,000000000	2,698970004	0,000000000	2,000000000
1000	3,154500	3,154500	1,000000000	3,000000000	0,000000000	2,000000000
1500	7,042500	6,907500	0,980830671	3,176091259	-0,008405962	1,997353363
2000	12,568500	12,087900	0,961761547	3,301029996	-0,016932591	1,994870513
2500	19,638900	18,113400	0,922322533	3,397940009	-0,035117181	1,989665156
3000	28,257300	25,274700	0,894448514	3,477121255	-0,048444653	1,986067597
3500	38,463300	31,434300	0,817254370	3,544068044	-0,087642749	1,975270580
4000	50,282100	36,103500	0,718018937	3,602059991	-0,143864101	1,960060604
4500	63,594900	39,292200	0,617851431	3,653212514	-0,209115943	1,942758342
5000	78,527700	40,884300	0,520635394	3,698970004	-0,283466311	1,923366150
5500	95,033700	41,445900	0,436117924	3,740362689	-0,360396063	1,903646760
6000	113,048100	41,679000	0,368683773	3,778151250	-0,433345977	1,885302110
6500	132,729300	42,046200	0,316781600	3,812913357	-0,499240052	1,869065986
7000	153,926100	42,373800	0,275286647	3,845098040	-0,560214853	1,854304143
7500	176,663700	42,642900	0,241378959	3,875061263	-0,617300590	1,840699140
8000	201,089700	42,909300	0,213383878	3,903089987	-0,670838396	1,828126331
8500	226,991700	43,218900	0,190398592	3,929418926	-0,720336268	1,816681224
9000	254,409300	43,544700	0,171160017	3,954242509	-0,766597680	1,806132862
9500	283,554900	43,586100	0,153713090	3,977723605	-0,813289146	1,795539050

Apêndice J - Comparação dos métodos de cálculo de D por mínimos quadrados para as manchas urbanas principais.

1. Métodos de cálculo de D X Evolução da expansão urbana (linha – tempo)

Tabela A - Mínimos Quadrados para o Método PRE (1938-2005).

Cidade	1985-1938	1995-1985	2005-1995	SOMA
Araçatuba	0,004222140	0,000618517	0,000410589	0,005251247
Botucatu	0,000568346	0,001247644	0,000137476	0,001953465
Bragança Paulista	0,002758245	0,000138816	0,000131286	0,003028347
Catanduva	0,010738970	0,000057487	0,000448084	0,011244541
Franca	0,001145281	0,001164379	0,000212081	0,002521741
Itapetininga	0,012257590	0,000130736	0,001082410	0,013470736
Jundiaí-V.	0,000025341	0,000000767	0,000170694	0,000196803
Limeira	0,003253790	0,001171008	0,001419632	0,005844430
Piracicaba	0,009400078	0,000022677	0,000170303	0,009593057
Pres. Prudente	0,001458552	0,000008532	0,000031259	0,001498344
Rio Claro	0,000031472	0,000470673	0,001079451	0,001581596
São Carlos	0,000240033	0,000156100	0,000333391	0,000729524
SJRP	0,002463137	0,000016508	0,001329623	0,003809268
Taubaté-T.	0,011143758	0,002523455	0,000486952	0,014154165
SOMA	0,059706734	0,007727299	0,007443231	0,074877264

Tabela B - Mínimos Quadrados para o Método PAR (1938-2005).

Cidade	1985-1938	1995-1985	2005-1995	SOMA
Araçatuba	0,001492722	0,000119822	0,000001817	0,001614361
Botucatu	0,000000484	0,000337696	0,000029873	0,000368053
Bragança Paulista	0,000303161	0,000000647	0,000077653	0,000381462
Catanduva	0,000606702	0,000858172	0,000526275	0,001991150
Franca	0,000517389	0,000098537	0,000001044	0,000616970
Itapetininga	0,005797522	0,000083850	0,000007967	0,005889339
Jundiaí-V.	0,008005368	0,000002280	0,000004671	0,008012319
Limeira	0,000034844	0,000896332	0,000154275	0,001085451
Piracicaba	0,003645992	0,000001433	0,000449113	0,004096538
Pres. Prudente	0,000251138	0,000022744	0,000049595	0,000323476
Rio Claro	0,000321478	0,000367326	0,000064618	0,000753422
São Carlos	0,001552832	0,000000018	0,000124128	0,001676977
SJRP	0,000497936	0,000574845	0,000449220	0,001522001
Taubaté-T.	0,003149984	0,000019004	0,000173787	0,003342775
SOMA	0,026177552	0,003382706	0,002114037	0,031674295

Tabela C - Mínimos Quadrados para o Método DOC (1938-2005).

Cidade	1985-1938	1995-1985	2005-1995	Soma
Araçatuba	0,002797131	0,000054609	0,000257692	0,003109432
Botucatu	0,004896463	0,000814944	0,000000109	0,005711517
Bragança Paulista	0,002862379	0,000540359	0,000372778	0,003775515
Catanduva	0,000080440	0,007794588	0,000142744	0,008017772
Franca	0,003804314	0,000685130	0,000909405	0,005398849
Itapetininga	0,009082291	0,000847018	0,000159236	0,010088545
Jundiaí-V.	0,001396019	0,000043444	0,000080491	0,001519954
Limeira	0,007596631	0,000001411	0,000110999	0,007709042
Piracicaba	0,005916531	0,000004628	0,000312558	0,006233717
Pres. Prudente	0,016893501	0,000109139	0,000932633	0,017935272
Rio Claro	0,007168181	0,000065979	0,000229258	0,007463418
São Carlos	0,006069162	0,000002459	0,000000564	0,006072185
SJRP	0,000997784	0,000302065	0,000010360	0,001310209
Taubaté-T.	0,000306551	0,000456072	0,000465485	0,001228108
SOMA	0,069867377	0,011721845	0,003984311	0,085573533

2. Métodos de cálculo de D X Áreas urbanas (coluna – espaço)

Tabela A - Mínimos Quadrados para o Método PRE (1938-2005).

Cidades	1938	1985	1995	2005	SOMA
Araçatuba - Botucatu	0,004332272	0,000609201	0,000202493	0,000518382	0,005662348
Bragança Paulista - Catanduva	0,037271391	0,001362348	0,000307862	0,000061403	0,039003004
Franca - Itapetininga	0,000019874	0,019627450	0,008938001	0,002216338	0,030801662
Jundiaí-Várzea Paulista - Limeira	0,000048692	0,003035790	0,000400080	0,001990498	0,005475060
Piracicaba - Presidente Prudente	0,015418437	0,000120429	0,000083412	0,000002802	0,015625080
Rio Claro - São Carlos	0,000258406	0,000038341	0,000009054	0,000134259	0,000440059
São José do Rio Preto - Taubaté-Tremembé	0,000123277	0,004493959	0,000162308	0,000736417	0,005515960
SOMA	0,057472349	0,029287517	0,010103209	0,005660099	0,102523175

Tabela B - Mínimos Quadrados para o Método PAR (1938-2005).

Cidades	1938	1985	1995	2005	SOMA
Araçatuba - Botucatu	0,002938843	0,000264755	0,000561760	0,000773907	0,004539266
Bragança Paulista - Catanduva	0,004390278	0,003485647	0,000933259	0,000001448	0,008810632
Franca - Itapetininga	0,000881401	0,000562016	0,000021375	0,000000607	0,001465399
Jundiaí-Várzea Paulista - Limeira	0,000901823	0,004269999	0,001148972	0,001949749	0,008270543
Piracicaba - Presidente Prudente	0,000419974	0,000577991	0,000418994	0,001198494	0,002615453
Rio Claro - São Carlos	0,000747474	0,000899750	0,000120228	0,000908700	0,002676151
São José do Rio Preto - Taubaté-Tremembé	0,000342845	0,002738043	0,000575569	0,001024191	0,004680648
SOMA	0,010622638	0,012798200	0,003780157	0,005857097	0,033058092

Tabela C - Mínimos Quadrados para o Método DOC (1938-2005).

Cidades	1938	1985	1995	2005	SOMA
Araçatuba - Botucatu	0,002340143	0,000978952	0,004519228	0,002584903	0,010423226
Bragança Paulista - Catanduva	0,016877269	0,007289774	0,000683949	0,001123075	0,025974066
Franca - Itapetininga	0,000461189	0,000147540	0,000227262	0,000767290	0,001603281
Jundiaí-Várzea Paulista - Limeira	0,000268118	0,001116963	0,000784988	0,002258618	0,004428688
Piracicaba - Presidente Prudente	0,023528291	0,002862747	0,003819292	0,000184473	0,030394803
Rio Claro - São Carlos	0,000625529	0,000333073	0,000615276	0,000108458	0,001682337
São José do Rio Preto - Taubaté-Tremembé	0,003089121	0,010957099	0,004348123	0,002264228	0,020658572
SOMA	0,047189660	0,023686149	0,014998118	0,009291045	0,095164973

Apêndice K - Assinaturas fractais das cidades para o ano de 2010, comparadas ao ano de 2005.

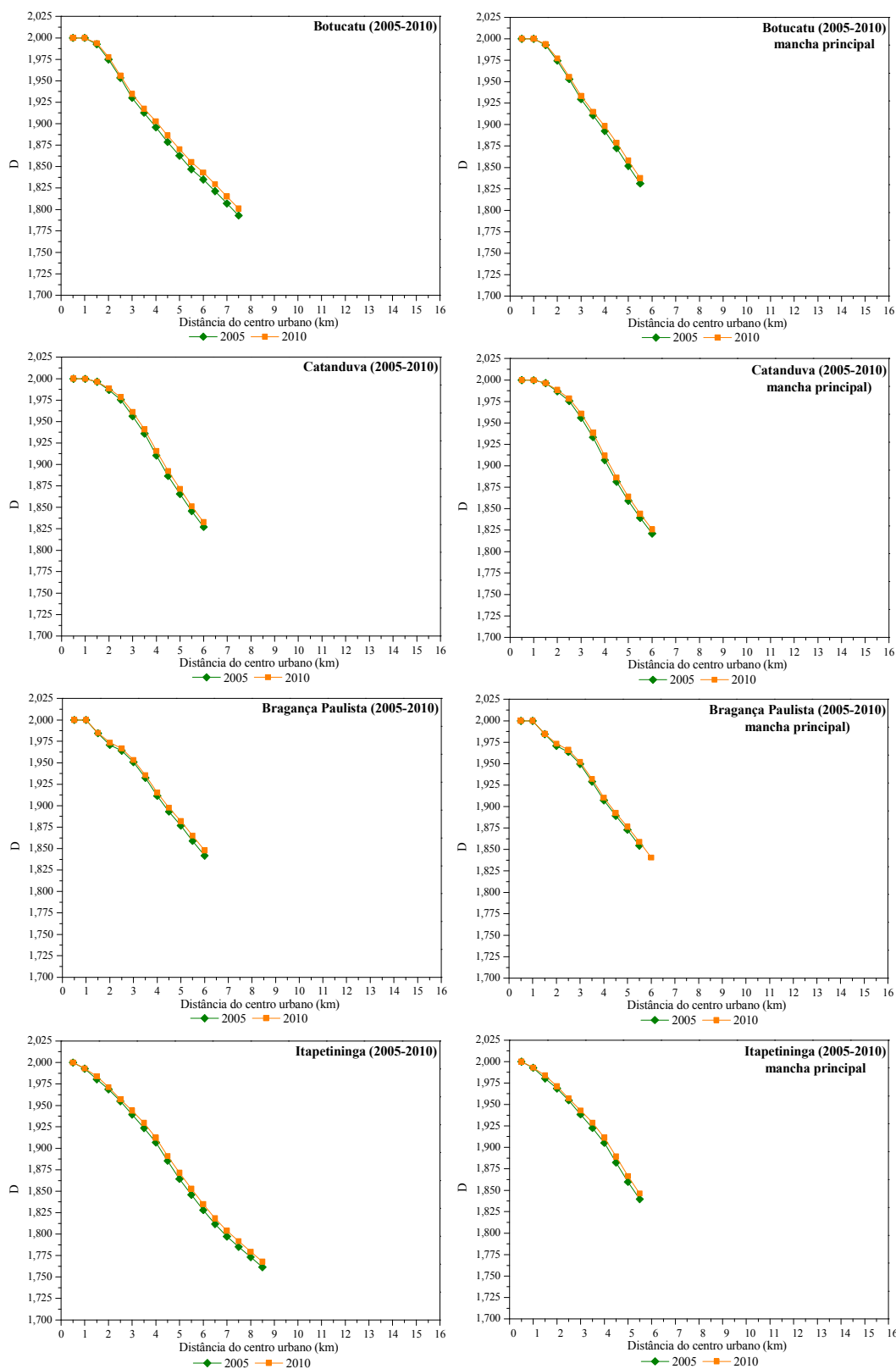


Figura A - Valores de D pelo método DOC com a distância do centro urbano para as áreas urbanizadas totais e respectivas manchas principais para o ano de 2010, comparadas ao ano de 2005.

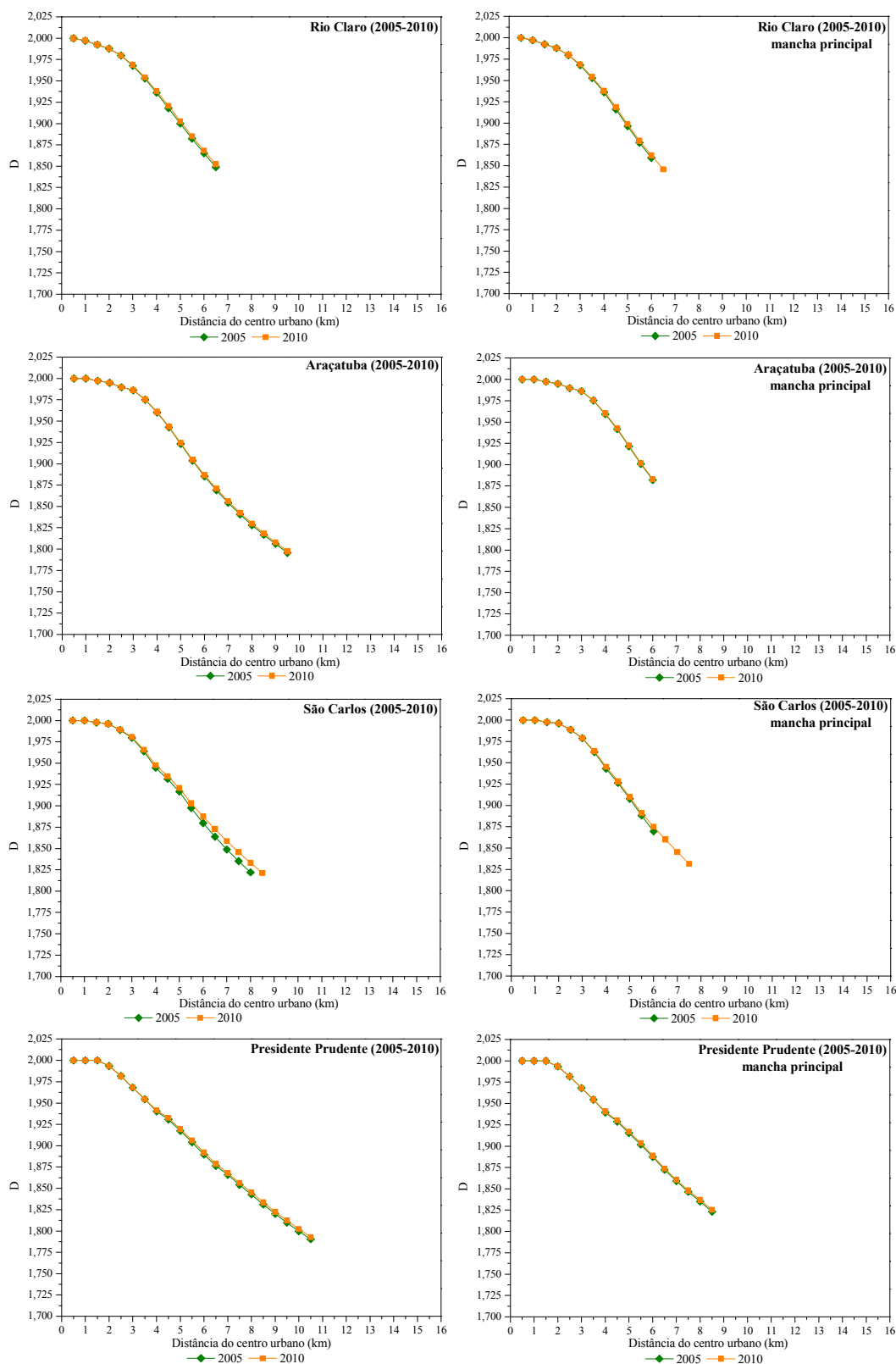


Figura A - Valores de D pelo método DOC com a distância do centro urbano para as áreas urbanizadas totais e respectivas manchas principais para o ano de 2010, comparadas ao ano de 2005 (Continuação).

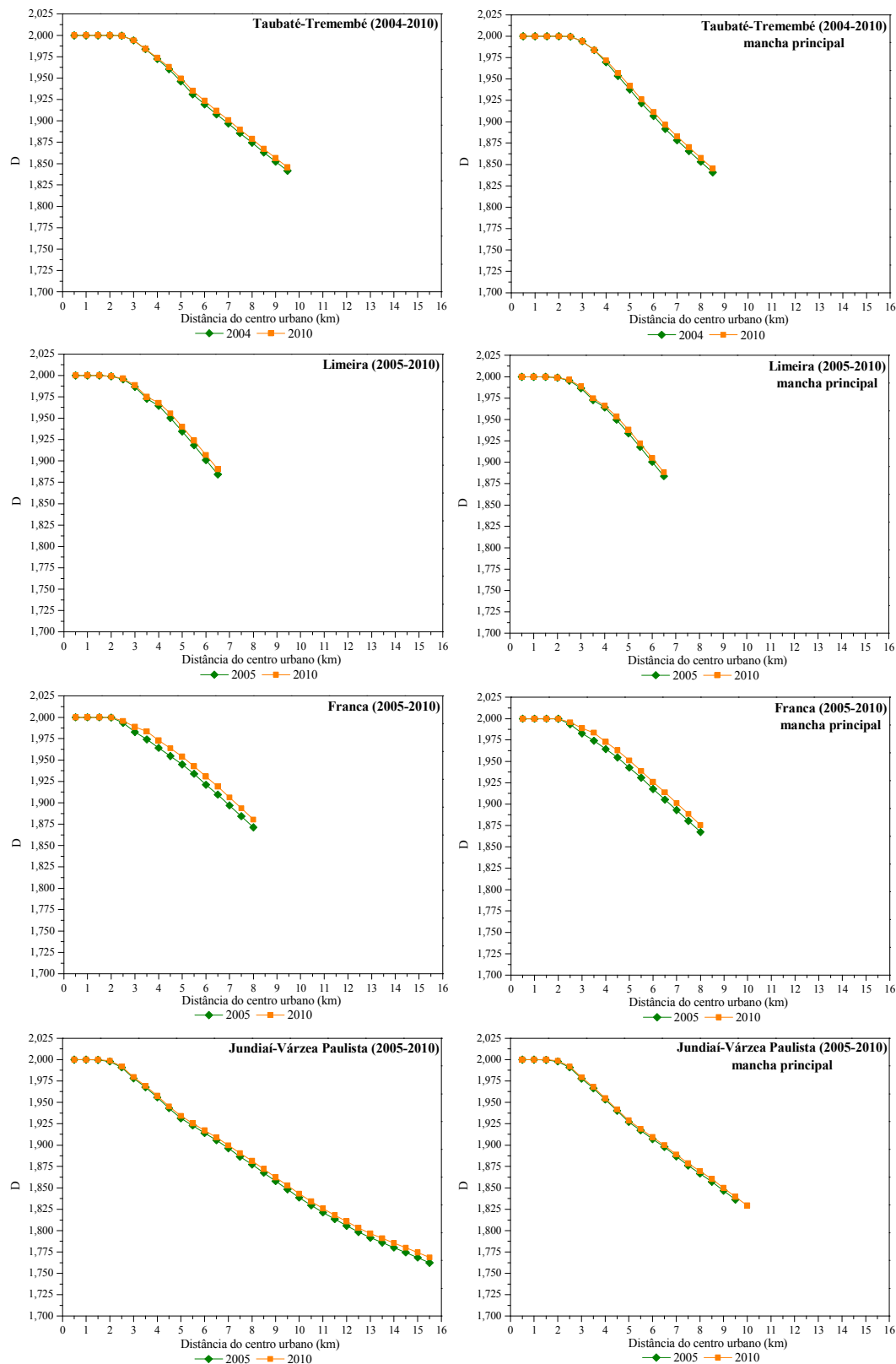


Figura A - Valores de D pelo método DOC com a distância do centro urbano para as áreas urbanizadas totais e respectivas manchas principais para o ano de 2010, comparadas ao ano de 2005 (Continuação).

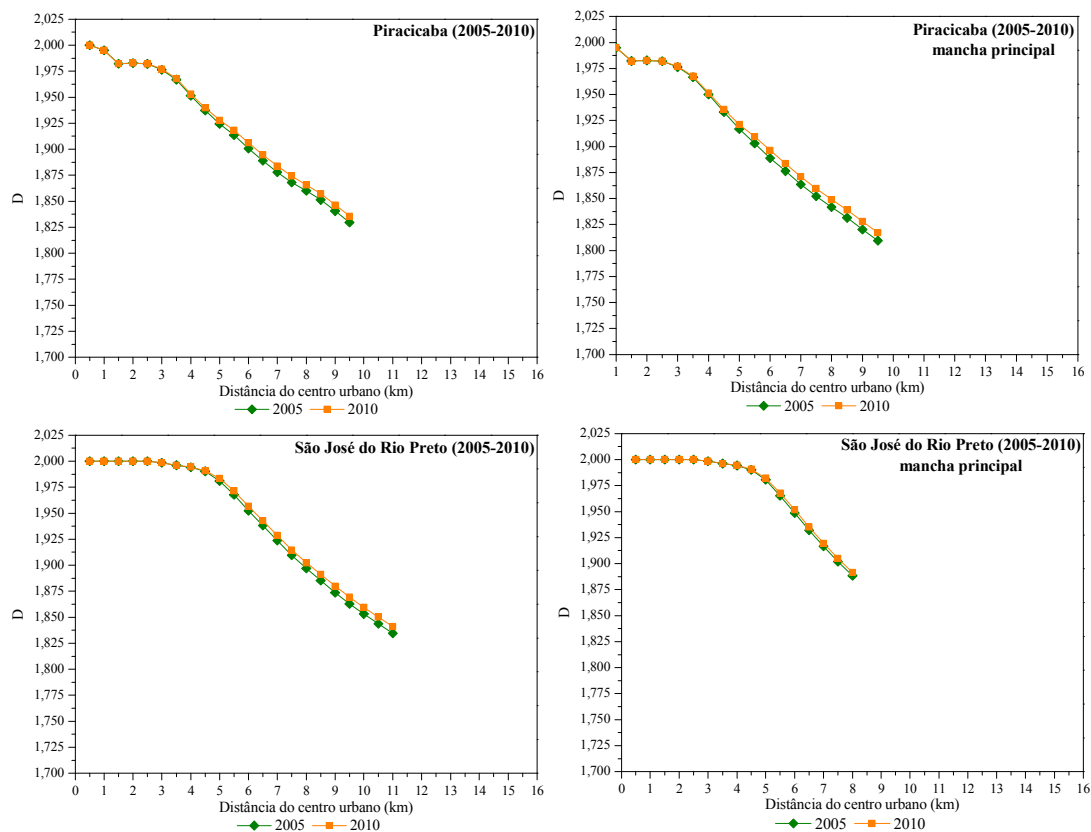


Figura A - Valores de D pelo método DOC com a distância do centro urbano para as áreas urbanizadas totais e respectivas manchas principais para o ano de 2010, comparadas ao ano de 2005 (Continuação).

Apêndice L - Tabelas resultantes da análise de agrupamento, utilizando os valores de D para a mancha principal pelo método DOC e índice de validação para a definição do número de grupos a ser considerado.

1. Agrupamentos para cada data de análise (1938-2005) e respectivo índice de validação

Tabela A - Distâncias consideradas no agrupamento das cidades para 1938.

União de Grupos		Distância	N. de Grupos	RMSSTD
São José do Rio Preto	Piracicaba	0.001	2	-
Presidente Prudente	Itapetininga	0.001	2	-
Rio Claro	Limeira	0.002	2	-
São José do Rio Preto	Catanduva	0.002	3	-
Taubaté-Tremembé	Jundiaí-Várzea Paulista	0.002	2	-
Taubaté-Tremembé	São Carlos	0.004	3	-
Araçatuba	Taubaté-Tremembé	0.007	4	-
Franca	Bragança Paulista	0.007	2	-
Botucatu	Rio Claro	0.011	3	-
Franca	Presidente Prudente	0.041	4	0,013
Araçatuba	Botucatu	0.066	7	0,013
São José do Rio Preto	Araçatuba	0.165	10	0,025
São José do Rio Preto	Franca	0.275	14	0,038

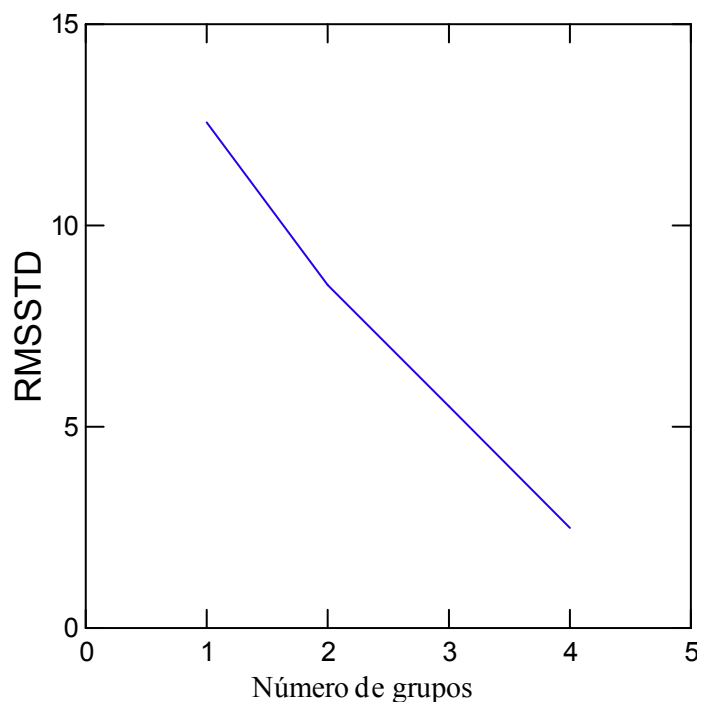


Figura A - Índice de validação para o agrupamento das cidades em 1938.

Tabela B - Distâncias consideradas no agrupamento das cidades para 1985.

União de Grupos		Distância	N. de Grupos	RMSSTD
Rio Claro	Botucatu	0.000	2	-
Itapetininga	Bragança Paulista	0.001	2	-
Catanduva	Araçatuba	0.002	2	-
Taubaté-Tremembé	Itapetininga	0.003	3	-
São Carlos	Limeira	0.004	2	-
Presidente Prudente	Jundiaí-Várzea Paulista	0.006	2	-
Taubaté-Tremembé	Franca	0.009	4	-
Catanduva	São José do Rio Preto	0.010	3	-
Presidente Prudente	Rio Claro	0.015	4	-
Piracicaba	Taubaté-Tremembé	0.020	5	0,007
São Carlos	Catanduva	0.025	5	0,008
Presidente Prudente	São Carlos	0.077	9	0,015
Piracicaba	Presidente Prudente	0.185	14	0,023

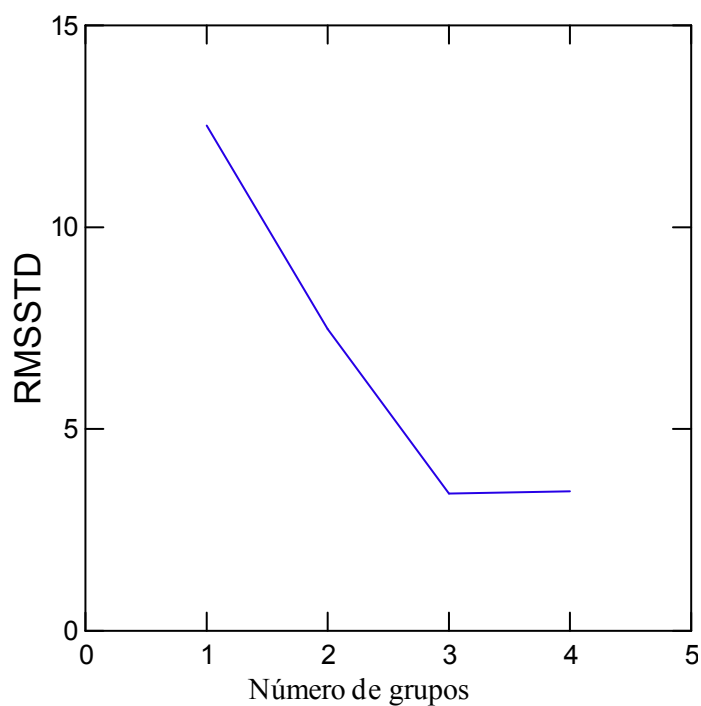


Figura B - Índice de validação para o agrupamento das cidades em 1985.

Tabela C - Distâncias consideradas no agrupamento das cidades para 1995.

União de Grupos		Distância	N. de Grupos	RMSSTD
Taubaté-Tremembé	Bragança Paulista	0.000	2	-
Botucatu	Taubaté-Tremembé	0.000	3	-
Jundiaí-Várzea Paulista	Itapetininga	0.000	2	-
Franca	Jundiaí-Várzea Paulista	0.001	3	-
São Carlos	Limeira	0.002	2	-
São José do Rio Preto	Araçatuba	0.002	2	-
Rio Claro	Presidente Prudente	0.003	2	-
Catanduva	Botucatu	0.007	4	-
Franca	Rio Claro	0.010	5	-
São José do Rio Preto	São Carlos	0.023	4	0,007
Catanduva	Piracicaba	0.034	5	0,010
Franca	Catanduva	0.052	10	0,011
Franca	São José do Rio Preto	0.132	14	0,018

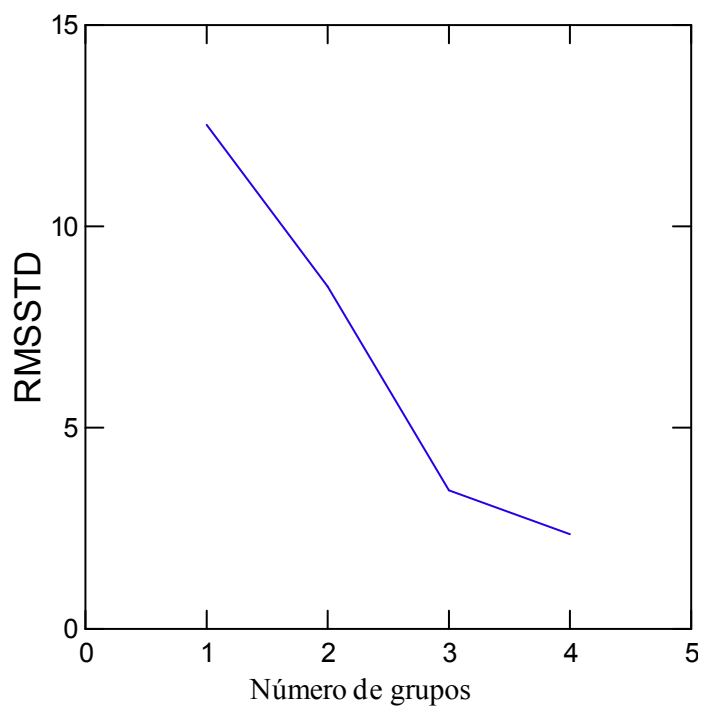


Figura C - Índice de validação para o agrupamento das cidades em 1995.

Tabela D - Distâncias consideradas no agrupamento das cidades para 2005.

União de Grupos		Distância	N. de Grupos	RMSSTD
Limeira	Araçatuba	0.001	2	-
Jundiaí-Várzea Paulista	Botucatu	0.001	2	-
Catanduva	Jundiaí-Várzea Paulista	0.001	3	-
Taubaté-Tremembé	Bragança Paulista	0.003	2	-
Itapetininga	Catanduva	0.003	4	-
Rio Claro	Franca	0.004	2	-
São Carlos	Rio Claro	0.007	3	-
Presidente Prudente	Itapetininga	0.008	5	-
São José do Rio Preto	Limeira	0.010	3	-
Taubaté-Tremembé	São Carlos	0.021	5	0,007
Piracicaba	Presidente Prudente	0.021	6	0,006
Taubaté-Tremembé	São José do Rio Preto	0.049	8	0,011
Piracicaba	Taubaté-Tremembé	0.127	14	0,017

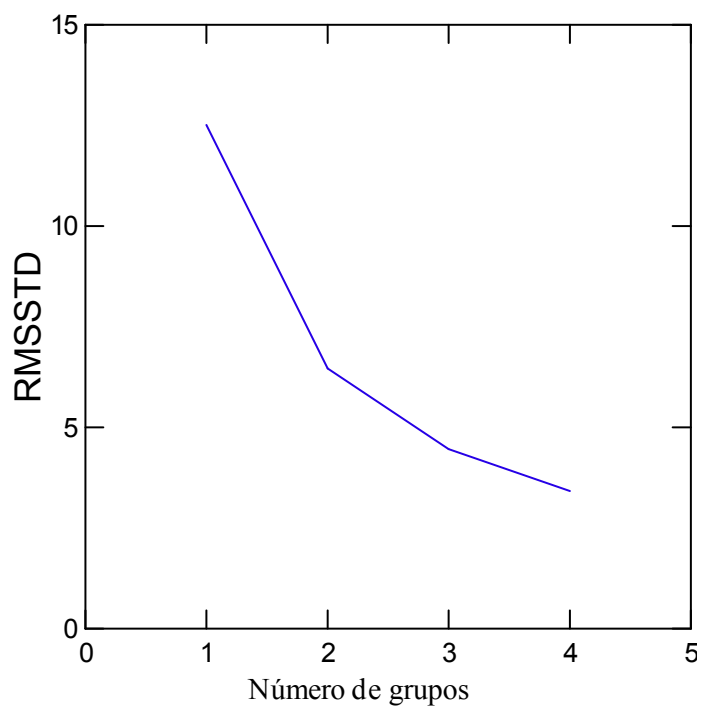


Figura D - Índice de validação para o agrupamento das cidades em 2005.

2. Agrupamentos para a dinâmica espacial do período entre 1938 e 2005 e respectivo índice de validação

Tabela A - Distâncias consideradas no agrupamento das cidades para o período 1938-2005.

União de Grupos		Distância	N. de Grupos	RMSSTD
Franca	Bragança Paulista	0.009	2	-
São Carlos	Araçatuba	0.011	2	-
Jundiaí-Várzea Paulista	Botucatu	0.011	2	-
Presidente Prudente	Itapetininga	0.012	2	-
Rio Claro	Limeira	0.013	2	-
Jundiaí-Várzea Paulista	Taubaté-Tremembé	0.017	3	-
São Carlos	Rio Claro	0.022	4	-
Franca	Presidente Prudente	0.023	4	-
São José do Rio Preto	Catanduva	0.030	2	-
Jundiaí-Várzea Paulista	Piracicaba	0.039	4	0,017
São José do Rio Preto	São Carlos	0.048	6	0,019
São José do Rio Preto	Jundiaí-Várzea Paulista	0.069	10	0,022
São José do Rio Preto	Franca	0.125	14	0,025

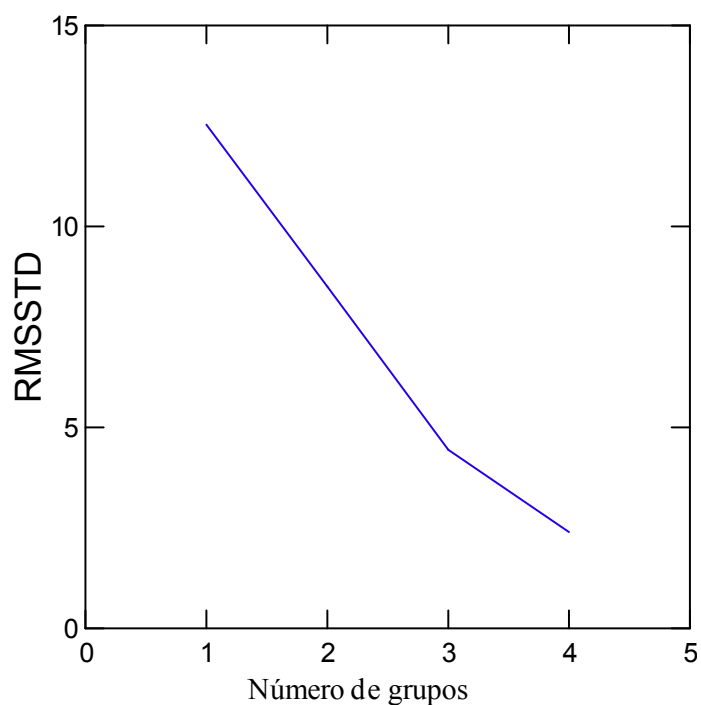


Figura A - Índice de validação para o agrupamento das cidades no período 1938-2005.

Apêndice M - Representações das cidades médias segundo perspectiva com base na composição colorida da *imagem Landsat TM 5, MDE, hidrografia e rede viária*, de acordo com os grupos de fragmentação urbana. A imagem corresponde ao ano de 2005 e o exagero vertical foi mantido em 5, para todas as cidades.

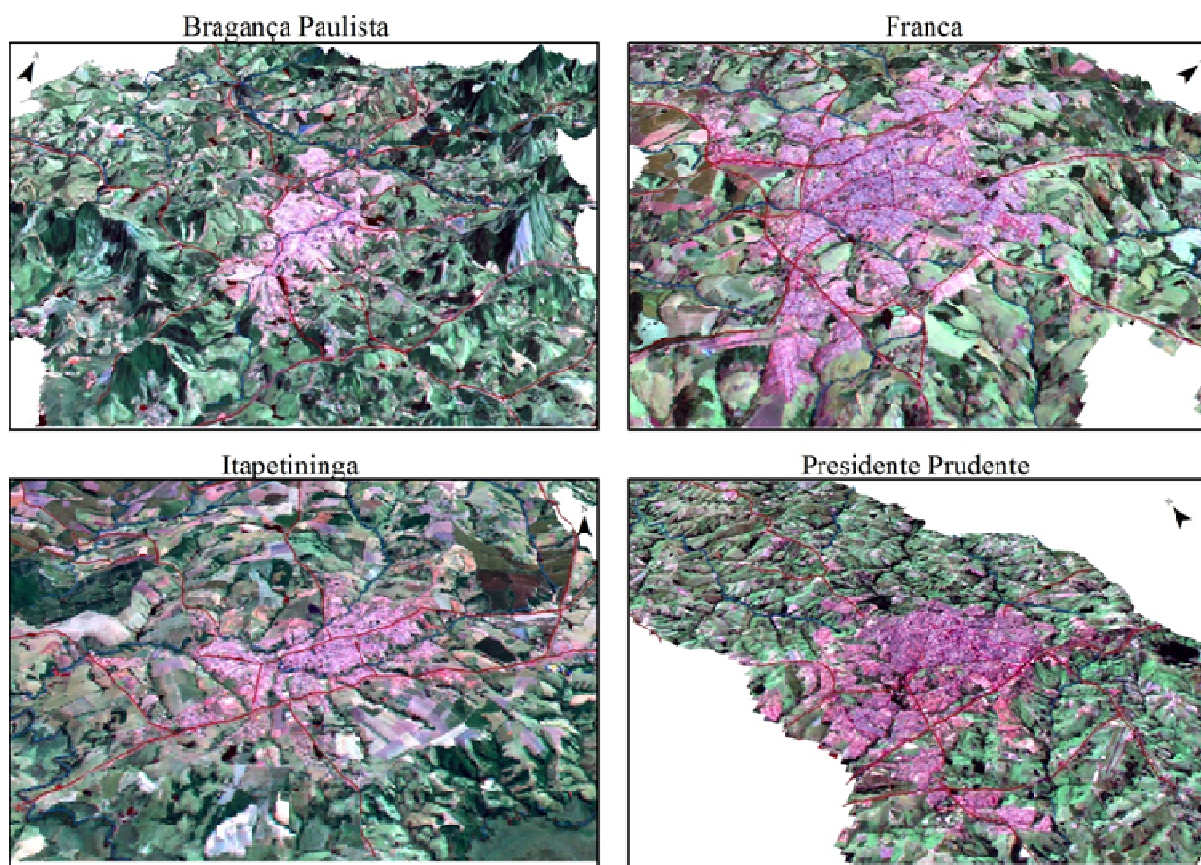


Figura A – Cidades do Grupo 1.

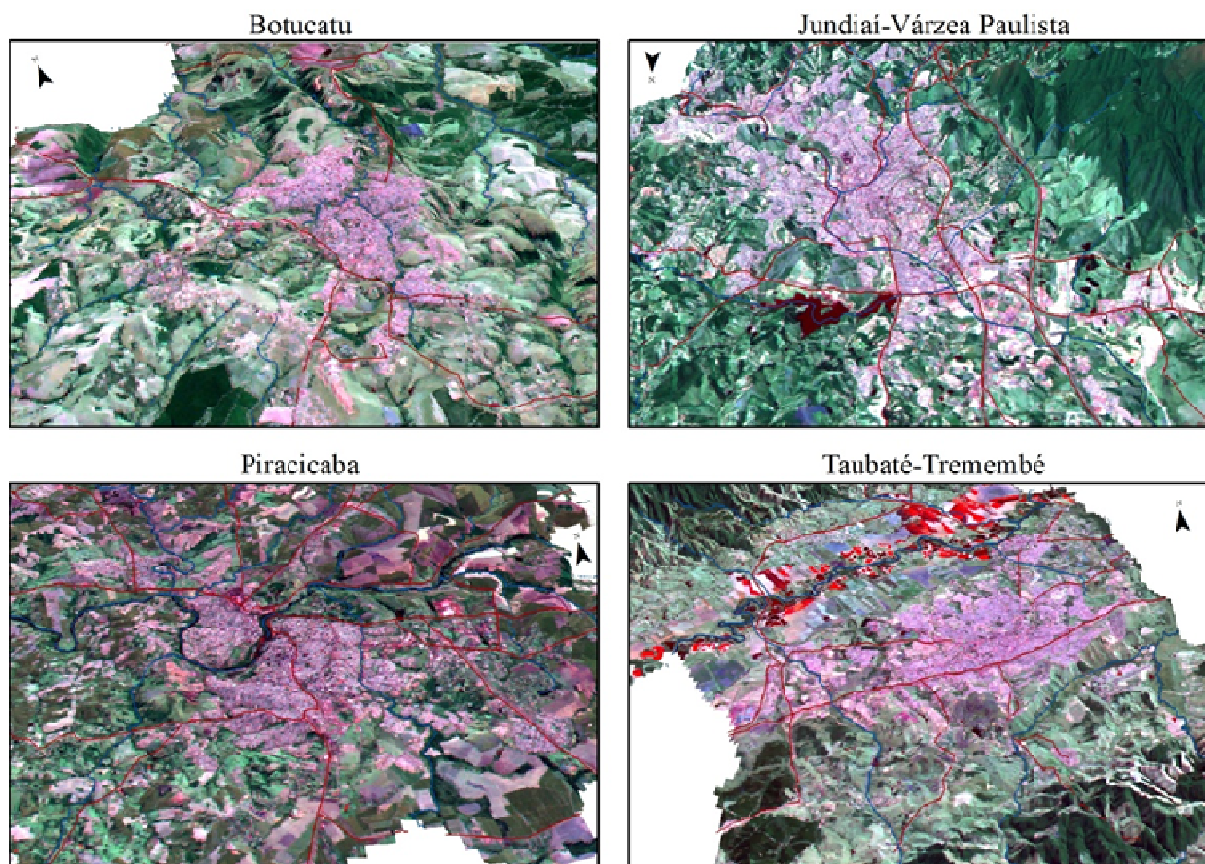


Figura B – Cidades do Grupo 2.

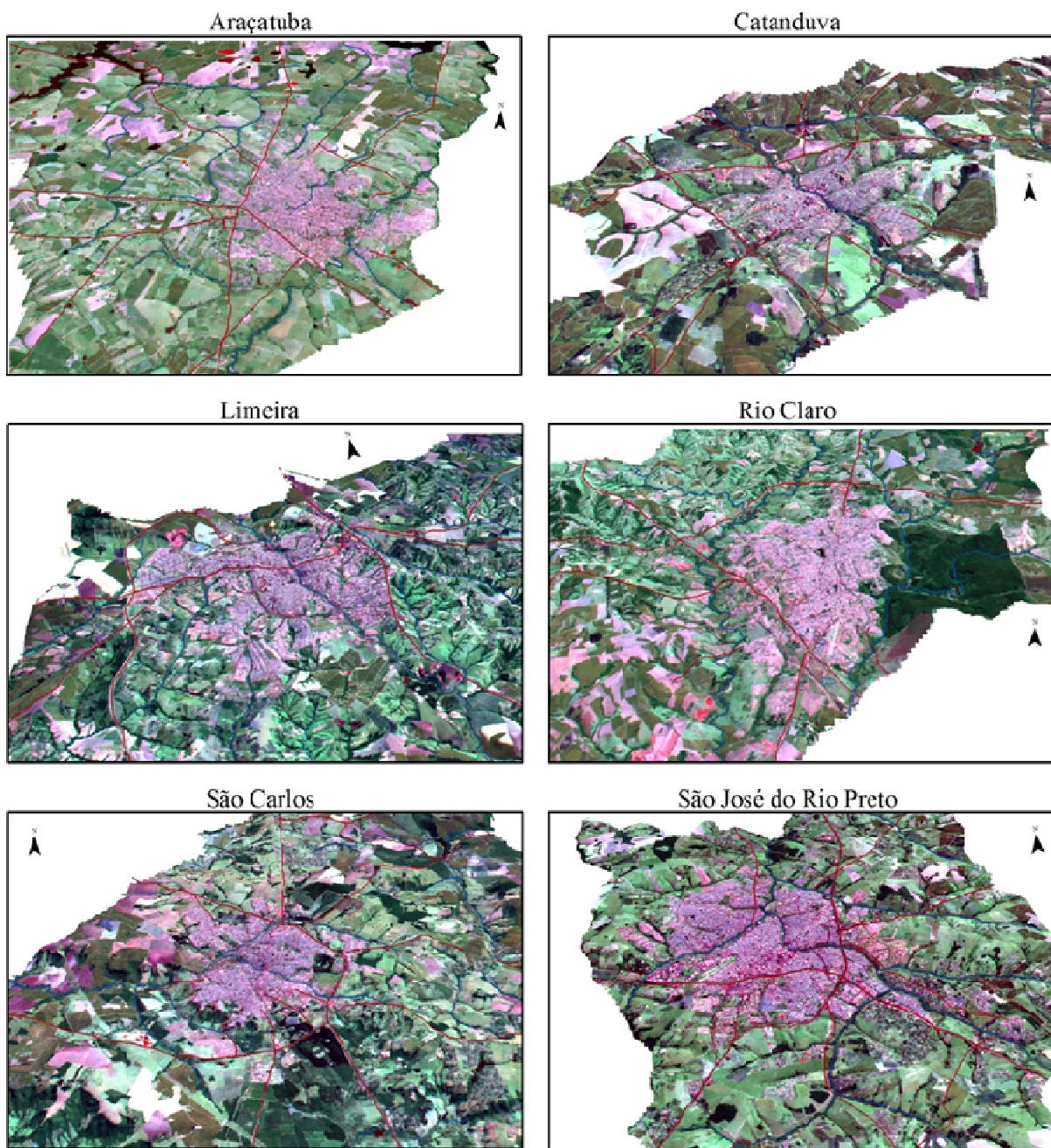


Figura C – Cidades do Grupo 3.