

Alertamos para ausência de algumas figuras
não recuperadas no arquivo original

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
CAMPUS RIO CLARO**

**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**

Mara Lúcia Marques

Orientador: **Prof. Dr. Marcos César Ferreira**

Tese de Doutorado elaborada junto ao
Curso de Pós-Graduação em
Geografia - Área de Concentração em
Análise da Informação Espacial para
obtenção do Título de Doutor em
Geografia.

Rio Claro - SP

2005

910h.38141 Marques, Mara Lúcia

M357m

Metodologias para a estimativa da dimensão fractal do crescimento de aglomerados metropolitanos : uma contribuição ao estudo da expansão urbana da Região Metropolitana de São Paulo entre 1905 e 2001 / Mara Lúcia Marques. – Rio Claro : [s.n.], 2005

227 f. : il., gráfs., tabs., mapas, quadros

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Orientador: Marcos César Ferreira

1. Geografia urbana – São Paulo (SP). 2. Aglomerados urbanos. 3. U
do solo. 4. Análise espacial. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

DEDICATÓRIA

Dedico ao Dalton, à Bruna, ao Vinícius, à Catarina e à Rafaela, por eternizarem os sonhos e as certezas da minha existência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Marcos César Ferreira pela dedicação na orientação e pela contribuição na concretização deste estudo.

Agradeço ao Prof. Dr. João Afonso Zavatini pelo esforços empreendidos nos momentos de dificuldade vividos durante o curso.

Agradeço ao meu marido Dalton, aos meus filhos Bruna, Vinícius, Catarina e Rafaela, aos meus pais Romeu e Cleonice, aos meus irmãos Romeu, Marcelo e Isabel e aos meus sogros Maria Célia e Luís Alberto pela compreensão, carinho, esforços que incentivaram a prosseguir nesta etapa de minha formação.

Agradeço à Denise, Rita e ao Rogério pela amizade sempre presente.

Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro ao estudo.

Agradeço aos professores pelo conhecimento neste período de formação e ao curso de pós-graduação pela viabilização desta formação, especialmente à Prof. Dr. Lúcia Helena Gerardi.

RESUMO

Este estudo teve como propósito principal aplicar e avaliar metodologias para análise fractal da expansão de espaços urbanos metropolitanos, tendo como caso o aglomerado da região metropolitana de São Paulo, Brasil. O estudo foi realizado a partir de mapas temáticos e imagens orbitais relativos ao período 1905-2001, aos quais foram aplicados três métodos para a estimativa da dimensão fractal: densidade de preenchimento (D_d), perímetro-área (D_{PA}) e perímetro-resolução (D_{PR}). A partir da análise fractal dos mapas e imagens, foram avaliados a dinâmica temporal do preenchimento dos vazios urbanos e da expansão multidirecional do perímetro urbano. Os resultados mostraram que o aglomerado urbano como um todo, apresentou no período analisado, valores médios D_d (1,755) ou tendência de preenchimento das áreas centrais e diluição das periféricas; D_{PA} (1,400) ou sinuosidade do perímetro urbano a medida em que estas áreas foram ocupadas e D_{PR} (1,859) ou limitada organização espacial das estruturas urbanas. A análise fractal multidirecional de crescimento foi realizada em oito setores radiais de expansão urbana, cujos valores médios do parâmetro D_d no período 1905-2001 são abaixo mencionados: (I) Cantareira=1,829; (II) Zona Leste=1,898; (III) Mauá=1,848; (IV) Ipiranga=1,852; (V) Billings=1,858; (VI) Santo Amaro/Interlagos=1,848; (VII) Castelo Branco/Anhanguera=1,859 e (VIII) Anhanguera/Bandeirantes=1,863. Dentre os fatores que influenciaram o comportamento fractal destes setores, destaca-se a ocupação fragmentada pela topografia, hidrografia e restrições jurídico-ambientais nos setores I, III, IV, V, VI e VIII e, nos setores II, III, IV, VI e VII a maior densificação foi impulsionada por incentivos públicos e de infra-estrutura, que contribuíram para a concentração industrial e de serviços.

Palavras-chave: Dimensão fractal, Aglomerados urbanos, Região Metropolitana de São Paulo, Expansão Urbana; Uso do Solo Urbano, Análise Espacial

ABSTRACT

Methodologies for Urban Agglomeration Growth Fractal Dimensions Estimate: a Contribution to Study of São Paulo Metropolitan Area Urban Expansion (1905 – 2001)

The aim of this research is to evaluate and apply fractal dimension analysis methodologies to study the growing of metropolitan areas, using thematic maps and satellite images of time series. The Sao Paulo metropolitan area it was choose as test area to calculate fractal dimension variability over 96 years time series (1905-2001). Fractal dimension of the metropolitan area as a whole and urban expansion radial sectors it was calculated using the following fractal dimension methods: occupation urban density (D_d); area-perimeter (D_{PA}) and perimeter-scale- (D_{PR}). The study was accomplished to thematic maps and orbital images from 1905 to 2001 that supplied information to estimate fractal dimensions from relations of density (D_d), area-perimeter and perimeter-scale (D_{PR}). Fractal dimension of maps and images were to evaluate the time oscillation of empty urban spaces and the radial growing of urban perimeter. Over period analyzed, urban agglomeration as a whole show means values of $D_d = 1.755$ - a trend to fill central areas and dilution of occupation density at peripheral ones; $D_{PA} = 1.400$ - related to tortuous urban boundary at time the urban peripheries were occupied; and $D_{PR} = 1.859$ related to low spatial organization of urban structures. The radial growing fractal analysis was accomplished to eight urban radial sectors, whose show means values of D_d parameter over 1905-2001, as following: (I) Cantareira=1.829; (II) East Zone=1.898; (III) Máua=1.848; (IV) Ipiranga=1.852; (V) Billings=1.858; (VI) Santo Amaro/Interlagos=1.848; (VII) Castelo Branco/Anhanguera=1.859; e (VIII) Anhanguera/Bandeirantes=1.863. Among determinants factors on fractal behavior of sectors I, III, IV, V, VI e VIII, the results show the topographical, hydrographical and environment-legal constraints influenced the fragmented occupation and; for sectors II, III, IV, VI e VII the high occupation density was determined mainly due public incentives to industrial, business and road development.

Key words: Fractal dimension, Urban agglomeration, São Paulo Metropolitan Area; Urban Expansion; Urban land use; Space analysis.

Lista de Figuras

2.1. Exemplos de algumas cidades brasileiras com crescimento radial e padrão espacial dendrítico.....	23
2.2. Crescimento da população total e urbana do Brasil no período 1900-2000.....	25
2.3. Evolução da população total residente na Região Metropolitana de São Paulo entre 1900 e 2004...	29
2.4. Planta da cidade de São Paulo em 1881.....	38
2.5. (a) Avenida Tiradentes e à direita o conjunto da Escola Politécnica. (b) Várzea do Carmo, parcialmente alagada, em primeiro plano a rua 25 de março e á direita a ponte do Carmo, principal acesso ao bairro do Brás.....	40
2.6. Jardim Europa, planta de Hipólito Gustavo Peijol Júnior, 1924.....	42
2.7. (a) Planta geral das modificações na área central, devido ao perímetro de irradiação e a configuração do sistema “Y” (1945). (b) Esquema teórico de São Paulo, onde todo o sistema viário é reduzido a formas geométricas, formado pelas radiais e perimetrais.....	43
3.1. Modelos clássicos da estrutura urbana.....	51
3.2. Expansão das áreas construídas em Londres em relação ao centro urbano, no período de 1840 a 1910.....	58
4.1. Representação da construção da curva de Koch.....	65
4.2. Curva de Koch apresentada pela geração de inúmeras interações.....	66
4.3. Representação das três primeiras interações do Tapete de Sierpinski.....	67
4.4. Construção do tapete de Sierpinski pela extensão, por reprodução, da figura inicial.....	67
4.5a. Representação do mesmo tapete de Sierpinski, partindo de diferentes iniciadores.....	68
4.5b. Representação de dois tapetes de Sierpinski com representação de lacunas diferentes e mesmos parâmetros de interação $r=1/7$ e $N=24$	68
4.6. Representação de ramificações em forma de H, como plano de preenchimento do espaço.....	69
4.7. Representação de ramificações em H e Y mais adequada ao contexto real das formas espaciais.....	70
4.8. Representação de ramificações sem redução em escala, com recobrimento infinito do espaço.....	71
6.1. A determinação da dimensão fractal por contagem do número de elementos no interior da circunferência com raio variável (Q_1, Q_2).....	80
6.2. Comportamento da dimensão fractal para a aglomeração urbana de Berlim, obtidos a partir de cartas em diferentes escalas e por diferentes métodos, para os anos 1910, 1920 e 1945.....	82
6.3. Exemplo de representação do crescimento urbano pelo método de DLA, gerando estruturas com formas de dendritos.....	85
6.4a. Exemplo da probabilidade de movimento da expansão urbana segundo o parâmetro “x” e “y”.....	86
6.4b. Exemplo da variação no crescimento e densidade das estruturas segundo o gradiente dos parâmetros “x” e “y”.....	87
6.5. Representação gráfica da assinatura fractal da dimensão $D(R)$ de uma área urbana.....	96
7.1. Localização da região metropolitana no estado de São Paulo e a distribuição espacial dos seus municípios formadores.....	101

7.2. Fluxograma das atividades desenvolvidas na pesquisa.....	110
7.3. Regressão linear entre a <i>log</i> do perímetro x <i>log</i> da área, para o período 1905-2001, para o aglomerado urbano da RMSP.....	118
7.4. Regressão linear entre a <i>log</i> do perímetro x <i>log</i> da resolução, para o período 1905-2001, para o aglomerado urbano da RMSP.....	119
7.5. Fluxograma das atividades desenvolvidas para estimativa da dimensão fractal dos setores direcionais.....	120
7.6a: Histograma de freqüência de área construída em cada setor de 10° de circunferência.....	122
7.6b. Diagrama de freqüência de área construída em cada setor de 10° de circunferência.....	122
7.7. Evolução espaço temporal da expansão das áreas contidas na RMSP, por setor direcional, entre 1905 e 2001.....	124
7.8. Representação do Setor Zona Leste na data de 2001, como exemplo dos procedimentos descritos no método.....	125
8.1. Representação do crescimento espacial do aglomerado urbano da região metropolitana de São Paulo, no período 1905-2001.....	130
8.2. Representação do crescimento espacial do aglomerado urbano da região metropolitana de São Paulo, por raios de 5Km, no período (1905-2001).....	131
8.3. Crescimento do aglomerado urbano de Londres, e respectivos valores de D_d no período 1820-1962.....	133
8.4. Assinaturas fractais da região metropolitana de São Paulo, obtidos com base na densidade de ocupação, segundo as datas analisadas.....	134
8.5. Comportamento fractal de São Paulo, Londres e Berlim.....	134
8.6. Evolução dos valores de D_{PA} , calculados pela relação perímetro-área em função do tempo e da distância a partir do centro urbano do aglomerado urbano de São Paulo.....	137
8.7. Evolução dos valores de D_{PA} , calculados pela relação perímetro-resolução em função do tempo e da distância a partir do centro urbano do aglomerado urbano de São Paulo.....	138
8.8. Valores médios de D nas datas analisadas determinados pela densidade de ocupação e pelas relações perímetro-área e perímetro-resolução.....	139
8.9. Localização das principais vias de acesso ao aglomerado urbano da RMSP, segundo datas relativas ao período 1905-2001.....	143
8.10. Valores de dimensão fractal, pela relação de densidade de ocupação, para o Setor Cantareira (I), em cada data do período analisado.....	147
8.11. Valores de dimensão fractal, pela relação de densidade de ocupação, para o Setor Zona Leste (II), em cada data do período analisado.....	151
8.12. Valores de dimensão fractal, pela relação de densidade de ocupação, para o Setor Mauá (III), em cada data do período analisado.....	154
8.13. Valores de dimensão fractal, pela relação de densidade de ocupação, para o Setor Ipiranga (IV), em cada data do período analisado.....	158
8.14. Valores de dimensão fractal, pela relação de densidade de ocupação, para o Setor Billings (V), em cada data do período analisado.....	161
8.15. Valores de dimensão fractal, pela relação de densidade de ocupação, para o Setor Santo Amaro/Interlagos (VI), em cada data do período analisado.....	165
8.16. Valores de dimensão fractal, pela relação de densidade de ocupação, para o Setor Castelo Branco/Anhanguera (VII), em cada data do período analisado.....	168
8.17. Valores de dimensão fractal, pela relação de densidade de ocupação, para o Setor Anhanguera/Bandeirantes (VIII), em cada data do período analisado.....	172
8.18. Comportamento fractal temporal direcional da RMSP, no período 1905-2001, segundo setores analisados.....	174
8.19. Comportamento fractal de cada setor analisado em 1905.....	176
8.20. Comportamento fractal de cada setor analisado em 1914.....	178
8.21. Comportamento fractal de cada setor analisado em 1930.....	180
8.22. Comportamento fractal de cada setor analisado em 1940.....	181

8.23. Comportamento fractal de cada setor analisado em 1952.....	183
8.24. Comportamento fractal de cada setor analisado em 1962.....	185
8.25. Comportamento fractal de cada setor analisado em 1972.....	187
8.26. Comportamento fractal de cada setor analisado em 1996.....	189
8.27. Comportamento fractal de cada setor analisado em 2001.....	192
8.28. Dendograma de classificação por agrupamento de acordo com as características fractais dos setores direcionais de crescimento.....	193
8.29. Diagrama de classificação por área em torno dos valores médios de $Dd_{1905-2001}$ e do <i>Coef. Variação</i> ₁₉₀₅₋₂₀₀₁ do aglomerado urbano da RMSP.....	195
8.30. Diagrama com a distribuição dos pontos relativos aos setores direcionais e os valores de média e de coeficiente de variação para o aglomerado urbano da região metropolitana (RMSP).....	196

Lista de Quadro

Quadro 8.1. Síntese da dinâmica da ocupação e fragmentação de cada setor direcional de crescimento urbano da RMSP e sua relação com a dimensão fractal no período 1905-2001.....	200
--	-----

Lista de Tabelas

2.1. Distribuição e crescimento da população urbana brasileira no período 1900-1970.....	24
2.2: Evolução da população total residente na região metropolitana de São Paulo entre 1900 e 2004.....	29
4.1. Representação da série de relações numéricas envolvidas na construção da curva de Koch.....	65
4.2. Métodos de estimativa de D a partir de amostra de dados.....	72
5.1. Conjunto de conceitos em Geografia, Geometria, Cartografia e Fractais.....	73
5.2. Estimativa da dimensão fractal de dados geográficos.....	75
6.1. Valores de dimensão fractal para a aglomeração urbana de Berlim, obtidos a partir de cartas em diferentes escalas e por diferentes métodos, para os anos 1910, 1920 e 1945.....	82
7.1. Base de informações espaciais empregadas no estudo.....	111
7.2. Variação da ocupação do solo por área construída na RMSP a partir da Praça da Sé.....	114
7.3. Quantidade de área construída na região metropolitana de São Paulo em 2001.....	121
7.4. Setores direcionais de crescimento da região metropolitana de São Paulo.....	123
8.1(a).Valores de área e perímetro do aglomerado urbano, em cada círculo concêntrico, no período 1905-1952.....	128
8.1(b). Valores de área e perímetro do aglomerado urbano, em cada círculo concêntrico, no período 1962-2001.....	129
8.2. Valores dos parâmetros da dimensão fractal, obtidos pela análise da densidade de ocupação urbana, para o período de 1905 a 2001.....	132
8.3. Dimensão fractal pela análise da relação perímetro-área, no período 1905-2001.....	136
8.4. Dimensão fractal pela análise da relação perímetro-resolução, no período 1905-2001.....	138
8.5. Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor Cantareira (I), no período 1905-2001.....	145
8.6. Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor Zona Leste (II), no período 1905-2001.....	150
8.7. Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor Mauá (III), no período 1905-2001.....	153
8.8. Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor Ipiranga (IV), no período 1905-2001.....	157
8.9. Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor Billings (V), no período 1905-2001.....	160
8.10. Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor Santo Amaro/Interlagos (VI), no período 1905-2001.....	164
8.11. Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor Castelo Branco/Anhanguera (VII), no período 1905-2001.....	167
8.12. Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor Anhanguera/Bandeirantes (VIII), no período 1905-2001.....	171
8.13. Valores médios de dimensão fractal e de coeficiente de variação desta dimensão no período 1905-2001, para o aglomerado da RMSP e para os setores direcionais de crescimento.....	193

Sumário

I. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Objetivos.....	16
1.2. Hipóteses.....	17
II. URBANIZAÇÃO E METROPOLIZAÇÃO.....	18
2.1. Processo de Urbanização, Expansão e Metropolização no Brasil.....	21
2.2. Processo de Urbanização da Região Metropolitana de São Paulo.....	25
2.3. Evolução Espaço-tempo da Forma Urbana de São Paulo.....	35
III. ESTUDO DA MORFOLOGIA URBANA.....	45
3.1. Princípios de Análise da Forma Urbana.....	47
3.2. Modelos de Estrutura e de Crescimento Urbano.....	50
3.3. Análise Espacial Urbana Utilizando Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.....	55
IV. DIMENSÃO FRACTAL.....	64
4.1. Curva de Koch.....	65
4.2. Tapete de Sierpinski.....	66
4.3. Os Fractais Ramificados.....	69
4.4. Estimativa da Dimensão Fractal.....	71
V. ANÁLISE FRACTAL EM GEOGRAFIA.....	73
VI. ANÁLISE FRACTAL DO ESPAÇO URBANO: REVISÃO DE MÉTODOS E TÉCNICAS.....	79
6.1. Geometria das Áreas Urbanas.....	79
6.2. Análise Espacial Urbana pela Dimensão Fractal.....	83
6.2.1. Estimativa da dimensão fractal de áreas urbanas.....	91
VII. MATERIAIS E MÉTODOS.....	100
7.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo.....	100
7.2. Procedimentos Metodológicos para Análise Espacial do Aglomerado Metropolitano de São Paulo.....	110
7.2.1. Base cartográfica.....	111
7.2.2. Processamento digital de imagem.....	111
7.2.3. Elaboração da base de dados espaciais.....	112
7.2.3.1. Digitalização dos mapas.....	112
7.2.3.2. Georreferenciamento.....	113

7.2.4. Análise espacial urbana em SIG.....	113
7.3. Estimativa da Dimensão Fractal do Aglomerado Metropolitano de São Paulo.....	115
7.4. Estimativa da Dimensão Fractal para os Setores Direcionais de Crescimento do Aglomerado Urbano da Região Metropolitana de São Paulo.....	120
7.5. Procedimentos para Agregação por Características Fractais de Crescimento.....	125
VIII. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	127
8.1. Análise do Crescimento do Aglomerado Urbano pela Dimensão Fractal.....	127
8.2. Dimensão Fractal do Crescimento Urbano em Setores Direcionais.....	144
8.2.1. Setor Cantareira.....	144
8.2.2. Setor Zona Leste.....	148
8.2.3. Setor Mauá.....	152
8.2.4. Setor Ipiranga.....	155
8.2.5. Setor Billings.....	159
8.2.6. Setor Santo Amaro/Interlagos.....	162
8.2.7. Setor Castelo Branco/Anhanguera.....	166
8.2.8. Setor Anhanguera/Bandeirantes.....	169
8.2.9. Comportamento Fractal Temporal Direcional por Setor de Crescimento.....	173
8.2.10. Comportamento Fractal Direcional em 1905.....	175
8.2.11. Comportamento Fractal Direcional em 1914.....	177
8.2.12. Comportamento Fractal Direcional em 1930 e 1940.....	179
8.2.13. Comportamento Fractal Direcional em 1952.....	182
8.2.14. Comportamento Fractal Direcional em 1962.....	184
8.2.15. Comportamento Fractal Direcional em 1972.....	186
8.2.16. Comportamento Fractal Direcional em 1996.....	188
8.2.17. Comportamento Fractal Direcional em 2001.....	191
8.3. Comportamento Fractal Direcional no Período 1905-2001.....	193
IX. CONCLUSÃO.....	201
REFERÊNCIAS.....	209
APÊNDICES.....	218
ANEXOS.....	226

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O estudo multitemporal da morfologia do perímetro urbano e do seu preenchimento permite identificar como os fatores físicos e antrópicos intervêm no desenvolvimento das cidades e influenciam a estruturação do espaço urbano. A análise morfológica da cidade permite estabelecer relações entre a forma do perímetro urbano, o uso do solo, a densidade de ocupação, a distribuição das estruturas e os processos socioeconômicos.

As constantes mudanças na área urbana retratam o ritmo do processo de expansão das cidades e tem na ação humana, o agente importante e integrador dos diferentes aspectos da forma, da estruturação e da evolução do espaço. A ocupação do espaço urbano ao longo do tempo é complexa e pode ser interpretada em termos por quantidades cartográficas a partir de informação sobre distância, número de objetos construídos, população, linhas, áreas e densidade de ocupação. Estas quantidades permitem entender apropriadamente o tamanho, a ordem, a harmonia, a homogeneidade e a diversidade das estruturas e da distribuição das áreas urbanas.

Para viabilizar uma melhor descrição destas manifestações em termos cartográficos, pode se utilizar como paradigma os fractais, o qual tem sido considerado como abordagem eficaz na interpretação e representação dos aspectos físicos e morfológicos de objetos geográficos no contexto espaço-temporal. A morfologia urbana pode apresentar um comportamento fractal, ou até multifractal e suas estruturas espaciais apresentam propriedades cuja dimensões, variam de acordo com a dinâmica de expansão. A dimensão fractal representa um modelo para a compreensão do preenchimento do espaço urbano e do seu espalhamento. Os métodos empregados nesta estimativa são fundamentados em conceitos de tamanho e resolução, que se aplicam ao estudo do preenchimento de espaços e análise de formas, modelando de maneira dinâmica ou estática estes fenômenos da geometria urbana.

A dimensão fractal é considerada um indicador aplicado a diferentes áreas do conhecimento, não apenas pelo fato da geometria fractal manifestar-se em diferentes estruturas naturais, mas também, por ser ela um parâmetro que revelam a ordem e a regularidade da ocupação urbana, abstraída em primeira instância, por fatores físicos e espaciais, os quais podem ser explicados também com base em teorias tradicionais de expansão urbana, como os modelos socioeconômicos, análise da densidade populacional, modelos de rede de transporte e distribuição espacial do uso do solo.

Grandes cidades européias como Berlim, Londres, Paris e Budapeste, por exemplo, que atualmente passam por processos de expansão territorial, tal qual cidades latino-americanas (Cidade do México e Los Angeles) e asiáticas (Pequim), apresentam elevados valores de dimensão fractal obtidos pela relação de densidade de ocupação. Os valores elevados da dimensão fractal representam uma organização característica de desenvolvimento de aglomerados, que se manifestam pela semelhança entre a dimensão fractal das áreas centrais e das áreas periféricas. A dimensão fractal reflete a ação de fatores inerentes à distribuição das estruturas urbanas no espaço, às condições favoráveis para mobilidade da população, existência de programas habitacionais e de infra-estrutura urbana além de rigoroso controle do processo de ocupação dos espaços vazios.

A análise da morfologia urbana e de suas relações com o processo de distribuição das estruturas espaciais, realizadas pela análise fractal, podem ser empregadas como subsídios ao planejamento urbano, propondo soluções para expansão mais homogênea do espaço. O desenvolvimento urbano homogêneo do aglomerado revela valores de dimensão fractal com baixa variabilidade ao longo do tempo e, por outro lado, a ocupação desordenada mostra valores discrepantes quando comparados em mapas de diferentes instantes de tempo.

A aplicação da análise fractal à região metropolitana de São Paulo tem por intenção, compreender o processo de expansão para aglomerado urbano, que passou no século XX por um acentuado crescimento populacional e de ocupação territorial e que tornou-se referência econômica no cenário mundial, seja pela intensificação da industrialização ou pela instalação de empresas de alta tecnologia. Os fatores que influenciaram a forma urbana ao longo do tempo foram relacionados ao

valor da dimensão fractal da distribuição espacial das estruturas e da densidade de ocupação de áreas urbanizadas, explorando importantes aspectos da dinâmica geográfica muitas vezes não demonstrados por modelos de análise cartográficas tradicionais.

No presente estudo foi realizada uma revisão teórica, conceitual e com aplicação metodológica, para otimizar a estimativa e discussão da dimensão fractal na análise da evolução espacial da região metropolitana de São Paulo. Os princípios da geometria fractal, bem como os modelos e métodos para sua estimativa, foram revisados para fundamentar a aplicação ao estudo de áreas urbanas e traçar relações com os possíveis fatores físicos e antrópicos interferentes, e subsidiar a interpretação do crescimento e da ocupação da região metropolitana de São Paulo a luz da geometria fractal.

A estimativa de dimensão fractal foi procedida inicialmente para o aglomerado metropolitano, utilizando a associação dos métodos de contagem de células e círculos concêntricos a partir das relações de densidade de ocupação, de perímetro-área e perímetro-resolução. Em seguida, foi estimada a dimensão fractal dos setores direcionais de crescimento para identificar tendências semelhantes de crescimento e assim, efetuar um esboço preliminar de regionalização do processo de ocupação direcional centrífugo, cujo comportamento evolutivo ocorreu sob a influência de distintos fatores que incentivaram ou restringiram o desenvolvimento.

As iniciativas públicas de incentivo ao crescimento, como programas de habitação, programas de melhoramento das vias públicas e do transporte coletivo, reurbanização e implantação de leis ambientais foram historicamente relacionadas ao desenvolvimento de cada setor para estabelecer relações entre a forma física e os seus determinantes socioeconômicos e de gestão pública municipal no período de intensificação do processo urbanização e metropolização de São Paulo.

No presente estudo, não se constituíram em propostas de análise pelo método fractal, proposição de modelo de crescimento urbano, a avaliação programas de planejamento urbano, a identificação os tipos e as irregularidades de uso e ocupação do solo, o mapeamento da adequação do uso do solo, bem como a distribuição socioeconômica da população.

Propõem-se, outrossim, estabelecer quais as respostas do sistema urbano sem a complexidade que se manifestaram ao longo do tempo e estimularam ou restringem seu desenvolvimento, que ao mesmo tempo, são possíveis de serem mensurados pela dimensão fractal.

1.1. Objetivos

O objetivo geral deste estudo é analisar a evolução do aglomerado urbano da região metropolitana de São Paulo no período 1905-2001 pela dimensão fractal, como proposta metodológica de análise espacial urbana que integra os aspectos físicos aos aspectos de estruturação da ocupação e regionalizar as áreas do aglomerado com tendências de crescimento e preenchimento similares.

Constituem-se em objetivos específicos:

- a) Aplicar as relações de estimativa de dimensão fractal pelas relações de densidade de ocupação, perímetro-área e perímetro-resolução, associando os métodos de contagem de células e de círculos concêntricos, na análise da morfologia do aglomerado da região metropolitana de São Paulo, no período 1905-2001;
- b) Identificar o comportamento fractal multitemporal e multidirecional, utilizando a relação de densidade para diferentes setores de crescimento do aglomerado da região metropolitana de São Paulo, no período 1905-2001;
- c) Verificar semelhanças nas características fractais de ocupação dos setores de crescimento direcional com a finalidade de regionalizar as áreas do aglomerado com tendências comuns de expansão e ocupação;
- d) Analisar a influência de fatores físicos e antrópicos sobre o crescimento do aglomerado, a forma de preenchimento do espaço e a morfologia urbana de cada setor direcional, no período 1905-2001.

1.2. Hipóteses

1) Os valores de dimensão fractal permitem identificar a forma preenchimento e a dinâmica de crescimento da região metropolitana de São Paulo, no período 1905-2001.

2) O comportamento fractal dos setores direcionais de crescimento no período 1905-2001, possibilitam regionalização de áreas do aglomerado que apresentam semelhanças no processo de ocupação e expansão.

CAPÍTULO II

URBANIZAÇÃO E METROPOLIZAÇÃO

O processo de formação das cidades está associado às redes urbanas e condiciona a organização social do espaço, sugerindo uma evolução, onde cada formação social se produz sem ruptura, por desdobramento de elementos da formação social anterior. No processo de urbanização, as formas de implantação espacial são as expressões mais visíveis destas modificações, cuja evolução registra etapas da história do desenvolvimento urbano. É necessário se estudar a produção das formas espaciais estabelecendo critérios de periodização, como também analisar conceitos socioeconômicos para explicar situações individuais de urbanização, ocorrendo assim, a determinação recíproca entre forma espacial e ocupação do espaço (CASTELLS, 1976).

O urbano designa uma forma de ocupação do espaço por uma população, ou seja, a aglomeração resultante de uma forte concentração e de uma densidade de ocupação elevada, com diferenciação funcional e social cada vez maior. O termo urbanização define a concentração espacial da população em determinados limites de dimensão e densidade, os quais caracterizam a forma espacial da ocupação. Portanto, o processo de urbanização indica a passagem de uma forma menos densa e mais espalhada de distribuição da população no espaço, para uma forma mais concentrada (CASTELLS, 1976; SERRA, 1987).

Como área urbanizada pode ser definida toda área construída que está inserida nos limites físicos da cidade, em termos de perímetro e densidade. As atividades e áreas relacionam-se a partir das dimensões da população, das funções, da base econômica e do caráter físico das cidades. O caráter físico depende da aplicação de critérios uniformes na determinação urbana e da inclusão ou exclusão de informações de população, estruturas, uso do solo, fluxos de tráfego e fenômenos sociais, culturais, políticos e econômicos (MAYER, 1976).

O crescimento urbano está associado ao crescimento vegetativo da população e ao desenvolvimento da qualidade social e econômica que se torna concretização e atrativo principal para a migração. Garantir uma forma adequada ao novo espaço urbano demonstra a necessidade de planejamento, onde se estabelecem as prioridades, se definem os recursos disponíveis e se apresentam propostas de uso e ocupação de solo na tentativa de evitar a degradação do ambiente e, conseqüentemente, a degradação da qualidade de vida (SERRA, 1987; BEDÊ et al., 1994).

A expansão urbana está associada a problemas ambientais, cuja dimensão dos impactos são diretamente proporcionais ao estágio do processo de urbanização da área. Os problemas comumente encontrados são a carência de infraestrutura básica; poluição da água e do ar; problemas de trânsito; déficit habitacional; alagamentos, destruição da vegetação natural, aterramento em áreas impróprias, entre outros. Os efeitos de tais problemas na sociedade, geralmente envolvem danos materiais e sociais que atingem com maior freqüência a população menos favorecida economicamente e, por outro lado, ressaltam a importância de um planejamento adequado do espaço urbano, o qual envolve o estabelecimento de melhores condições físicas ao ambiente urbano. A análise da forma urbana permite a obtenção de dados concretos sobre a identidade e as possibilidades do espaço urbano (BEDÊ et al., 1994).

Com a intensificação do processo de urbanização a partir da evolução industrial, algumas regiões passaram por uma reorganização do espaço urbano, desencadeando o processo de metropolização, o qual consiste na transformação das cidades em metrópoles, envolvendo a estruturação dos espaços necessária para sustentar a ocupação humana e econômica, pois a caracterização de uma metrópole está vinculada a sua representação econômica, social, político e cultural no contexto nacional e mundial.

O fenômeno de metropolização não pressupõe aglomerações urbanas descomunais, muito menos imenso aglomerado populacional. Sua definição deve focar sua forma, sua função, a organização das suas estruturas internas e o momento econômico em relação ao processo econômico global, promovendo a integração espacial da economia a partir de um núcleo central que manifesta intensa vinculação socioeconômica com outros núcleos urbanos, absorvendo-os ou promovendo a criação

de novos núcleos urbanos e, assim, expandindo a área de interdependência socioeconômica (VILLAÇA, 1978; SILVA NETO, 1990).

Os processos espaciais são responsáveis pela organização complexa que caracteriza a metrópole, sendo que estes processos são manipulados pelos proprietários dos meios de produção, proprietários de terras, empresas imobiliárias e de construção e o Estado, denominados agentes modeladores. Os processos que modelam a organização do espaço são: centralização, descentralização, coesão, segregação, inversão-sucessão e inércia. A centralização é caracterizada pela existência de uma área onde ocorre a concentração das principais atividades comerciais e de serviços (área central), a concentração de atividades representa a maximização de acessibilidade e de aglomeração urbana. O processo de descentralização consiste em uma medida espontânea ou planejada, que visa diminuir a excessiva centralização, causadora do aumento constante do valor da terra, impostos e aluguéis, elevação do custo e congestionamento do sistema de transportes e comunicações, e outros. Este processo espacial está associado à descentralização das atividades comerciais na área central, ao crescimento demográfico e espacial da cidade, repetindo o fenômeno da centralização de tornar a organização espacial da cidade mais complexa, com surgimento de subcentros comerciais e áreas industriais não centrais. O processo de coesão é caracterizado por uma tendência das lojas de mesmo tipo se aglomerarem, sem manterem negócios entre elas, gerando conjuntos de atividades espacialmente coesas. A segregação se constitui em uma projeção espacial do processo de estruturação de classes, sua reprodução e a produção de residências na sociedade. A implicação do processo de inversão-sucessão está no caráter mutável do processo de ocupação por diferentes classes sociais nas áreas residenciais, ocorrendo a saída de uma população de alta renda, a qual se desloca para outras áreas de expansão espacial e a ocupação da área por população de renda inferior. O processo de inércia interfere na organização espacial da cidade quando certos usos da terra permanecem em certos locais mesmo que as causas de sua localização terem deixado de influenciar (SERRA, 1987; CORRÊA, 2001).

2.1. Processo de Urbanização, Expansão e Metropolização no Brasil

A rede urbana brasileira possui um processo complexo de criação e evolução dos centros urbanos, processo esse que tem sido marcado por uma desigual espaço-temporalidade, caracterizado pela complexidade da herança econômica e cultural, pelos diversos padrões espaciais, pela crescente complexidade funcional de seus centros e pelos diversos tipos e intensidades de integração interna e externa. A complexidade da herança econômica e cultural refere-se às diversas formas de criação dos núcleos urbanos ou o desenvolvimento de funções urbanas, as quais estão sempre vinculadas a atividade econômica. O padrão espacial e a complexidade funcional são indicadores de um processo de transformação da sociedade e de sua organização espacial (CORRÊA, 2001).

O início do processo de urbanização no Brasil ocorreu pela preocupação, por parte de Portugal, em estabelecer núcleos urbanos como meio de defesa contra os interesses de outros países sobre a colônia. As primeiras vilas e cidades se localizavam ao longo da linha costeira, funcionando como ponto de penetração para o interior e local de escoamento da produção. O posterior crescimento dos núcleos urbanos continuou sendo em direção à orla marítima e também nas margens de rios, devido a maior facilidade de transporte. Nos primeiros séculos da história do país, a função e modificações espaciais da rede urbana ocorreram de acordo com a produção econômica predominante em cada período, como o açúcar, o ouro e o café. A partir do século XVII, surge uma economia urbana mais dinâmica, a qual visa a estocagem, o comércio, a manufaturas e o financiamento de mercadorias e produtos agrícolas, procurando atender a crescente população. A importância de uma cidade e a da região a que pertencia alternava de acordo com a valorização ou substituição do produto de exportação, que variava em função da condição de mercado, assim ocorreu concentração de população em algumas áreas, para atender à demanda de mão-de-obra em áreas com grande exportação. Com a substituição do produto por outro, uma parte da população se deslocava, e assim contribuíram para a ocupação do território através da implantação de pequenos núcleos urbanos (COSTA, 1982).

A partir destes processos de ocupação do território, pode-se destacar que o primeiro padrão espacial urbano brasileiro foi o padrão dendrítico, devido ao sítio

urbano que, em geral, possui baixadas emolduradas por serras e balizadas 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, como o exemplo do Rio de Janeiro e Recife. Com a industrialização, identifica-se um padrão espacial de áreas urbano-industriais caracterizadas pelos corredores urbanizados. A Figura 2.1 ilustra o padrão espacial dendrítico, apresentando o aglomerado urbano das cidades do Rio de Janeiro, Porto Alegre e Recife. (VILLAÇA, 1998).

No início do século XX o aumento da população urbana teve influência do crescente processo de industrialização e conseqüentemente intensificou-se o processo de urbanização. Neste período ocorreu a reorganização no sistema político viário-econômico que provocou mudanças estruturais na rede urbana. Também ocorreu melhoria na circulação de mercadorias e o desenvolvimento da estratificação social complexa, criando níveis de demanda diferenciados, juntamente com a modernização do campo e a incorporação de novas áreas, que levaram a complexidade funcional dos centros urbanos. A integração interna e externa foi criada a partir de cidades litorâneas, a ampliação das articulações inter-regionais como a via telegráfica, a ferrovia e a rodovia e o processo de industrialização, os quais geraram uma rede urbana efetivamente integrada (COSTA, 1982; CORRÊA, 2001).

No período 1930 a 1955, a economia brasileira voltada para o mercado interno passou a oferecer melhores oportunidades de investimento que o setor exportador, iniciando um período de consolidação da indústria e surgimento da produção de bens duráveis. O acentuado processo de industrialização proporcionou o crescimento da população urbana e início do processo de metropolização. A taxa de urbanização em 1930 foi de 11,2%, em 1950 foi de 36,2% e de 45% em 1960. Entre 1950 e 1970 o processo de urbanização aumenta em todo o país, sendo que nos municípios com população entre 100 e 500 mil habitantes passaram a concentrar 12,3% da população total.

Neste período ocorre o crescimento da migração inter-regional, principalmente direcionadas ao estado de São Paulo, vindas da região nordeste e do estado de Minas Gerais, resultando num aumento de 1.950.000 habitantes no estado de São Paulo. A metrópole paulista passa a concentrar, em 1970, cerca de 15% da população urbana brasileira (ARAÚJO, 1992). A distribuição e crescimento da população urbana entre 1900 e 1970 está apresentada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Distribuição e crescimento da população urbana brasileira no período 1900-1970.

Núcleos Urbanos das Áreas Metropolitanas	População Urbana (aproximada)			
	1900	1920	1950	1970
Belém	96.000	236.000	255.000	633.000
Fortaleza	48.000	78.000	270.000	858.000
Recife	113.000	239.000	524.000	1.060.000
Salvador	206.000	283.000	417.000	1.007.000
Belo Horizonte	13.000	55.000	352.000	1.235.000
Rio de Janeiro	811.000	1.158.000	2.377.000	4.252.000
São Paulo	240.000	579.000	2.198.000	5.921.000
Curitiba	60.000	79.000	180.000	609.000
Porto Alegre	73.000	179.000	394.000	885.000
Brasil (urbana)	1.200.000	3.000.000	18.800.000	52.084.984
Brasil (total)	14.500.000	30.600.000	51.900.000	93.139.037

Fonte: IBGE (1975).

A desigualdade de distribuição da população urbana no território nacional é reafirmada no decorrer dos anos 70, quando o estado do Rio de Janeiro recebeu 363 mil imigrantes e a região amazônica recebeu 600 mil, enquanto que o estado de São Paulo recebeu mais de 2,7 milhões de imigrantes. Este processo de imigração foi intensificado devido as condições de atraso industrial de algumas regiões e pela modernização em outras, como também a modernização das áreas agrícolas, a qual provocou a expulsão da população rural, isto ocorreu principalmente nos estados do Maranhão, Goiás e Paraná, com expulsão de 110, 100 e 1.320 mil pessoas, respectivamente. O processo de urbanização, nas décadas de 70 e 80, foi marcado pela concentração da população nas regiões metropolitanas, sendo que somado o aumento populacional de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte o crescimento foi de 28% do total nacional. Também foi marcado pela reorganização da rede urbana com o crescimento do número de cidades médias, que em 1970 era de 157 cidades e passou para 419 cidades em 1980 (ARAÚJO & PACHECO, 1992).

Nas últimas décadas, foi instaurado o processo de descentralização dos setores industriais, mas a população urbana continuou aumentando, pois no início dos anos 60 o país tinha 60 milhões de habitantes, sendo 28 milhões de habitantes urbanos e em 1990, do total de 148 milhões de habitantes, cerca de 115 milhões de habitantes formam a população urbana (GONÇALVES, 1995). Em 2000 a população total do país era de 169.872.856 habitantes e a população residente em área urbana de 137.925.238 habitantes (IBGE, 2000) (Figura 2.2).

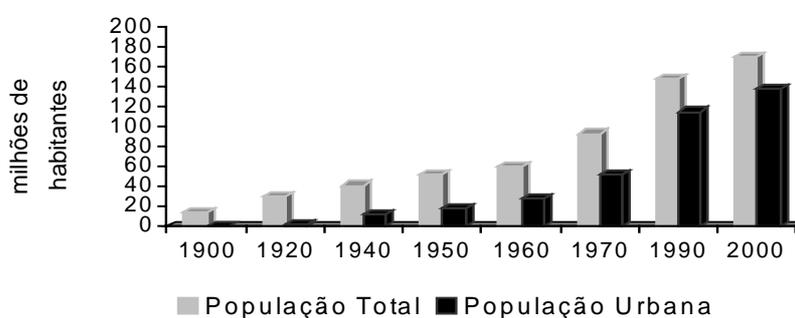


Figura 2.2. Crescimento da população total e urbana do Brasil no período 1900-2000. Fonte: IBGE (1975) e (2000); GONÇALVES (1995).

2.2. Processo de Urbanização da Região Metropolitana de São Paulo

Segundo Silva Neto (1990), o processo de desenvolvimento de cidades é determinado por extensores urbanos, os quais podem ser definidos como elementos retransmissores de uma dada organização espacial. No caso de São Paulo estes extensores podem ser classificados em:

(a) extensores de ocupação, como a localização das edificações religiosas que deram origem ao povoamento, o adensamento populacional em torno das edificações e o desenvolvimento econômicos dos núcleos afastados que mantinham relação comercial com o povoamento;

(b) extensores de adensamento, correspondem as infra-estruturas , serviços e atividades comerciais que deram suporte à economia cafeeira;

(c) extensores de expansão, relacionados aos aspectos da transformação urbana de São Paulo, como o aumento acelerado da população, valorização dos terrenos da área central, multiplicação das linhas férreas e do sistema viário, investimento de capital estrangeiro, criação de um parque industrial, loteamento e empreendimentos imobiliários

O processo de ocupação da região onde hoje se situa a cidade de São Paulo teve início com a fundação de uma capela por jesuítas em 25 de janeiro de 1554. O povoado que se estabeleceu recebeu o nome de São Paulo de Piratininga, cuja função inicial era a de servir como ponto de partida às expedições vindas do litoral, organizadas para a exploração e catequese do sertão, função esta favorecida pelas vias naturais, como os rios Tietê e Paranapanema. Até 1628, uma estagnação deste povoamento foi observada, quando então ocorreu a elevação à categoria de vila (EMPLASA, 1982).

A partir de 1628, os jesuítas são expulsos e iniciam-se as expedições para o sertão - o movimento das bandeiras - responsável pela abertura de novas rotas de comércio e a captura de índios para mão-de-obra escrava a ser empregada no trabalho agrícola. Inicialmente, este movimento não contribuiu para o crescimento do povoamento, pois dispersava a população para os novos assentamentos no interior do país. A vocação comercial foi consolidada apenas no início do século XVIII, com o ciclo do ouro, favorecida pela localização em relação ao entroncamento de estradas que unia o norte e o sul do país. Em 1711 a vila de São Paulo é elevada a categoria de cidade.

No século XIX, o adensamento da ocupação da cidade de São Paulo ocorre com a intensificação da atividade comercial dos tropeiros associada à transferência da capital do país de Salvador para o Rio de Janeiro, a chegada da família real e a independência do país, que contribuíram de forma marcante para o crescimento da região sudeste. No final do século XIX, ocorre a alteração do perfil econômico do país com a cultura cafeeira, que se concentrou no Estado de São Paulo devido suas condições climáticas favoráveis, superando a cultura canavieira do nordeste. Neste cenário, cria-se o Estado de São Paulo e sua capital, a cidade de São

Paulo, assume o papel de entreposto receptor e distribuidor do café, pois unia as regiões produtoras ao porto de Santos com a facilidade de vias de acesso e a implantação do transporte ferroviário. Ocorre, nesta época, a vinda de imigrantes europeus para substituir a mão-de-obra escrava, desenvolvendo o comércio de abastecimento para suprir as necessidades desta população assalariada. Isto estimulou a fixação de residências e o crescimento da população de 31 mil habitantes em 1872 para 240 mil em 1900.

Com desenvolvimento econômico do café, surgem as manufaturas para o seu beneficiamento e consumo no mercado interno. Este mercado era constituído por empregados do comércio, do transporte e dos bancos vinculados aos grandes produtores e comerciantes do café. Na última década do século XIX, a demanda do mercado interno favoreceu o estabelecimento de indústrias têxtil, alimentícia e química, desenvolvendo o processo de industrialização do país e conseqüentemente o processo de urbanização. Em 1900, com a criação da primeira usina termoelétrica, São Paulo vai se destacando no processo de industrialização. Outros fatores como a posição geográfica privilegiada, área de entroncamento rodo-ferroviário (melhores condições de transporte), centro receptor de imigrantes (melhor mão-de-obra e melhores técnicos) e centro econômico-financeiro dos negócios do café (maior concentração de capital) contribuiram para a grande arrancada industrial consagrada em 1939, quando passa a reter 45% da produção industrial (EMPLASA, 1982; SILVA NETO, 1990).

Neste cenário, a urbanização de cidade de São Paulo organiza-se com o surgimento de saneamento básico, desenvolvimento dos meios de comunicação e de transportes, criação de parques industriais e bairros proletários e a especulação imobiliária com o loteamento de grandes propriedades, o que caracteriza o início do processo de metropolização.

Na década de 30, a depressão da economia mundial promoveu uma grande retração dos negócios com o exterior, que foi superada com a substituição produtos importados pela produção interna. Este processo encontrou em São Paulo condições propícias para o seu desenvolvimento, como a existência de uma base industrial, a presença de um mercado interno em constante expansão e facilidade no suprimento de alimentos e matéria-prima. Estas condições favoreceram um impulso

decisivo à nova fase da industrialização nacional com a expansão dos setores têxtil, mecânico e alimentício, a demanda por materiais de construção e a criação de indústrias siderúrgicas e petroquímicas (SILVA NETO, 1990).

Este contínuo crescimento econômico foi acompanhado por aumento idêntico da população de São Paulo, que passa de 240 mil habitantes em 1900 para 579 mil em 1920 e de 1 milhão em 1934 para 1,3 milhão em 1940. A urbanização acompanhou este processo desaparecendo as áreas rurais tomadas por uma contínua faixa de indústrias e habitações. Desde do início do processo de metropolização a distribuição da ocupação apresentou um modelo de zoneamento espontâneo com as atividades industriais localizadas ao longo das ferrovias e as comerciais abrigadas no centro histórico da cidade. As áreas residenciais variavam de acordo com a renda sendo a camada mais rica da população espalhada pelas colinas após vale do Anhangabaú e pela região da avenida Paulista, a classe média ocupava as adjacências do centro antigo e as residências operárias localizavam-se ao longo das vias ferroviárias (EMPLASA, 1982).

A metrópole de São Paulo apresentou a partir de 1940 como principais conseqüências do crescimento econômico, a compactação da área urbanizada devido a edificação acelerada; início de uma forte ocupação vertical; incorporação de núcleos suburbanos a área central da cidade; fortalecimento, expansão horizontal e surgimentos de novos subúrbios; surgimentos de auto-estradas com adensamento industrial e residencial em sua área de influência e diminuição das matas naturais.

A grande São Paulo que possuía, em 1940, 1,3 milhão de habitantes passou a ter 2,6 milhões em 1950, 4,7 milhões em 1960, 8,1 milhões em 1970 e 12,5 milhões em 1980 e passou para 15,1 milhões em 1990; 16,7 milhões em 1996; 17,8 milhões em 2000; 18,1 milhões em 2001 e 18,6 milhões em 2003. Segundo dados divulgados pela EMPLASA (2004) população em 2004 é de 18.759.575 habitantes (Tabela 2.2 e Figura 2.3).

Tabela 2.2: Evolução da população total residente na região metropolitana de São Paulo entre 1900 e 2004.

Ano	População
1900	240 mil
1920	579 mil
1934	1 milhão
1940	1,3 milhões
1950	2,6 milhões
1960	4,7 milhões
1970	8,1 milhões
1980	12,5 milhões
1990	15,1 milhões
1996	16,7 milhões
2000	17,8 milhões
2001	18,1 milhões
2003	18,6 milhões
2004	18,8 milhões

Fonte: EMPLASA (1982) e (2004); Fundação SEADE (2004)

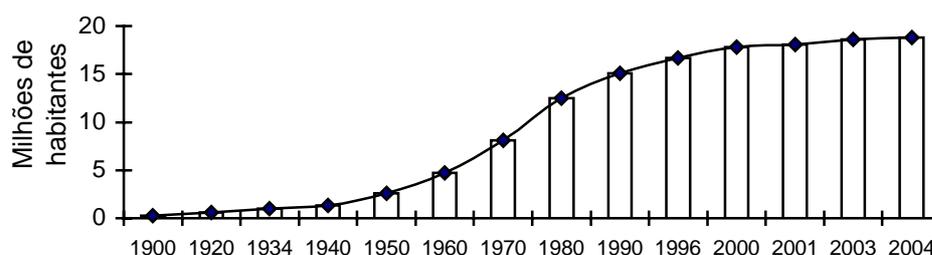


Figura 2.3: Evolução da população total residente na Região Metropolitana de São Paulo entre 1900 e 2004. Fonte: EMPLASA (1982) e (2004); Fundação SEADE (2004).

O início do processo de metropolização da grande São Paulo ocorreu após a revolução industrial por volta de 1900, com início da industrialização, intensificação do comércio do café, intensificação da imigração européia e a concentração do poder econômico. Por volta de 1930, os primeiros municípios a serem vinculados economicamente à cidade de São Paulo foram: São Caetano, Santo André e São Bernardo do Campo. Na década de 50, as cidades de Guarulhos, Diadema, Mauá e Osasco passa à integrar a região metropolitana de São Paulo. A aglomeração de núcleos urbanos vinculados economicamente à metrópole de São Paulo foi consolidado nas décadas de 1970 e 1980 (GONÇALVES, 1994).

A metrópole paulista resultou de formação urbana desencadeada pelo movimento único e contínuo de ocupação econômica do território, determinado pelo desenvolvimento do complexo cafeeiro, o qual estruturou a sua base econômica,

iniciada pela indústria que, ao se desenvolver, passou a ser a principal atividade na região. No começo dos anos setenta, configura-se a metrópole como grande aglomerado urbano em progressiva conurbação. Para consolidação do processo de metropolização, a base econômica foi associada ao potencial de força de trabalho, ao investimento em infra-estrutura (destacando vias de transportes), agricultura de alimentos e de matérias-primas e prestação de serviços (GONÇALVES, 1994).

Após a década de 1970, a rede urbana passou a se configurar a partir de uma gênese complexa, diversos padrões espaciais e crescente complexidade funcional. Neste contexto a metrópole paulista emergiu como o maior centro da rede urbana e a intensidade das interações espaciais evidenciam o conjunto urbano industrial que, tendo como foco a metrópole paulista, irradia-se para a Baixada Santista, o Vale do Paraíba, as cidades de Sorocaba, Piracicaba, Campinas e pelas demais cidades localizadas ao longo das rodovias Anhanguera e Washington Luiz. As interações espaciais entre estas cidades são intensas, revelando relações de subordinação e complementaridade (CORRÊA, 2001).

Na análise das transformações do espaço metropolitano, devem ser considerados alguns elementos de diferenciação: primeiramente, o tamanho metropolitano, as transformações estão vinculadas a dimensão demográfica; em segundo, deve-se considerar as particularidades do sítio urbano, da história urbana e regional e da inserção na divisão territorial do trabalho. As observações das transformações do espaço metropolitano brasileiro apresentam uma desigual espaço-temporalidade dos processos sociais e as transformações ressaltadas foram: a descentralização e seu impacto no núcleo central, a ratificação de setores residenciais seletivos, a explosão da periferia popular e surgimento de novos territórios. A descentralização gerou formas espaciais espontâneas como os subcentros comerciais hierarquizados, os eixos e áreas especializadas e áreas industriais. Gerou também, formas planejadas como os shopping centers e os distritos industriais. No processo de ratificação do padrão setorial da população de alta renda, ficam caracterizadas, na organização espacial, as formas que pressupõem intenso investimento de capital e mudança na concepção sócio-espacial, como os condomínios exclusivos, os shopping centers e as auto-estradas, expressando o padrão setorial seletivo da cidade. A expansão da periferia metropolitana ocorreu segundo três formas de organização

espacial: os loteamentos populares e a autoconstrução, os conjuntos habitacionais e as favelas (CORRÊA, 2001).

A expansão da periferia também ocorreu pela formação dos loteamentos clandestinos ou irregulares, os quais a partir de 1979 foram proibidos, acarretando o agravamento das condições de moradia e aumentando o número de pessoas morando em favelas e cortiços. Mais de 70% das moradias construídas na metrópole paulista foram produto de autoconstrução, atingindo aproximadamente 90% das construções dos municípios de Embú, Franco da Rocha, Jandira, Itapevi e Francisco Morato (SANTOS, 1990).

Estas formas de ocupação são caracterizadas pelos precários meios de transportes, infra-estrutura básica deficiente, constantes epidemias, violência e outros. Os novos territórios são formados por grupos que desenvolvem práticas que definem o território, entendido como segmentos do espaço apropriados e/ou controlados por grupos com o objetivo de garantir as práticas que os identificam ou permitem realizar suas atividades (como exemplo, as áreas dominadas pelo tráfico de drogas) (CORRÊA, 2001).

Para Santos (1990), existe uma relação entre o valor médio da terra, as diferenças de acessibilidade e a segregação espacial. Esta relação se expressa no deslocamento da população menos favorecida economicamente para áreas periféricas, os preços da terra aumentam nas áreas mais próximas ao centro, assim a tendência à expansão espacial da aglomeração se mantém, criando espaços vazios no espaço urbano. Segundo o autor, no início do séc. XX a área urbana não apresentava uma segregação espacial definida, mas já estava ocorrendo o início de um processo de segregação, a partir do deslocamento de setores da classe dominante para bairros exclusivos, levando a valorização destas áreas.

Desta forma, o espaço urbano pode ser abordado como um espaço fragmentado, caracterizado por diferentes paisagens e usos da terra, apresentando um núcleo central, área periférica do centro, áreas industriais, subcentros terciários, áreas residenciais distintas (em termos de forma e ocupação) e áreas de especulação esperando futura expansão. A fragmentação espacial é decorrente de diversas ações dos agentes modeladores que produzem e consomem o espaço urbano, gerando mudanças de ocupação e/ou das formas das áreas, surgindo novos padrões de

fragmentação do espaço urbano. O espaço urbano é simultaneamente fragmentado e articulado, sendo a expressão espacial de processos sociais e reflexo das ações realizadas no presente, como as realizadas no passado, que são identificadas nas formas espaciais presentes. Através da fragmentação do espaço urbano identifica-se diferenças das condições de existência e reprodução social (SANTOS, 1990; CORRÊA, 2001).

Segundo Souza (1999), o termo fragmentação ficou conhecido atrelado ao processo de globalização, indicando que apesar de processos de relativa homogeneização cultural e de relações econômicas e compreensão espaço-temporal, existe a exclusão e segmentação sociais. A fragmentação é utilizada de maneira predominantemente setorial, sem avaliação da dimensão espacial. Assim, como se pode fazer referência à segregação de grupos sociais sem a discussão da espacialidade dessa segregação, faz-se referência à fragmentação sem representá-la espacialmente. Fragmentação é algo distinto e ao mesmo tempo complexo, sendo a fragmentação do tecido sociopolítico-espacial da metrópole uma representação espacializada do esgarçamento do tecido social e da transformação negativa daquilo se entende por cidade.

O aparecimento do fenômeno é determinado pela combinação de fatores qualitativos contextualizados no tempo e no espaço. Podem ser considerados como fatores a complexidade da elite e da classe média, a magnitude da pobreza, a segregação residencial, a criminalidade e violência. A fragmentação da cidade está relacionada à desconcentração do emprego industrial (que afasta a população para áreas mais afastadas da metrópole) e a suburbanização. Estes fenômenos podem ser realizados pelas classes média e alta que fazem a opção pela auto-segregação (condomínios residenciais) e pelas classes baixas segregadas (favelas, loteamentos, cortiços) (SOUZA, 1999).

A intensificação do processo de industrialização da região metropolitana de São Paulo foi beneficiada pelos programas governamentais de incentivo, os quais permitiram ao ingresso maciço do capital internacional na economia brasileira. O ingresso destas grandes empresas resultaram em alteração da estrutura produtiva e econômica da industrialização dos municípios vizinhos a São Paulo e na estruturação econômica e urbana da região metropolitana (PRATES, 2001).

O fenômeno de saturação urbana da região metropolitana, iniciou com a concentração em São Paulo na passagem da década de sessenta para setenta, ocorrendo a saída de algumas indústrias que sofreram conseqüências do processo de saturação, como: congestionamento das vias urbanas de transporte, precariedade das redes de energia e de telecomunicações, pequena oferta de áreas para assentamento e leis de zoneamento industrial e de mananciais (PRATES, 2001).

Na década de oitenta, a economia da metrópole passou pela estagnação da produção industrial e crescimento do setor terciário, o qual pode ser caracterizado pela heterogeneidade, apresentando simultaneamente atividades de baixa produtividade e atividades modernas de alta produtividade (NEGRI & PACHECO, 1994). Esta estagnação econômica, que teve como conseqüências negativas o aumento do desemprego e aumento da pobreza. Com exceção do período de recuperação do crescimento econômico e recuperação do nível de emprego durante o Plano Cruzado, em 1986, a crise econômica, o acúmulo de fatores de deseconomias de aglomeração e o aumento da violência urbana, contribuíram para a diminuição da atratividade de São Paulo. Neste período, a produção de serviços foi sofisticada e diversificada e isso favorece a consolidação da posição de São Paulo como metrópole internacional. O processo de acumulação de renda deste período, refletiu em diferença social na capacidade de consumir, apresentando expansão dos serviços e do comércio especializado em segmentos de alta renda, transformando a estrutura de comercialização e de prestação de serviços da área metropolitana (NEGRI & PACHECO, 1994; SOUZA, 1999).

No início da década de noventa, ocorreram alterações econômicas como a abertura comercial a desregulamentação do mercado, a estabilização monetária, a privatização de empresas estatais e o fortalecimento do processo de globalização, resultando em nova estrutura para retomada do investimento privado nacional e internacional. Estes investimentos foram instalados tanto em áreas tradicionalmente industrializadas como em novas áreas. As áreas fora dos limites da região metropolitana decorreram da formação de deseconomias de aglomeração e do interesse do capital industrial de procurar vantagens econômicas na ocupação de novas áreas. A procura pelo espaço na região metropolitana, ocorre pelos setores produtivos relacionados à alta tecnologia. As empresas de alta tecnologia encontram-se

concentradas na região devido a facilidade de relações de troca de informações e de conhecimento, que a base das possibilidades inovadoras e de acumulação, na economia atual (PRATES, 2001; TINOCO, 2001).

Neste período a modernização tecnológica caracterizada pela atuação setorial e geograficamente seletivas de tecnologias industrial configuram a reestruturação da economia do país. No entanto, sendo esta modernização caracterizada por métodos de gestão racionais (que estimulam a diminuição do quadro de empregados) e pelas relações de produção flexíveis (terceirização, subcontratação e outros), fez surtir impactos negativos, destacando-se, o desemprego (principalmente no setor industrial); a precarização das condições de trabalho e aumento da informalidade. Na região metropolitana, estes processos causaram aumento da favelização e da periferação, representações espaciais da reprodução da pobreza urbana e segregação. Atualmente, a complexidade destes espaços urbanos está representada na dotação de infra-estrutura diferenciada pela localização, antigüidade e grau de consolidação do assentamento. As favelas mais recentes, pequenas e periféricas apresentam casas pequenas de materiais improvisados e sem infra-estrutura (barracos), enquanto que favelas mais antigas apresentam casas com melhor padrão de construção (casas de alvenaria) (SOUZA, 1999).

A região metropolitana paulista sofre uma significativa diminuição do ritmo de crescimento, decorrente da diminuição da sua importância industrial e desenvolvimento de novas funções, principalmente nos setores terciários e de tecnologias. A dispersão espacial da indústria para o interior paulista demonstrou a realocação industrial expressando a expansão do aglomerado metropolitano, que define a metrópole como centro de gestão econômica. A implantação industrial nos municípios próximos aos principais eixos rodoviários, demonstram uma descentralização, mas também, observa-se que os serviços essenciais de decisão controle do processo econômico continuam concentrados social e espacialmente na região metropolitana (GONÇALVES, 1994; LENCIONI, 1994).

A reestruturação da metrópole paulista caracteriza-se como fenômeno sócio-espacial de criação e reiteração de uma região metropolitana mais complexa, fragmentada e hierarquizada, em conurbação de cidades, com crescimento menor em uma e exagerado em outra, sendo manifestações da expansão do espaço metropolitano

com maior flexibilidade de localização, decorrente da divisão e cooperação do processo produtivo para cada unidade espacial. Resultante de inovações tecnológicas e gerenciais, essa flexibilidade se amplia na medida que a área de produção pode ser distanciar do centro de decisões, da gestão administrativa e financeira e da prestação de serviços especializados (LENCIONI, 1994).

Segundo Negri e Pacheco (1994), ocorre um processo de ajuste das empresas instaladas na metrópole e este processo determina a diminuição de peso da grande São Paulo no produto industrial do país e uma desconcentração física da produção industrial. Como também, permite que região metropolitana se constitua no centro econômico do país, ao concentrar os escritórios, atividades financeiras e uma variedade de serviços produtivos e apoio a indústria.

2.3. Evolução Espaço-tempo da Forma Urbana de São Paulo

No final do séc. XIX, a cidade de São Paulo apresentava propriedades bem-definidas, quarteirões, alinhamento e ruas. Neste período estavam definidos os bairros de elite e as áreas de periferia, estabelecendo-se assim uma geografia social da cidade, com os ricos concentrados no eixo sudoeste e os pobres distribuídos fora da área urbanizada. Em 1923, entrou em vigor a primeira lei de zoneamento, onde implantação de infra-estrutura e saneamento acontecia nos loteamentos para a classe alta e as atividades poluentes (como indústrias) eram instaladas nas áreas periféricas, onde eram construídas as habitações econômicas. Assim, a cidade cresceu e adensou. Na década de 30, ocorreu investimento público em infra-estrutura viária, para atender o crescimento da indústria automobilística, ocorrendo também a introdução dos primeiros ônibus urbanos. O primeiro plano urbanístico de São Paulo foi projetado por Prestes Maia -“Plano de Avenidas”- em 1930, no governo de José Pires do Rio, foi projetado para garantir espaço nas vias para ônibus e automóveis. Prestes Maia tornou-se então prefeito e teve três mandatos, sendo dois no período de 1938 a 1945 e o terceiro de 1961 a 1965, foi o primeiro prefeito a considerar a cidade de um ponto de vista global e sistemático (MACEDO, 2000).

Segundo Toledo (1996), o processo de urbanização da metrópole de São Paulo passou por quatro surtos urbanísticos, os quais podem ser identificados em períodos distintos e descritos a partir das mudanças que determinaram na estruturação urbana:

O primeiro surto ocorreu entre 1872-1899 no governo João Teodoro, o qual impulsionou a urbanização da cidade, incentivando fazendeiros e capitalistas constituírem domicílios temporários na cidade, pois estes capitalizaram-se com a exploração da lavoura de café no oeste paulista. Em 1872, São Paulo se tornou importante entroncamento de estradas de ferro, beneficiando o comércio, atraindo o capital e favorecendo a instalação de indústrias. Neste período também foram implantados a iluminação pública à gás, o tráfego de bondes à tração animal, rede de esgotos, ocorrendo por conseguinte, uma imigração volumosa à cidade. Na cidade foram construídos: as pontes Tamanduateí e Anhangabaú; a ampliação da Rua João Teodoro (para 1.144m/18m); a Ladeira General Carneiro ligação entre Rua Municipal com o Brás; o Aterro do Brás, facilitando o acesso a zona leste (saída para o Rio de Janeiro); a Rua Conde D'Eu (Rua Francisco Glicério) até a Rua Lavapés (caminho para o litoral) e a retificação do rio Tamanduateí. As ruas 25 de março, do Mercado, do Hospício (Rua Frederico Alvarenga) foram regularizadas no sopé do barranco do colégio e, em frente ao mercado, surgiu a Ilha Tamanduateí (Ilha dos Amores) e as ruas da área central da cidade foram arborizadas. Nas margens do rio Anhangabaú, as ruas do Seminário e Brigadeiro, à esquerda, e Florêncio de Abreu, à direita, iam se encontrar no campo da Luz, em frente ao Jardim Público. A estrada de ferro cortou as ruas e a ligação com o Jardim Público passou a ser por um único pontilhão, assim a cidade ficou dividida em duas: ao norte dos trilhos ficavam o Jardim Público, o Mosteiro da Luz (Bairro da Luz); ao sul ficavam a praça principal o Largo dos Curvos (Praça da República) e a rua do Arouche (rua Araújo) que ligava a Consolação ao Arouche. Foram construídos o aterro de Santana e a Ponte Grande sobre o Rio Tietê, possibilitando o acesso até a fazenda Santana e a saída para Bragança Paulista. Em 1878 e 1879 a partir de iniciativa privada foram construídos o Grande Hotel e o loteamento do Bairro Campos Elísios, desencadeando um processo de urbanização marcado pelos loteamentos: Higienópolis, com 550 mil m² (entre 1890-1900); Chácara Martinho da Silva Prado, originando a Vila Penteadó e Vila Maria

(tubulações buscavam água nas nascentes do Pacaembu para abastecer a Vila Penteado); Chácara das Palmeiras, originando as ruas Baronesa de Itú, Barão de Tatuí, Conceição, Martim Francisco, São Vicente de Paula, Albuquerque Lins, Avenida Angélica e Alameda Barros; e a Chácara do Bexiga, originando em 1878 o bairro do Beixiga. O empreendedor Joaquim Eugênio de Lima foi responsável pela abertura das ruas José Getúlio e São Joaquim, no bairro da Liberdade e da Avenida Paulista, promovendo o arruamento e loteamento das quadras. Em 1888 foi aprovada a construção do Viaduto do Chá, ocasionando a demolição da casa do Barão de Tatuí para possibilitar a ligação do morro do Chá (cidade nova) com a rua Direita (centro velho).

No início do séc. XX, a expansão urbana era conduzida por interesses particulares da iniciativa privada, sendo que ao poder público ficava a implantação de infra-estruturas e serviços básicos. A lei nº 9 de 3/12/1892, determinou à Intendência de Obras a responsabilidade de aberturas de ruas e calçamentos, levantamento de planta cadastral, mapa da cidade para uniformização dos alinhamentos e edificações. E em 1896 foi criada a Comissão Técnica de Melhoramento da Cidade. A Figura 2.4 apresenta a planta da cidade de São Paulo em 1881.

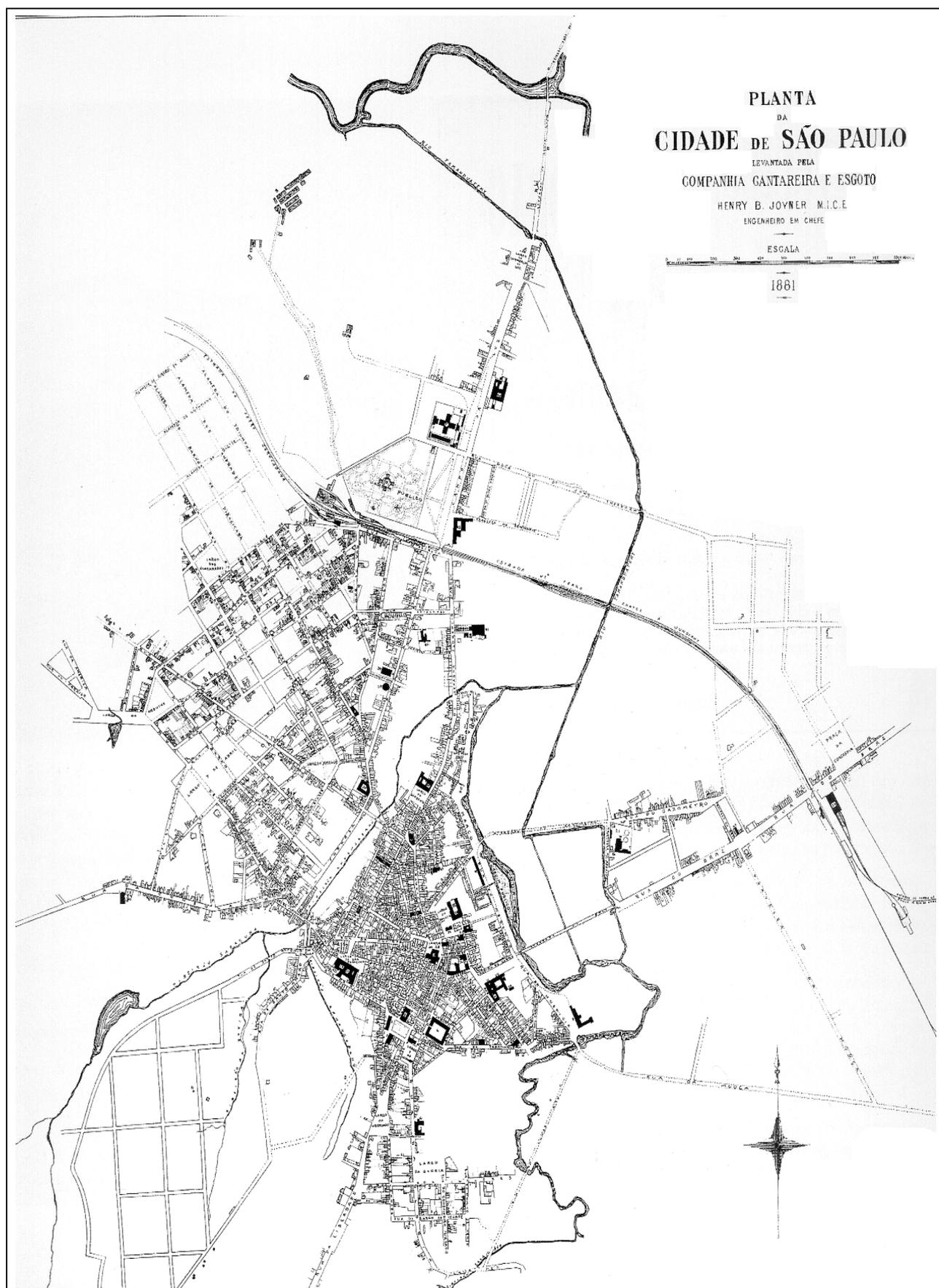


Figura 2.4: Planta da cidade de São Paulo em 1881. Fonte: TOLEDO (1996).

O segundo surto de urbanização ocorreu de 1900-1911 na administração de Antônio da Silva Prado, primeiro prefeito da capital paulista. As mudanças de maior importância neste período foram: a construção do Teatro Municipal; alinhamento das ruas 15 de Novembro, Álvares Penteado, Quintinho Bocaíuva, da Fundação (Floriano Peixoto); Largo do Rosário (Praça Antônio Prado); canalização do riacho do Tamanduateí (1906) e obras de saneamento nas áreas de várzea; construção do viaduto Santa Efigênia; remodelação do Largo da Sé; melhorias na iluminação pública; e incentivo público para a construção de fábricas pelos fazendeiros de café. Como ilustração das mudanças espaciais ocorridas neste período pode-se observar a Figura 2.5.

O terceiro surto de urbanização ocorreu de 1911-1933, nas administrações de Barão Duprat (1911-1914), Washington Luís Pereira de Souza (1914-1919), Firmiano Moraes Pinto (1920-1926) e José Pires do Rio (1926-1930). Este período foi marcado pela mudança na fisionomia da cidade. Iniciou-se com a transformação na área central a partir da reurbanização do antigo Largo da Sé, no qual foram demolidos duas igrejas (Sé e São Pedro dos Clérigos) e os quarteirões que ligavam o Largo da Sé ao São Gonçalo (Praça João Mendes), desapareceram as ruas Esperança e Marechal Teodoro e a avenida São João passou a ser a radial de ligação do centro à zona oeste. Este período também foi marcado pela Primeira Guerra Mundial, pela crise econômica e a pela quebra da bolsa em 1929, mas em São Paulo o crescimento da indústria era contínuo e foram definidas áreas fabris e surgiram os bairros mistos industriais/residenciais. Os estabelecimentos fabris ocuparam as áreas de várzeas como a dos rios Tamanduateí e Tietê, por serem próximas as linhas férreas e de baixo preço. O surto industrial provocou um aumento populacional e uma gradual modificação na paisagem urbana, surgindo os seguintes bairros: Brás, Mooca, Belenzinho, Bexiga e Bela Vista, os quais se caracterizavam por construções térreas, casas sem jardim, geralmente geminadas e similares, sem estilo arquitetônico definido. Misturado à residenciais, existiam indústrias, algumas grandes, mas a maioria, pequena. Em 1916, foi criado na avenida Paulista o Parque Villon e a Esplanada do Trianon. Na vertente sul da avenida se iniciou os bairros jardins como o Jardim América, Pacaembu, Alto da Lapa. Em 1921, a Companhia Cidade Jardim loteou terrenos na várzea do rio Pinheiros e surgiram os Jardim Leonor, Jardim Morumbi,



Figura 2.5: (a) Avenida Tiradentes e à direita o conjunto da Escola Politécnica. (b) Várzea do Carmo, parcialmente alagada, em primeiro plano a rua 25 de março e á direita a ponte do Carmo, principal acesso ao bairro do Brás. Fonte: TOLEDO (1996).

como também o Jardim Europa criado pela Companhia City (Figura 2.6). Nos bairros jardins paulistanos, os espaços públicos e a vegetação eram valorizados, estimulando-se nas construções das residências, os terraços, balcões, janelas, como também, a sinuosidade das ruas e a disposição de jardins, que proporcionavam um inter relacionamento do espaço público com o privado. Durante o governo de José Pires do Rio, trechos do rio Tietê foram canalizados e o rio Pinheiros foi retificado. Em 1926, foram criados os parques da Água Funda e Ibirapuera, em 1929 o parque da Água Branca. A empresa Sarp Brasil S/A, em 1930 divulgou o Mapa topográfico do município de São Paulo produzido a partir de levantamento aerofotogramétrico, nas escalas 1:20.000 e 1:5.000. Neste mesmo ano foi publicado o Plano de Avenidas projetado por Francisco Prestes Maia. Em 1933, foi inaugurado o edifício do Mercado Municipal, com estrutura férrea importada da Alemanha.

O quarto surto de urbanização ocorreu entre 1934-1945 e teve início na administração Fábio Prado, prosseguindo no governo Prestes Maia. Foi um período de grandes intervenções, propondo uma reorganização sob critérios de coordenação de um perímetro de irradiação com um circuito de bulevares, com objetivo de desafogar e ampliar o centro comercial. Prestes Maia foi reeleito em 1961, permanecendo até 1965 e foi sucedido por Faria Lima, o qual deu seqüência as obras. Neste processo de reorganização da área central foram construídos o novo Viaduto do Chá, a avenida 9 de Julho, o túnel da avenida Paulista, a avenida Rebouças, as ruas Marconi e Martins Fontes e a estrada de Santo Amaro foi asfaltada (avenida Santo Amaro). Na criação do perímetro de irradiação, as ruas Líbero Badaró, Bejamim Constant e Boa Vista foram alargadas e foi construído o viaduto Boa Vista. Após a terceira e definitiva versão do Plano de Irradiação, foram implantadas as radiais para nordeste, sudoeste, sudeste, sul, noroeste e norte e as perimetrais: marginais Tietê e Pinheiros, a partir da canalização e retificação dos rios. No sistema radial-perimetral construíram arruamentos adaptados à topografia com diferenciação entre ruas principais (largas, retas e comerciais) e ruas secundárias (mais estreitas, residencial e com tráfego local) (Figura 2.7).

O Plano de Avenidas e do Perímetro de Irradiação não foi todo concluído, devido principalmente as edificações já implantadas e o alto custos dos terrenos. As intervenções deste período provocaram um processo de descentralização com a dilatação e afastamento do comércio, das áreas industriais e das áreas

residenciais, criando aglomerações externas à área central, assim as cidades da área metropolitana tiveram suas estruturas amplamente modificadas (TOLEDO, 1996). Na década de 60, o governo paulista iniciou a discussão sobre a concentração das atividades industriais, focalizando o aumento da degradação das condições de vida e do meio ambiente. No decorrer do tempo, se constatou que a metrópole paulista concentrava elementos poluentes no ar ocasionados pela associação da concentração destes com a densidade de área construída, que ainda favorece as inundações por ser impermeabilizada pelo afastamento e concreto. Os espaços residenciais segregados, como os loteamentos clandestinos da periferia e as favelas, são os mais atingidos pela poluição ambiental, onde ocorrem combinação de falta de arborização com a emissão de calor pelos materiais de construção e com a localização próxima a fonte de emissão de poluição (SOUZA, 1999; PRATES, 2001).

Para Macedo (2000), houve nas décadas de 80 e 90 um deslocamento das atividades econômicas do centro da cidade para as marginais ao longo do eixo sudoeste, devido a acessibilidade, ao menor custo da terra nas áreas periféricas ao CBD¹ e ao adensamento populacional, elevando a demanda de consumo nessas regiões. Esta tendência de ocupação influenciou o deslocamento da população de classe média e as classes mais baixas, foram deslocadas para áreas distantes, em direção ao sul e leste. As desigualdades sociais foram acentuadas pelas diferenças no uso e ocupação do solo, no transporte e nas questões ambientais. Em 1998, com a revisão da Lei de Proteção aos Mananciais, foram abordadas as questões sobre os assentamentos em áreas protegidas, mostrando a preocupação com a ocupação desordenada e seus impactos sobre o meio ambiente e criando expectativas positivas com relação a organização do processo de ocupação. Com a crescente industrialização, os problemas urbanos tornaram-se complexos, como o crescimento horizontal desordenado, a incapacidade do estado em resolver os problemas de habitação para a população carente, favorecendo a expansão das periferias com a autoconstrução, sem infra-estrutura. Houve, também, a expansão vertical de áreas centrais, estimuladas pelas políticas financeiras do Banco Nacional da Habitação e investimento de dinheiro público em infra-estrutura urbana nos bairros de classes média e alta.

¹ Central Business District (Distrito Central de Negócios)

CAPÍTULO III

ESTUDO DA MORFOLOGIA URBANA

Algumas pesquisas urbanas têm se preocupado com a morfologia de cidades isoladas, grupos e também de aglomerados urbanos, sendo objetivo primordial o conhecimento da relação entre áreas funcionais e estrutura interna urbana. Este relacionamento pode ser representado sob duas formas: (a) estática, quando o uso do solo e estruturas ocupam áreas definidas e juntos constituem a paisagem urbana; (b) cinética, quando é analisado o fluxo de tráfego ao longo de vias, entre áreas ou zonas de origem e destino, conhecida também como interação espacial. O aspecto espacial pode ser considerado mais ou menos estático dependendo da distribuição e das variações de área do uso do solo, da população e da localização das atividades. O desenvolvimento de conceitos da hierarquia dos núcleos centrais e no agrupamento ou associação de funções e serviços urbanos, assim como a aplicação de técnicas e métodos relativos à organização espacial do uso do solo e as relações com o processo político, econômico e social de ocupação urbana contribuíram para a compreensão espacial das cidades (MAYER, 1976).

A análise morfológica da área urbanizada é utilizada para se estimar que fatores físicos, ambientais ou sociais influenciaram o processo de ocupação e expansão urbana. O delineamento da geometria urbana permite também abstrair-se a forma física da estrutura organizacional inerente ao desenvolvimento de uma cidade, identificando inclusive as possibilidades de expansão urbana futuras. Além disto, a forma urbana permite também entender a estrutura do uso do solo (BULLOCK et. al., 1972; MARTIN & MARCH, 1972; SERRA, 1987; DEL RIO, 1990; BEDÊ et. al., 1994).

É necessário a investigação das características da forma urbana, sejam as demográficas ou as físicas, para se identificar problemas da ocupação urbana responsáveis por forças de mudança e crescimento existentes nas cidades. A

interpretação dos movimentos futuros de uma cidade podem ser prognosticados a partir da geometria urbana, adequando-se assim, propostas de intervenção através de políticas públicas e privadas. A morfologia urbana define a forma física e organizacional do desenvolvimento de uma cidade, permitindo reconhecer inclusive o ritmo de seu processo de mudança. O reconhecimento da estrutura inicial de um modelo de expansão urbana deve ser realizado a partir de uma análise do uso do solo associada à determinação dos padrões das atividades socioeconômicas em um dado momento (BULLOCK et al.,1972; BATTY & LONGLEY, 1994).

A análise espacial urbana, segundo Garner (1975), também possibilita caracterizar a distribuição espacial de atividades antrópicas tais como deslocamento, custos de transportes e de diferentes tipos de superfície entre outros; o efeito do atrito entre as distâncias, como diminuição de custos entre as localizações; o grau de acessibilidade, para atribuição dos custos de transporte; a tendência de aglomeração da atividade humana; a concentração dos serviços públicos; a estrutura espacial da ocupação e as inter-relações entre as tendências de aglomeração e acessibilidade; e como também identificar a hierarquia da organização espacial da população.

No processo de expansão urbana, a densidade da ocupação e a forma aleatória da disposição das estruturas são fatores que influenciam a morfologia urbana. A análise morfológica urbana concebe a cidade não como uma estrutura aparentemente circular ou uma massa amorfa, mas sim como ramificações de tipos de estrutura onde os espaços entre os ramos de crescimento têm reduzida possibilidade de expansão, fato este que acelera ainda mais o processo de ramificação. O entendimento do desenvolvimento ao longo das vias de transporte criando lacunas de espaços não ocupados, auxilia a compreensão da expansão ramificada e do fenômeno da diminuição da densidade urbana, a medida que se afasta das áreas centrais das cidades (BATTY et. al., 1993).

O crescimento por ramificações considera a irregularidade do espaço e a auto-similaridade dos limites e contornos urbanos, relacionando a compartimentação do espaço ao ritmo da expansão. Na geometria urbana, as ramificações formam uma estrutura com dendritos que crescem em um processo centrífugo seguindo a disponibilidade das vias de transporte. Estas ramificações são muitas vezes limitadas pelas condições físicas do espaço e pelo perfil econômico destas cidades.

A representação do modelo de crescimento dendrítico pode basear-se na configuração de adensamentos contínuos, seguindo o princípio de que a expansão nas áreas internas do adensamento tem uma possibilidade nula de ocorrência - visto que os espaços entre os mesmos estão preenchidos - enquanto que o crescimento em áreas vizinhas tem potencial máximo de ocorrência, porque ao redor do limite edificado existem áreas disponíveis para a ocupação (BATTY et. al., 1993).

A morfologia urbana tem sido analisada através do padrão urbano, por meio da forma, da organização da área em seus componentes funcionais, da rede de circulação e de recursos que permitem a diferenciação interna e das correlações entre áreas especializadas. Para Colby (1933), o padrão é resultante de duas forças oponentes: a centrípeta e a centrífuga. Na tentativa de avaliar estas forças alguns estudos utilizam métodos quantitativos, os quais são facilitados com o emprego da informática com equipamentos de processamento de dados. Também são utilizados métodos de campo da geografia urbana e interpretação de informações a partir de sensoriamento remoto. Os estudos europeus são mais voltados para a análise histórico-cultural dos padrões urbanos, enquanto os estudos americanos são mais direcionados para a acessibilidade, custos e valorização da terra.

3.1. Princípios de Análise da Forma Urbana

A caracterização da forma urbana pode ser definida, segundo Del Rio (1990), como o campo disciplinar que trata da dimensão físico-ambiental da cidade, segundo conjuntos de sistemas físico-espaciais e sistemas de atividades que interagem com a população através de suas vivências, percepções e ações cotidianas.

Conforme Goodey (1979) apud Del Rio (1990), as características da forma urbana a serem consideradas no processo de planejamento são:

- escala espacial, representada pelo espaço entre edifícios, pelo bairro e pelos locais das atividades do cotidiano;
- escala temporal, identificada na transformação e evolução urbana, na análise do meio ambiente como processo, e nos programas e linhas de ação;

- interações homem/ambiente, sejam ao nível dos indivíduos e/ou dos grupos sociais;
- monitoramento/intervenções, representadas pelo controle do desenvolvimento urbano e capacidade de direcionar o processo de transformação de bairros ou da cidade como um todo.

A forma urbana é uma criação coletiva que ocorre permanentemente e em períodos muito maiores do que a duração da vida de cada um dos seus inúmeros construtores, parecendo algumas vezes, como processo natural incontrolável. Em outras ocasiões acredita-se ser possível controlar a forma urbana, quer pela construção acelerada, quer pelo estabelecimento de normas legais rígidas. Em qualquer caso, parece necessário se investigar as determinações do desenho urbano, tanto sociais quanto físicas (SERRA, 1987).

No estudo das determinantes físicas da forma urbana, os problemas do planejamento urbano surgem naturalmente durante as tentativas de controle e identificação das direções das forças de mudança e crescimento existentes nas cidades. A interpretação dos movimentos futuros de uma cidade podem ser antecipados a partir do delineamento do forma urbana, permitindo propostas de intervenção através de programas públicos ou privados (BULLOCK et. al.,1972). O reconhecimento das estruturas e formas urbanas pode ser realizado a partir de uma análise do uso do solo associada aos padrões das atividades socioeconômicas.

Por sua vez, as atividades socioeconômicas estão relacionadas com as funções urbanas, podendo ocorrer os processos de polaridade e centralidade, a partir do desenvolvimento do comércio dos bens de consumo ou o fornecimento destes aos residentes da região envolvida pela área urbana. Assim, as cidades podem ser classificadas em cidades núcleos, cidades centro de transportes e cidades com funções especializadas. O núcleo central é determinado pela distribuição da localização das atividades comerciais, as quais são identificadas pelo limiar que se refere ao mínimo volume de vendas requerido para iniciar a atividade econômica e pela amplitude que se refere à área ocupada por este volume limiar de comércio. A análise da função urbana e a distribuição espacial das atividades econômicas promovem o processo de desenvolvimento urbano (MAYER, 1976).

Bullock et. al. (1972) citam duas tendências distintas de modelos de construção urbana, defendidos por Alexander em 1964, denominadas modelos de consciência não-própria e consciência própria, cujos conceitos aplicam-se de modo satisfatório à forma da expansão urbana. Adaptado à expansão urbana, o conceito do modelo de consciência não-própria argumenta que a forma do crescimento urbano é um processo adaptativo diretamente relacionado ao meio ambiente, caracteriza a morfologia do aglomerado urbano como uma estrutura de organização do espaço equilibrada e bem ajustada às características do meio ambiente. Já o modelo de consciência própria argumenta que a forma de crescimento urbano ocorre como resultado de uma interação complexa entre ocupação humana e meio ambiente, e caracteriza a morfologia do aglomerado urbano como uma estrutura de organização contendo áreas ou zonas independentes quanto à manipulação do meio para a ocupação do espaço.

A análise do aglomerado urbano permite entender a forma urbana como uma estrutura espacial. Para Martin e March (1972), a estrutura espacial urbana pode ser interpretada como um sistema, pois determina e é determinada por padrões complexos de mudanças constantemente interagidas, o que torna esta abordagem adequada à descrição da ocupação do solo urbano. Este sistema complexo deve apresentar elementos interrelacionados, sendo o principal objetivo das pesquisas urbanas descobrir esses elementos, considerados significantes para o sistema urbano e determinar as relações causais entre eles. Somente a partir destas relações será possível explicar a forma pela qual uma determinada área urbana responderá às mudanças, além de poder prever os prováveis efeitos da aplicação de diferentes tipos de planejamento na ocupação de determinado espaço urbano (CROWTHER & ECHENIQUE, 1972).

Ferrari (1977) acredita que as cidades crescem de duas maneiras distintas: por urbanização difusa da periferia ou por urbanização controlada. Na primeira, ocorre um aumento da periferia de maneira desordenada a partir de um núcleo inicial de urbanização. Na segunda, a cidade cresce de acordo com uma estrutura regular concebida de forma espontânea, natural, ou de forma planejada, artificial.

A forma urbana pode ser analisada com base em três possibilidades: a primeira, analisa a realizada a partir de elementos individuais da cidade, como tipos de construção, tipos de arruamento, tipos de arborização e etc.; a segunda, analisa os subsistemas urbanos, como área industrial, residencial e etc.; e a terceira, analisa a área urbana como um todo (MARTIN & MARCH, 1972).

3.2. Modelos de Estrutura e de Crescimento Urbano

O modelo urbano é definido em termos da intensidade do uso e dos valores do solo, da densidade populacional, sendo a ocupação do espaço urbano descrita segundo a localização, função e benefício das atividades de uso do solo e pela representação sócio econômica da cidade em diferentes níveis de importância (regional, nacional, internacional) (HOYT, 1964; BERRY, 1972; KIVELL, 1993).

Sob o princípio do uso e valor do solo, as diferentes ocupações têm necessidade de estarem localizadas próximas ou distantes do centro das cidades, onde as facilidades de transporte aumentam a oferta de serviços, o fluxo de clientes e a maior acessibilidade, tornando o valor do solo na região central elevado (KIVELL, 1993). Este conceito define um padrão de valores para o uso do solo urbano, que segundo Garner (1975), varia de cidade a cidade, seguindo as circunstâncias locais, sugerindo que as cidades possuem, pelo menos, três elementos comuns: (a) os valores da terra são maiores no centro da cidade e decrescem em direção à periferia da área urbana, (b) os valores da terra são maiores ao longo das principais vias de circulação e decrescem a medida que se afastam destas, e (c) existem picos isolados de maior valor da terra localizados nas interseções das principais vias de circulação.

Nesta perspectiva, a atividade comercial reúne condições para estar situada na área central, devido a sua oferta de serviços, sua necessidade de divulgação e a facilidade de acesso. As atividades industriais também reúnem tais necessidades, porém em menor proporção que a comercial, vindo se localizar nas áreas próximas ao centro. As atividades residenciais ocupam as áreas periféricas, devido a sua utilidade e benefícios não superarem aquelas oferecidas pelo comércio e pela indústria, tornando-se um uso residual (KIVELL, 1993).

Garner (1975) e Kivell (1993) consideram o modelo de zonas concêntricas proposto por Burgess, em 1925, uma representação da estrutura urbana de acordo com a teoria de uso e valor do solo. Neste modelo, a área central é mais valorizada e concentra as atividades comerciais, sociais, culturais e industriais, sendo ainda o foco dos transportes urbanos. O modelo setorial de estrutura urbana, proposto por Hoyt, em 1939, também considera a direção e a distância da área central como importantes determinantes do uso do solo e da estrutura urbana. Este modelo admite por sua vez que, a localização de focos comerciais situados fora da área central promoveram expansão do transporte e a concentração de usos do solo semelhantes ao longo dessas vias radiais que partem da área central. O modelo nucleado proposto por Harris e Ullman, em 1945, reconhece por outro lado que, a área central não é o único foco das atividades comerciais, pois a cidade possui uma estrutura celular na qual áreas especializadas se desenvolveram, como centros de compras suburbanos, indústrias e residências de alto padrão. A Figura 3.1 apresenta os modelos tradicionais de representação da estrutura urbana, os quais foram descritos acima.

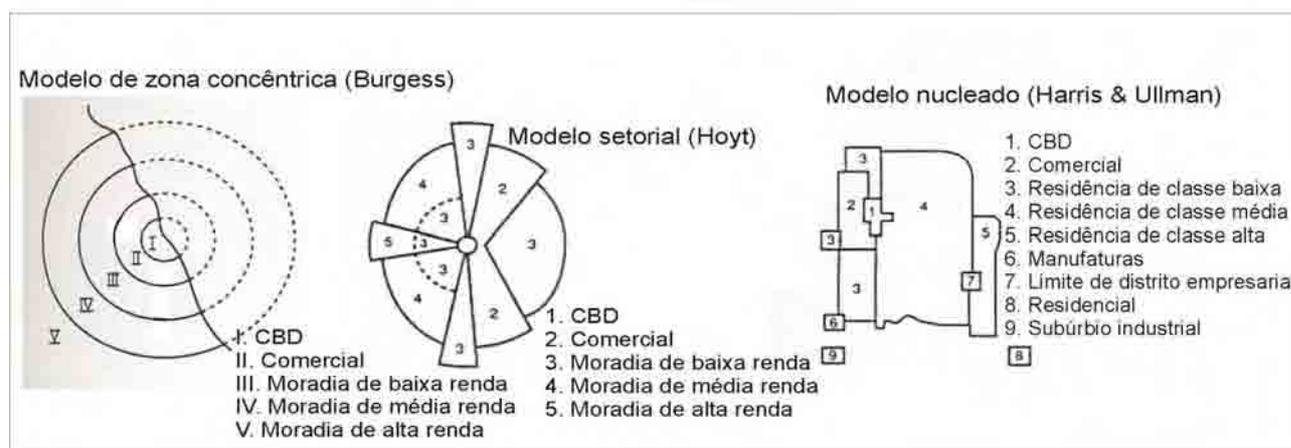


Figura 3.1: Modelos clássicos da estrutura urbana. Fonte: KIVELL (1993).

A partir do modelo de Burgess, a análise dos aspectos sociológicos do crescimento urbano possibilita observar as seguintes características: (a) a reprodução do crescimento do centro para o exterior; (b) a tendência de extensão do crescimento igualmente por todas as direções; (c) a cidade é representada por um modelo de zonas concêntricas por mostrar uma estrutura interna ideal; (c) quando uma cidade cresce, surge uma estrutura devidamente mais complexa e diferenciada por quadras.

Os modelos tradicionais de uso da terra e de transportes possuem senso teórico formulado em relação ao tempo com que as cidades passam por diferentes manifestações e em relação as atividades desenvolvidas, onde a conceitualização de cidade pode ser denominada de modelos centralizados de produção. Assim, estruturalmente, as cidades são consideradas monocêntricas, organizadas com um único centro dominante e circundada de satélites de atividades nucleadas na periferia, dispersados gradativamente com a distância do core urbano (CARTER, 1987).

Estes modelos têm fornecido uma compreensão satisfatória dos princípios da evolução espacial da estrutura urbana. Contudo, o rápido crescimento das cidades trouxe novos focos de atividades, tornando a aplicabilidade desses modelos bastante limitada. Os modelos recentes de estrutura urbana incluem, em seus padrões, sistemas suburbanos de atividades comerciais e residenciais, novas formas de atividades, como produtos manufaturados e a possibilidade da intervenção pública, como fatores determinantes da estrutura urbana. Nesses novos modelos, o valor da terra e a acessibilidade não são uniformes, mas variam conforme às alterações na relação entre a acessibilidade (melhorias e custos) e o uso do solo urbano (KIVELL, 1993), materializando um processo de ocupação do espaço urbano imediato e aparente, pois acompanha a tendência econômica em evidência na perspectiva social e histórica da cidade (CARLOS, 1994).

A definição do espaço como resultado da materialização das atividades humanas fornece ao espaço urbano uma forma, com função e significado social. Assim, o espaço urbano seria estruturado e não organizado ao acaso, apresentando estruturas urbanas historicamente definidas construídas, trabalhadas e praticadas pelas relações sociais, permitindo a articulação entre as instâncias políticas, econômicas e ideológicas do modo de produção (CASTELLS, 1976).

A estruturação do espaço urbano está vinculada à uma tendência histórica da função socioeconômica das cidades, sendo a abrangência espacial desta função capaz hierarquizar a área urbana em territórios locais e regionais. Nesta perspectiva, a cidade local seria mais suscetível às alterações estruturais decorrentes das oscilações socioeconômica, enquanto que o nível regional apresentaria estruturas menos vinculadas aos processos imediatos, dado aos fatores socioeconômicos nesta

abrangência territorial, que não oscilam com a mesma frequência no tempo (SANTOS, 1983).

Um modelo de análise capaz de compreender esta dinâmica urbana deve propiciar o entendimento da interação espacial das atividades desenvolvidas no sistema urbano, a qual, em síntese, é caracterizada por uma série de fluxos ou trocas entre áreas de origem e de destino, baseados na proporção de atração de determinadas áreas sobre outras. Esta dinâmica descentraliza as áreas urbanas em relação às atividades e às estruturas e têm proporcionado crescimento progressivo de acordo com a tendência econômica dos setores de prestação de serviços. A expansão urbana e a diversificação das atividades econômicas estimulam as mudanças de localização das atividades para os subúrbios e áreas marginais às principais vias de circulação atendendo às necessidades sociais de demanda comercial emergente (HOYT, 1939; CARLOS, 1994; TORRENS, 2001).

Na caracterização da estrutura urbana é necessário considerar o impacto da intervenção pública. Para Kivell (1993), os órgãos públicos podem intervir na estrutura urbana através de fatores como: (a) desapropriação de terras para fins públicos, visando o desenvolvimento da área urbana, como escolas, estradas, hospitais, parques, loteamentos e outros; (b) medidas de gerenciamento, como planejamento para construção, normas de segurança para construção, e outros; e (c) medidas fiscais, como taxas sobre propriedades, serviços para diferentes classes de uso do solo e subsídios para incentivar o desenvolvimento (transporte, iluminação e esgoto).

Através do tempo, as estruturas urbanas podem ter desenvolvimento policêntrico, o que compromete a análise a partir de um suporte teórico tradicional de modelo urbano. Há a necessidade da aplicação de modelos que possam representar a descentralização e a distribuição das cidades sendo que, alguns dos modelos que propõem esta funcionalidade, baseiam-se em técnicas de geocomputação. Dados de perfil ou corte transversal são representações utilizadas para a aproximação da dinâmica temporal, a partir de dados coletados em um único período de tempo. Outros modelos são desenvolvidos com dados contínuos, produzindo uma série de instantes, frequentemente separados por longos períodos de tempo e com pouca informação sobre os períodos intermediários (TORRENS, 2001).

Para utilizar técnicas de geocomputação na simulação urbana de sistemas dinâmicos envolvendo tempo real ou próximo ao tempo real, dois importantes atributos devem ser considerados: a resolução espacial e a agregação socioeconômica. A resolução espacial identifica o grau de detalhamento do espaço urbano inferindo informações por unidades individuais ou por entidades geográficas, então modificando a unidade do problema a ser avaliado. Outro ponto importante é a agregação socioeconômica, na qual os modelos tradicionais representam grupos socioeconômicos discretos de uma cidade em modos relativos de agregação. Os modelos desenvolvidos em geocomputação são utilizados para desagregação e representação individual de vários componentes como habitações, categorias de uso do solo e tipos de ocupação. As habitações podem ser agrupadas dentro de vários grupos socioeconômicos, o uso do solo dentro de diversas classes de atividades e a ocupação em vários setores.

Para Torrens (2001), dados para modelos de geocomputação na análise geográfica devem fornecer detalhes que permitam se obter informações sobre como operam os sistemas urbanos, o que tem sido em parte atendido pelo acesso a dados sobre alterações de uso e cobertura do solo urbano. Uma das ferramentas operacionais que atendem este contexto é o sensoriamento remoto multiespectral de alta resolução. Por meio destas tecnologias simulações mais detalhadas da complexidade geográfica das áreas urbanas podem assim ser melhor desenvolvidas, devido à variedade de características e atributos que dão suporte ao entendimento da dinâmica socioeconômica, da estrutura e do padrão de organização dos aglomerados, que emergem a partir da interação entre fatores de pequena escala (tráfego, picos de congestionamento) e de larga escala (áreas de diferentes padrões socioeconômicos).

A complexidade de ocupação apresentada pelas cidades indica que as simulações devem utilizar regras e leis que, aplicadas em pequena escala, distinguem as diversas entidades e sejam capazes de generalizar a complexidade e ordenar as estruturas que compõem os aglomerados. Os sistemas urbanos são dinâmicos, e com o passar do tempo, mudanças não ocorrem apenas como função do somatório das partes, mas sim, devido à interação entre elas, manifestando assim padrões complexos. Por isso, os sistemas urbanos exibem diversas características próprias que podem ser determinadas a partir da análise de padrões comuns, como a dimensão fractal da auto-similaridade e da auto organização (LONGLEY & MESEV, 2000; TORRENS, 2001).

Na recente história do modelamento urbano houveram prognósticos bem sucedidos, devido ao processo mais seletivo dos dados sobre o sistema urbano. Mas a capacidade de compreensão da distribuição física e socioeconômica através do modelamento urbano permanece limitada pela qualidade e abrangência dos dados avaliados (LONGLEY & MESEV, 2000).

A modelagem urbana apresenta dois problemas:

(1) Os modelos de dados utilizam um SIG para realizar operações como análise espacial do crescimento aparentemente uniforme das áreas urbanas, ou transformação de classes de objetos espaciais entre dados de ponto, linha e área. O problema para análise espacial está na dificuldade da representação da unidade natural da agregação (pixel); e

(2) A restrição de acesso a dados socioeconômicos referentes às agregações. Os atributos de dados censitários são em geral indicadores imperfeitos de atributos do sistema socioeconômico.

3.3. Análise Espacial Urbana Utilizando Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto

A análise espacial está relacionada à visualização e compreensão dos processos que conduzem às variações espaciais, utilizando-se de técnicas quantitativas baseadas em modelos (FOTHERINGHAM & O'KELLY 1989). Para a geração de modelos espaciais, são utilizados dados cartográficos ou dados obtidos por sensoriamento remoto, os quais são processados por meio de técnicas e métodos de geoprocessamento, disponíveis também em sistemas de informação geográfica (SIG).

A análise de dados espaciais envolve um conjunto de técnicas e métodos, que dependem da localização e dos atributos dos objetos, fornecendo desde simples medidas descritivas dos padrões dos eventos até testes estatísticos complexos de um conjunto de eventos gerados por processos específicos e bem definidos (GOODCHILD et al., 1992).

A proposta de desenvolvimento de métodos para análise de dados espaciais baseia-se no argumento de que a explicação, o entendimento e perspectivas podem surgir a partir da visualização e avaliação dos dados em seu contexto espacial,

fornecendo, desse modo, um suporte objetivo para complementar a intuição subjetiva do pesquisador. O SIG faz uso da análise espacial para alcançar o potencial implícito em suas definições e componentes. A análise espacial, por sua vez, faz uso do SIG para adquirir a vantagem da capacidade de entrada, edição, visualização e mapeamento dos dados, tornando-se prontamente acessível e vastamente utilizado (GOODCHILD op. cit.).

O emprego de dados qualitativos e quantitativos no modelamento urbano para representar a abrangência espacial da análise urbana, permite o desenvolvimento de uma teoria urbana a partir da morfologia do uso do solo, uma vez que o preenchimento do espaço é de grande valor na mensuração da estrutura urbana (LONGLEY & MESEV, 2000).

De acordo com Goodchild et al. (1992.), existem duas classes principais de técnicas estatísticas de análise de dados espaciais que são de grande importância para o SIG: as que utilizam apenas dados localizados e as que combinam dados localizados a seus atributos. A primeira análise inclui o método de padrões de pontos, em que os objetos, sejam pontos ou áreas, são representados como pontos. Nesta análise, a distribuição dos pontos no espaço é assumida como sendo contínua, homogênea ou heterogênea, quando analisada em relação a outro conjunto de pontos na superfície. O segundo conjunto de métodos analisa a variação espacial associando atributos, onde os dados são tratados com métodos apropriados às suas propriedades de atributo: dados espacialmente contínuos, quase contínuos, baseado em objetos (objetos são pontos ou áreas vizinhas ou não). Os atributos se referem frequentemente ao conjunto de pontos localizado em uma determinada área, podendo ser agregados conforme propriedades e valores médios de alguma variável desta área. A partir destas técnicas, a análise pode ser feita de modo prospectivo (resumindo as propriedades dos dados), ou simulativo (processo de modelamento associado à teste de hipóteses).

Para Tomlin (1990), a análise espacial em SIG deve basear-se na modelagem cartográfica, cujos procedimentos permitem descrever em termos geográficos (o que é/ o que pode ser) ou prescrever (o que deve ser) os dados espaciais.

Entre os procedimentos descritivos de modelamento distinguem-se: a *análise*, que decompõe os dados até seus níveis de significado e a *síntese*, que compõe

os dados para uso e contextos particulares. Dessa forma, os dados são analisados quanto à sua posição cartográfica (relativa ou absoluta), quanto à sua forma cartográfica (pontual, linear, por área e variação da superfície) e sintetizada quanto às suas características cartográficas em um processo que envolve as relações subjetivas entre o uso dos dados geográficos e aquilo que eles representam (TOMLIN, 1990).

As formas de representação da distribuição espacial em escala detalhada apresentam dificuldades como: (a) a discriminação entre o urbano e o não-urbano, determinar o número de pontos necessários para a representação de uma abstração da real extensão das estruturas construídas ou das atividades espaciais das habitações; (b) os dados socioeconômicos reais são restritos ao domínio público, tornando necessário para o modelamento adquirir atributos das circunstância de construção e características da população, considerando termos semelhantes como a densidade e preenchimento do espaço (LONGLEY & MESEV, 2000).

Ocorrem diversas mudanças na localização e configuração de áreas residenciais, industriais, comerciais e espaços de recreação, tornando-se adequada a representação destas mudanças a partir da verificação do uso do solo urbano, da configuração geométrica cidades, como também densidade, escala e dimensão. As mudanças do uso do solo em regiões com rápida urbanização são analisadas em estudos como por exemplo o realizado na cidade de Bauru (SP), por Almeida et. al. (2002), que utilizou simulação a partir da teoria de automação celular baseada em métodos probabilísticos. Foram identificadas e mapeadas as principais mudanças do uso do solo, as quais foram comparadas estatisticamente com as diferentes predições simuladas para o período de 1979-1988.

Para produzir uma representação das características de ocupação e distribuição do solo urbano, podem ser utilizadas técnicas como a geometria fractal, desenvolvida para mensurar a densidade, tamanho, forma, escala e a dimensão do tipo de uso do solo urbano. Ao ter como base a morfologia da área é possível demonstrar-se efeitos do contingente histórico e das feições físicas que nas diferentes forças de mudanças interagem no processo de crescimento urbano (LONGLEY & MESEV, 2000).

A geometria fractal pode ser utilizada como referência numérica de detalhes da distribuição espacial, para a produção de índices capazes de revelar

importantes feições cartográficas irregulares. Para atender às funções de densidade urbana, as medidas de dimensão fractal baseiam-se nas relações entre a forma de desenvolvimento das áreas construídas e na extensão do crescimento urbano. Longley e Mesev (2000) utilizaram o valor de parâmetro da dimensão fractal para estimar o preenchimento dos espaços urbanos a partir do raio em relação ao centro urbano e mostrar como estes espaços preenchidos mudam em relação às respectivas distâncias a partir do centro. A dimensão fractal também possibilita comparar o crescimento urbano no tempo, quando dispõe-se de dados de cenários diferentes, como pode ser observado na ilustração do crescimento urbano de Londres, (FRANKHAUSER, 1994) (Figura 3.2).

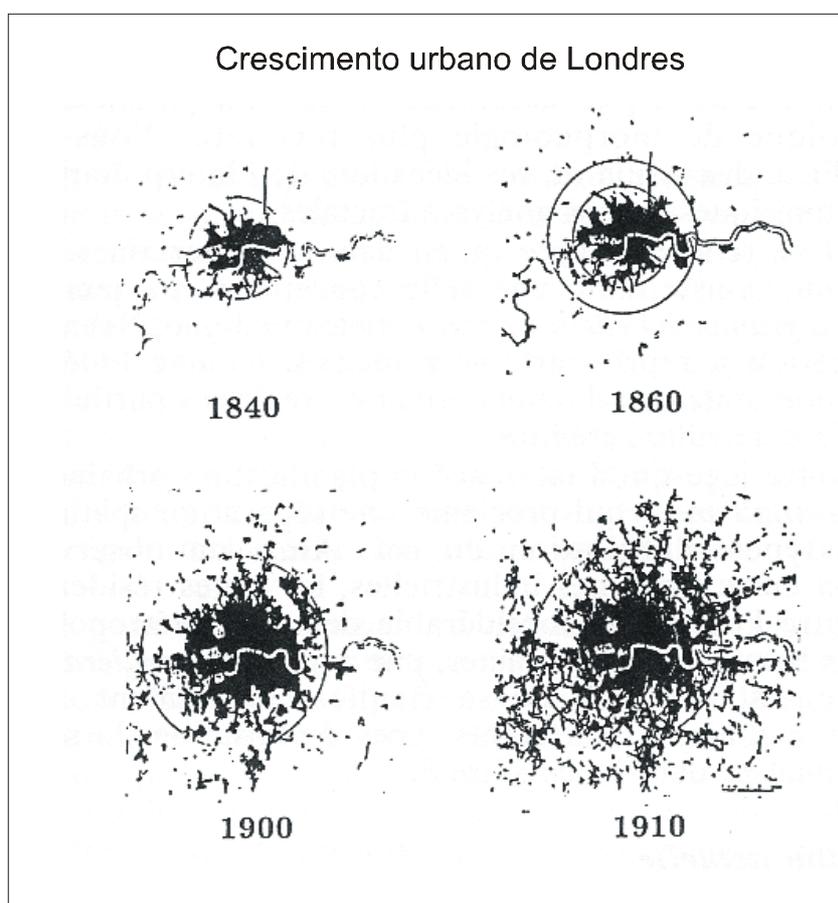


Figura 3.2: Expansão das áreas construídas em Londres em relação ao centro urbano, no período de 1840 a 1910. Fonte: FRANKHAUSER (1994).

Para suporte à análise de dados relativos ao espaço urbano, dispões-se também das técnicas de geoprocessamento. O geoprocessamento é uma tecnologia amplamente utilizada para análise de informações relativas ao espaço urbano, especificamente àquelas adquiridas por imagens de sensoriamento remoto. Estas informações podem ser aplicadas ao monitoramento das alterações do uso solo urbano, da expansão do aglomerado urbano, da concentração populacional, da utilização inadequada do solo, das áreas de risco e de impactos ambientais, entre outros. O vasto emprego desta tecnologia pode ser justificado pelo seu potencial de processamento digital de dados espaciais.

O termo geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de procedimentos computacionais que operam sobre uma base de dados geocodificada, realizando análises, reformulações e sínteses sobre dados ambientais. Para investigar realidades ambientais complexas, de modo abrangente (XAVIER-DA-SILVA, 1988).

Várias tecnologias são empregadas na coleta e tratamento de informações espaciais e no desenvolvimento e uso de sistemas que as operam. As técnicas e procedimentos de pesquisa envolvidos no geoprocessamento são o sensoriamento remoto, os sistemas de informação geográfica (SIG), os sistemas de posicionamento por satélite (GPS), a cartografia digital e demais tecnologias que objetivam adquirir, manusear e produzir informações sobre entidades espaciais (MATIAS, 1997).

Atualmente, inúmeras pesquisas empregam a tecnologia do SIG para uma melhor integração e análise de dados ambientais, estatísticos e cartográficos em estudos de áreas urbanas. De acordo com Aronoff (1989) citado por Costa (1996), um SIG cria a informação a partir da integração de diferentes planos de dados, possibilitando visualizar o dado original de diferentes formas e perspectivas. Ainda segundo o autor, uma das mais importantes aplicações de um SIG é a possibilidade de prever as conseqüências de uma certa atividade proposta para um determinado local. Esta habilidade de modelar fornece a oportunidade para o pesquisador encontrar alternativas para solucionar determinado problema.

No estudo de ambientes complexos e dinâmicos, o SIG apresenta grande vantagem sobre as outras técnicas tradicionais de manipulação e integração de dados,

pois possui facilidade de manuseio e velocidade de operação de dados físico-territoriais (ANSELIN et. al., 1993).

Os sistemas de informação geográfica são considerados importantes para a análise de fenômenos vinculados ao meio ambiente. Sistemas com características de um SIG surgiram desde a década de 60, sendo provavelmente o primeiro deles implementado no Canadá, denominado Canadian Geographic Information System, em 1964. Os inúmeros sistemas em funcionamento atendem aos mais diversificados interesses, com custos igualmente variáveis. Os SIGs são compostos de ferramentas que permitem cruzamentos de informações de diferentes temas, assim como a análise de natureza espacial complexa como proximidade e conectividade, fundamentais em estudos e projetos que utilizam este tipo de dado. Portanto, a estrutura de um SIG fundamenta-se numa base de dados composta de informações espaciais. Engloba em si módulos de armazenamento, análise e tratamento de dados, sejam eles espaciais, não espaciais e temporais apresentando a capacidade de geração de informações correlatas (TEIXEIRA et al., 1991).

O uso dos sistemas de informação geográfica têm aumentado consideravelmente desde a década de 80, e fundamentalmente nestas últimas décadas, vêm fazendo, de diversas formas, parte da prática cotidiana de estudos sobre o meio ambiente. Os SIGs são de grande auxílio em processos que manipulam e avaliam grande número de variáveis de natureza distinta (PASTOR, 1995).

Os principais componentes de um SIG são os elementos espaciais e os atributos. Os elementos espaciais ou gráficos apresentam-se como pontos, linhas e áreas enquanto os atributos podem ser representados na forma alfanumérica, sendo necessário que os dados estejam representados em escala nominal. A estrutura de representação dos dados espaciais pode ter estruturas geométricas e não geométricas. As estruturas geométricas classificam-se em matricial (raster) e vetorial, enquanto as estruturas não geométricas utilizam dados que incluem atributos como por exemplo nome, população, faixa etária etc. Na primeira, é gerada uma malha com linhas e colunas espaçadas regularmente, formando o que se denominam células, quadrículas ou pixels que acabam por definir a resolução da malha e conseqüentemente, do mapa final. As etapas de entrada de dados no sistema envolvem a preparação dos

documentos cartográficos, gráficos, tabelas e outras fontes de dados, a codificação, a digitalização e a edição (ANSELIN, et. al., 1993; BURROUGH, 1996).

Segundo Costa (1996), os SIGs possuem algumas funções que são utilizadas para análise espacial, as quais podem ser agrupadas conforme suas características:

(a) funções de recuperação, classificação e medida, onde dados espaciais e não-espaciais são recuperados, mas somente os dados não-espaciais são modificados ou criados, sendo esta recuperação a busca seletiva, manipulação e saída de dados sem a necessidade de modificar as coordenadas geográficas das feições, a classificação o agrupamento de feições pertencentes a mesma classe e a medida que calcula a distâncias entre pontos, comprimento de linhas, perímetro e área de polígonos e tamanho de um grupo de pixels de uma classe;

(b) operações de superposição, que realizam operações de adição, subtração, divisão e multiplicação de cada valor de um pixel em um plano de informação pelo valor do mesmo pixel em outro plano de informação;

(c) operações de vizinhança, as quais caracterizam uma área que está ao redor de um ponto específico, ocorrendo a necessidade de definir a localização dos objetos, a distância de vizinhança em torno de cada objeto e o tema a ser desenvolvido considerando os elementos da vizinhança;

(d) funções de conectividade, são funções que acumulam valores da área que está sendo analisada, necessitando de um ou mais atributos a serem analisados onde o resultado total deve ser acumulado pixel a pixel, podendo ser de contiguidade, de proximidade, de rede e de espalhamento.

Um dos sistemas de informação geográfica mais utilizados em análise espacial é o sistema IDRISI, lançado no ano de 1987 pela Clark University, Massachussets (EUA). Apresenta todos os módulos disponíveis em SIGs comerciais, como módulos básicos de gerenciamento de projeto, de apresentação, entradas de dados e módulos aplicativos como análise geográfica, processamento de imagens e análises estatísticas. Segundo Eastman (1992), os módulos periféricos envolvem conversão de arquivos, importação e exportação para ERDAS, ROOTS, ARC-INFO, LOTUS, DBASE, dentre outros. Trata-se de um programa simples e de baixo custo

que ainda possibilita ao usuário a elaboração de programas específicos para um grande número de aplicações.

O IDRISI, conforme Eastman (1992), não se caracteriza como um simples programa computacional, mas uma coleção de mais de 100 módulos de programas que podem ser acessados. Tais módulos são divididos em três grandes grupos:

- Módulos Centrais: detém as funções fundamentais de entrada, estocagem, gerenciamento e apresentação de imagens, entre eles os Módulos de Gerenciamento de Projetos, os Módulos de Apresentação e os Módulos de Gerenciamento de Dados Espaciais, sendo os mais usados;

- Módulos Analíticos: fornecem a maioria das ferramentas para a análise de imagens. Sendo usados nas funções de classificação e reclassificação de dados estocados em imagens bem como cálculo de área;

- Módulos Periféricos: estão associados com conversão de dados entre IDRISI e outros programas e formatos de dados. Realizam operações de importação e exportação de dados.

A aquisição de informações espaciais por sensoriamento remoto é um recurso para o fornecimento de dados para o geoprocessamento. O sensoriamento remoto possibilita a observação e interpretação das propriedades dos elementos que compõem a superfície terrestre quanto a forma constituição, padrão, textura, cor, tamanho e localização, expandindo a percepção sensorial do homem proporcionada pela visão aérea ou espacial da informação ou pela obtenção da informação em regiões do espectro eletromagnético inacessíveis à visão humana (COLWELL, 1983; JENSEN, 1983; CHUVIECO,1990).

As informações dos objetos da superfície terrestre são captados por sensores que registram a interação entre a energia refletida ou reradiada das matérias que compõem os objetos da superfície. Os sistemas de captação e registro são constituídos por sensores com diferentes características, que podem ser classificados de acordo com a fonte de energia, como sensores ativos e passivos, ou classificados de acordo com o produto gerado, como sensores não-imageadores e imageadores. Sensores passivos captam a reflectância da incidência da energia solar sobre os objetos da superfície terrestre e os sensores ativos captam o retorno do pulso da energia

emitida por ele e o tempo de retorno deste pulso. Os sensores não-imageadores não geram imagem, mas registram informações sobre o comportamento espectral dos objetos da superfície em forma de dígitos ou gráficos e os sensores imageadores geram imagem, registrando espacialmente (coluna, linha) a resposta espectral dos objetos da superfície terrestre (COLWELL, 1983; SIMONETT, 1983; JENSEN, 1996).

A captura, codificação, registro e transmissão de dados são realizadas pela integração dos sensores e sistemas acoplados, denominados sistemas/sensores. Estes são classificados em sistemas fotográficos (fotografias aéreas), sistemas de imageamento elétrico-óptico (imagens orbitais) e sistemas de micro-ondas (radares).

Os produtos do sensoriamento remoto são empregados no levantamento de recursos naturais, florestais e agrícolas; na avaliação de impactos ambientais (controle de inundação, identificação de processos erosivos e desmatamentos); no mapeamento geológico, pedológico, geomorfológico e do uso e ocupação do solo urbano e rural; e na demarcação de parques, reservas e bacias hidrográficas. Também podem ser utilizados em estudos urbanos com a finalidade de analisar tendências de expansão, diagnosticar o meio ambiente para desenvolvimento de estudos de impactos ambientais urbanos, verificar e controlar a qualidade física da água, mapear a cobertura vegetal e o uso do solo urbano (JENSEN, 1983).

O ambiente urbano possui uma grande complexidade envolvendo uma gama de aspectos de tal ordem, que seria impossível à apenas uma ciência ou a um especialista identificar, ou propor soluções aos diferentes problemas que ocorrem no ambiente urbano. A utilização de sensoriamento remoto pode ser destacada como um instrumento importante na interpretação da organização urbana em relação à alguns indicadores físicos passíveis de quantificação, os quais auxiliam no planejamento de programas que visam o desenvolvimento urbano. A complexidade da superfície urbana torna extremamente heterogênea a cobertura do solo urbano, apresentando consideráveis variações inter e intra pixels, que limitam certas abordagens de classificação (FORSTER, 1985; FORESTI & CECCATO, 1995).

CAPÍTULO IV

DIMENSÃO FRACTAL

Um fractal é definido, genericamente, como um conjunto geométrico, constituído de pontos, linhas, áreas e volumes, cujo comportamento morfológico ocorre de maneira irregular (GOODCHILD, 1980; GOODCHILD & MARK, 1987).

Uma das características da dimensão fractal é a de apresentar uma forma constituída por pares similares, ou a auto-similaridade, que implica em um padrão dentro do padrão, mantido segundo as variações escalares. A auto-similaridade fornece ao geógrafo uma nova maneira de medir, analisar e compreender a complexidade do espaço (DE COLA & LAM, 1993). A invariância em escala, ou auto-similaridade, se caracteriza e se determina por meio de medidas denominadas “dimensões fractais”. A dimensão mais utilizada e mais freqüentemente relatada na bibliografia é a Dimensão de Hausdorff-Besicovitch. Os objetos fractais encontram-se associados a um número conhecido como dimensão fractal, que demonstra o seu grau de complexidade (rugosidade, irregularidade, fragmentação) (GOODCHILD & MARK, 1987; KLINKENBERG et. al., 1992).

O parâmetro mais importante para a teoria dos fractais é a de dimensão. Para entender as propriedades do fractal, é necessário retomar a definição baseada na geometria euclidiana, onde um ponto isolado ou o conjunto de número restrito de pontos, constitui em uma figura de dimensão 0 (zero); uma linha constitui uma figura com dimensão 1 (um); uma área constitui uma figura com dimensão 2 (dois), e um volume constitui uma figura com dimensão 3 (três). Na geometria fractal a dimensão possui valores fracionados, permitindo que a determinação da dimensão de objetos com irregularidade de formas tenha maior exatidão (FRANKHAUSER, 1994).

4.1. Curva de Koch

A descrição da auto-similaridade pode ser representada pela curva de von Koch (1904). Na construção desta curva, a figura de base é um segmento de reta com comprimento L , é denominada iniciadora. A partir da figura iniciadora, ocorre a geradora que é a reprodução de segmentos com comprimento de $1/3$ da reta iniciadora, arranjados em uma linha contínua. O processo de formação da curva é apresentado como uma hierarquia ou cascata, pois em cada nível do processo, o objeto será representado por quatro partes menores (Figura 4.1). Existem dois parâmetros importantes a que devem ser definidos: o fator de redução r , o qual determina o comprimento dos novos segmentos; e o fator de número de elementos N , que determina a quantidade de segmentos utilizados (BATTY & LONGLEY, 1994; FRANKHAUSER, 1994).

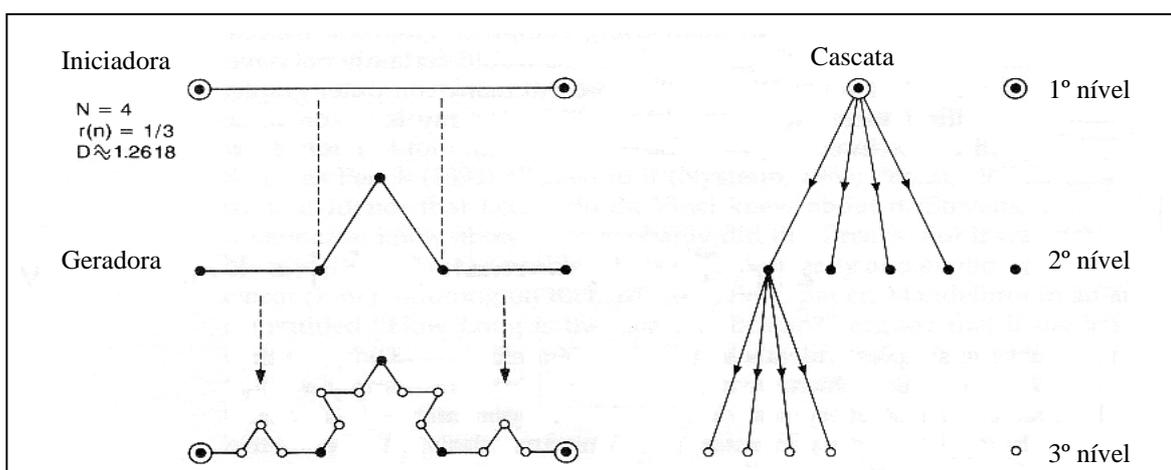


Figura 4.1: Representação da construção da curva de Koch. Fonte: BATTY & LONGLEY (1994).

Os fatores que compõem a formação da curva acompanham uma progressão geométrica. Para obtenção de uma próxima ordem na progressão, eleva-se o valor precedente à uma constante c , obtendo uma interação em série (Tabela 4.1).

Tabela 4.1: Representação da série de relações numéricas envolvidas na construção da curva de Koch.

Número de elementos	Comprimento dos elementos	Comprimento total
$N_1 = N = 4$	$L_1 = r \cdot L = 1/3 \cdot L$	$L_1 = N \cdot r \cdot L = 4/3 \cdot L$
$N_2 = N^2 = 16$	$L_2 = r^2 \cdot L = 1/9 \cdot L$	$L_2 = N^2 \cdot r^2 \cdot L = 16/9 \cdot L$
\vdots		
$N^n = N^n = 4^n$	$L_n = r^n \cdot L = (1/3)^n \cdot L$	$L_n = N^n \cdot r^n \cdot L = (n \cdot r)^n \cdot L$

Fonte: FRANKHAUSER (1994).

Quando a constante c for igual a 2 (dois), o processo de interação gera triângulos equiláteros, resultando em uma série que origina uma estrela hexagonal (ilha de Koch), que está representada na Figura 4.2.

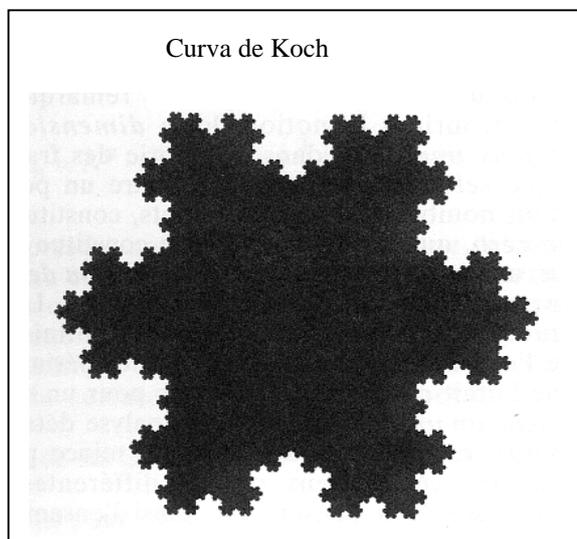


Figura 4.2: Curva de Koch apresentada pela geração de inúmeras interações. Fonte: FRANKHAUSER (1994).

A curva de Koch possui três características: (1), é irregular, rugosa e complexa; (2) manifesta auto-similaridade, na qual partes podem ser sucessivamente divididas, gerando versões da figura inicial; e (3) é um processo ideal, onde os níveis de interação são facilmente construídos, devido a simplicidade das regras.

A progressão geométrica na construção da curva de Koch manifesta a característica interminável do processo, com o perímetro infinito. No entanto, a superfície formada pela curva tende a seguir um caminho inverso, tornando mais delimitada, o processo é interrompido quando é perdida a visibilidade da figura iniciadora (DE COLA & LAN, 1993).

4.2. Tapete de Sierpinski

O tapete de Sierpinski pode ser interpretado como uma forma de reproduzir, em escalas variadas, o objeto em um plano bidimensional, revelando que os fractais podem ser gerados pela reprodução da figura iniciadora. A Figura 4.3,

mostra uma forma de reprodução, na qual a figura geradora é representada por uma caixa com $r=1/3$ e $N=5$, e copiada em escalas menores, distribuídas sucessivamente pela superfície de forma homogênea, preenchendo o espaço delimitado pela figura geradora.

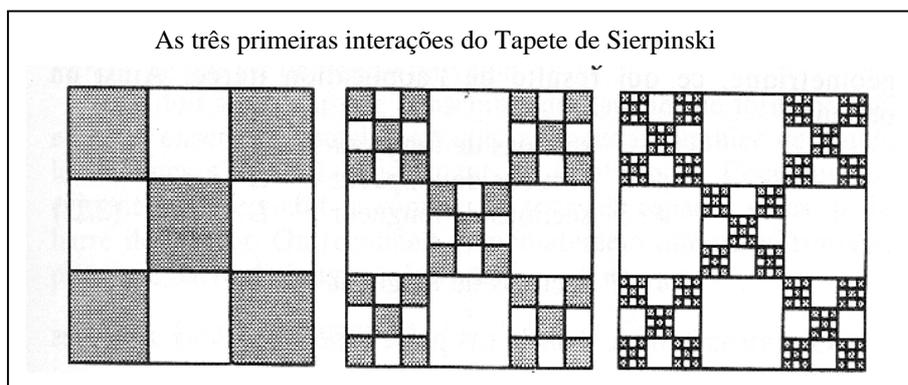


Figura 4.3: Representação das três primeiras interações do Tapete de Sierpinski. Fonte: FRANKHAUSER (1994).

O processo de geração do tapete de Sierpinski também pode ser realizado pela reprodução, em mesma escala, da figura iniciadora (um quadrado inicial), posicionando-a centralmente e distribuindo as cópias em suas diagonais (Figura 4.4). Este é um processo de extensão sucessiva de uma estrutura, que parte de um pequeno quadrado ao centro e distribui espacialmente os elementos, observando uma diluição radial (FRANKHAUSER, 1994; BATTY & LONGLEY, 1994).

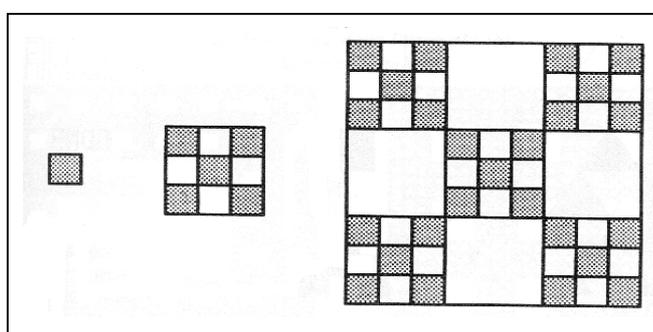


Figura 4.4: Construção do tapete de Sierpinski pela extensão, por reprodução, da figura inicial. Fonte: FRANKHAUSER (1994).

Uma importante característica do tapete de Sierpinski é a distribuição hierárquica das lacunas, representadas por base de mesmo gerador, mas com diferentes

figuras iniciadoras, ilustram que aumentando os níveis de interação a determinação do aspecto fractal é dada unicamente pelo gerador (Figura 4.5a). O gerador contém a informação suplementar que define a repartição das lacunas, mas que não pode afetar a dimensão fractal, pois figuras com lacunas distribuídas de formas diferentes podem apresentar o mesmo valor de dimensão fractal, como pode ser observado na Figura 4.5b (FRANKHAUSER, 1994).

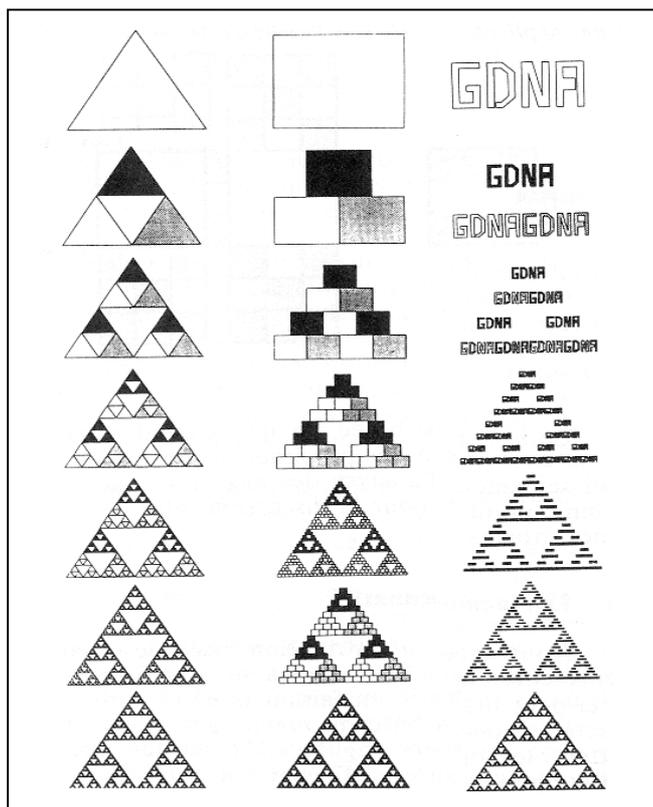


Figura 4.5a: Representação do mesmo tapete de Sierpinski, partindo de diferentes iniciadores. Fonte: FRANKHAUSER (1994).

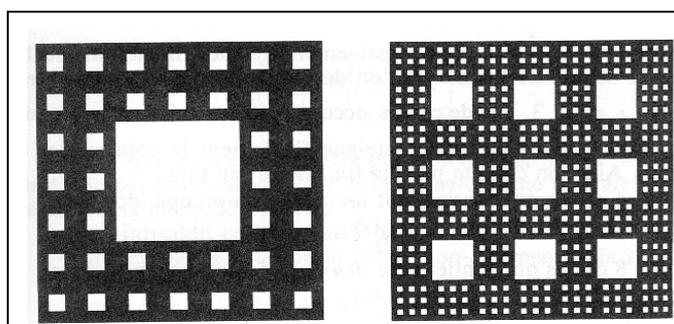


Figura 4.5b: Representação de dois tapetes de Sierpinski com representação de lacunas diferentes e mesmos parâmetros de interação $r=1/7$ e $N=24$. Fonte: FRANKHAUSER (1994).

4.3. Os Fractais Ramificados

As estruturas em árvores, ou em cascata, empregadas para mostrar como as figuras geradoras se relacionam com as figuras iniciadoras, são elas próprias um fractal. O princípio que determina o número de bifurcações em uma estrutura ramificada será igual a dois (bifurcação binária), três (bifurcação terciária) e assim por diante. O formato da estrutura ramificada deve apresentar largura proporcional ao comprimento. Desta forma, a bifurcação apresentaria números de ramificações não inferior a dois e nunca superior a três. No entanto, o fator principal que afeta o formato destas estruturas é o ângulo das bifurcações, o que não afeta o cálculo da dimensão fractal, pois este depende da redução das ramificações e do número de ramificações associadas ao tronco (BATTY & LONGLEY, 1994).

Freqüentemente, os ângulos das ramificações são escolhidos de forma que não ocorra sobreposição das estruturas, mas admite-se que possam se tocar. Quando a estrutura ramificada apresenta sobreposições, a dimensão fractal apresenta valores superiores a dois, indicando que ela recobre uma superfície maior que o plano. O melhor exemplo de estruturas ramificadas que preenchem o plano, é fornecido por ramificações em forma da letra “H”. A dimensão fractal destas estruturas é igual a dois, o ângulo destas ramificações é de 90° e taxa de redução de escala é de 0,707 (Figura 4.6).

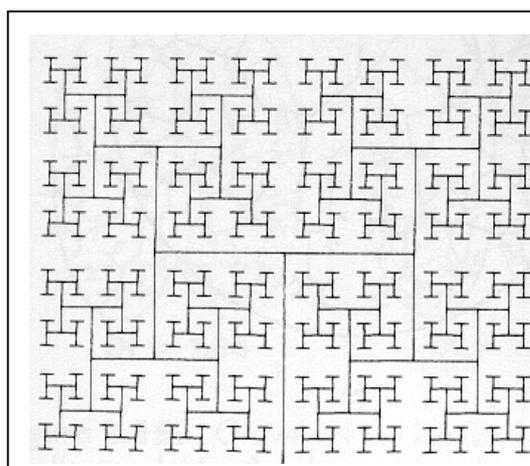


Figura 4.6: Representação de ramificações em forma de H, como plano de preenchimento do espaço.
Fonte: BATTY & LONGLEY (1994).

Ao reduzir o ângulo de ramificação para 85° e taxa de redução da escala para 0,7, a dimensão fractal reduz e o formato apresentado é uma curva clássica de preenchimento de espaço, geralmente empregada para determinar redes de transportes e a organização da ocupação residencial (Figura 4.7a). Pode ocorrer também uma bifurcação em “Y”, com grande aplicação nas análises de redes de drenagem e transportes (Figura 4.7.b).

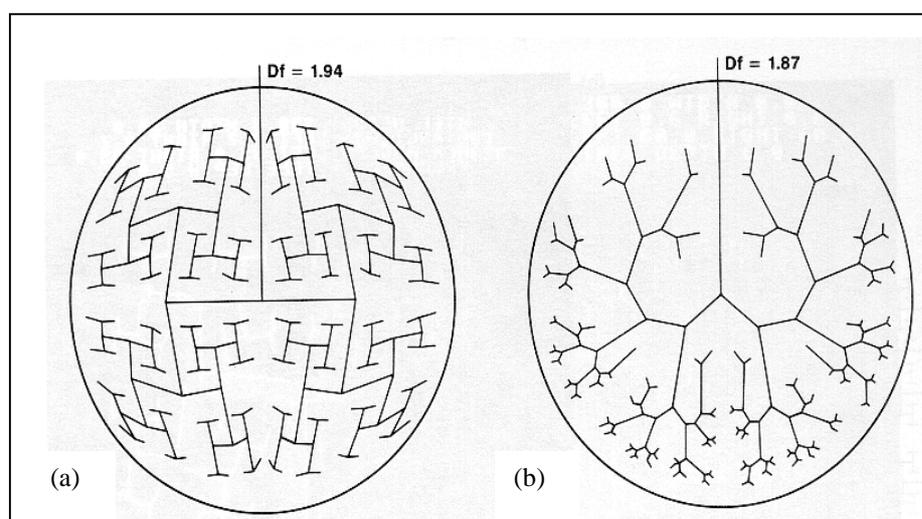


Figura 4.7: Representação de ramificações em H e Y mais adequada ao contexto real das formas espaciais. Fonte: BATTY & LONGLEY (1994)

A variação da estrutura ramificada representa o que acontece quando as bifurcações sucessivas não apresentam redução de escala. Nestas condições, são geradas bifurcações que se expandem infinitamente. Quando os ângulos das bifurcações estão em 90° o plano é completamente preenchido por quadrados, e se os ângulos são de 60° , por exemplo, formam-se hexágonos regulares (Figura 4.8), os quais são adotados para representar superfícies na teoria da localidade central de Christaller, proposta em 1933, e no modelo TIN (redes irregulares triangulares) (BATTY & LONGLEY, 1994; FRANKHAUSER, 1994).

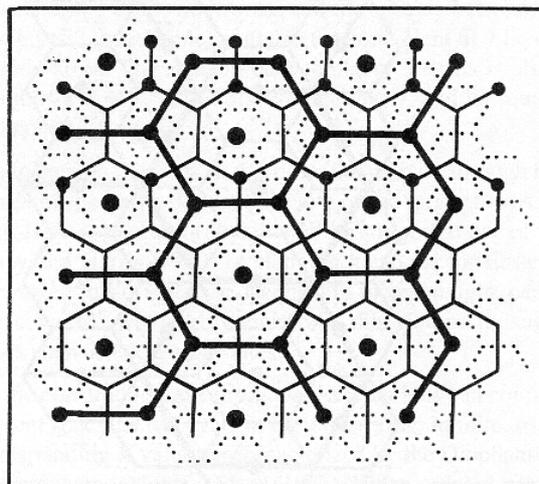


Figura 4.8: Representação de ramificações sem redução em escala, com recobrimento infinito do espaço. Fonte: ARLINGHAUS (1993)

4.4. Estimativa da Dimensão Fractal

A partir dos modelos fractais ideais, foram criados métodos para a estimativa da dimensão fractal com base em dados reais, que buscam obter informações tanto sobre a complexidade do padrão de distribuição de objetos no espaço, como sobre a ocupação da superfície e as modificações temporais do padrão da ocupação e de sua distribuição; constituindo-se desta forma em metodologias simples e viáveis para a modelagem dos fenômenos espaciais (BURROUGH, 1993).

A Tabela 4.2 apresenta uma síntese das possibilidades de estimativa da dimensão fractal e as respectivas relações geométricas que fundamentam tais estimativas.

Tabela 4.2: Métodos de estimativa de D a partir de amostra de dados.

Método	Relações	Estimativa de D
Método da divisão do comprimento de linhas	$L(\lambda) = lK^{1-D}$ λ é tamanho do passo K é uma constante	Plotagem do $\log L$ sobre $\log \lambda$; inclinação de reta é $1-D$
Área-perímetro	$A = KP^{2/D}$ A é área estimada P é perímetro estimado K é constante	Plotagem de $\log A$ sobre $\log P$; inclinação é $2/D$
Funcional contagem de caixas	$N(L) \propto L^{-D}$ $N(L)$ é número de caixas de tamanho L	Plotagem de $\log N(L)$ sobre $\log L$; inclinação é $-D$
Variograma	$2\gamma(h) = h^{4-2D}$ h é o intervalo de amostragem	Plotagem do $\log \gamma(h)$ sobre o $\log h$; inclinação é $(4-2D)$
Potência do espectro	$P(w) = w^{-(5-2D)}$ $P(w)$ é potência w é frequência	Plotagem do $\log P(w)$ sobre $\log w$; inclinação é $-(5-2D)$
Korczak-Zipf lei empírica para ilhas	$Nr(A > \alpha) = F\alpha^{(D/2)}$ $Nr(A > \alpha)$ é o número de ilhas maiores que o tamanho de α F é uma constante	Plotagem do $\log Nr(A > \alpha)$ sobre $\log \alpha$ inclinação é $(D/2)$;
Funcional contagem de células	$N(L) \propto L^{-D}$ $N(L)$ é o número de Quadrados separados (ou cubos) do lado L para cobrir o conjunto	Plotagem $\log N(L)$ sobre $\log L$; inclinação é $-D$

Fonte: BURROUGH (1993).

CAPÍTULO V

ANÁLISE FRACTAL EM GEOGRAFIA

A aplicação da análise fractal tem como principal função a de focalizar a regularidade e a simplicidade, na diversidade, irregularidade e complexidade das informações espaciais, fornecendo ao geógrafo uma rigorosa abordagem para fundamentar a mensuração, a análise e a representação quantitativa e geométrica do espaço real. A representação geométrica do espaço associa a Geografia à Geometria, descrevendo elementos reais na forma de figuras abstratas. A representação cartográfica é uma comparação explícita entre a complexidade da irregularidade geográfica e a propriedade ideal dos elementos espaciais, por meio de uma generalização capaz de associar estes elementos à sua forma e comportamento, em uma linguagem geométrica. A Tabela 5.1 apresenta os conceitos e sua representação na Geografia, Geometria, Cartografia e Geometria dos fractais (DE COLA & LAM, 1993).

Tabela 5.1: Conjunto de conceitos em Geografia, Geometria, Cartografia e Fractais.

Conceito	Geografia	Geometria clássica	Cartografia	Geometria fractal
Espaço	Real	Euclidiana	Projeções	Medida
Dimensão	Espaço-tempo=4	Espaço=N	Mapa=2	Espaço-N
Objetos	Elementos Pessoas Rios Cidades Montanhas	Figuras Pontos Linhas Polígonos Pirâmides	Entidades Posições Ramificações de linhas Polígonos Contornos	Conjuntos Traços Curvas, redes Aglomerados, ilhas Superfícies
Escala	Comprimentos típicos	Similaridade	Taxa de escala	Taxa de similaridade Escalonamento Resolução
Atributos	Tamanho Número Localização Forma	Comprimento, área, etc. Número Posição Similaridade	Comprimento, área, etc. Número Posição Formato	Mensuração Dimensão fractal

Fonte: DE COLA & LAM (1993).

Em algumas ciências de cunho espacial, como Geologia, Ciências do Solo, Geografia Física e Cartografia, a análise fractal tem sido direcionada principalmente à representação das formas, tamanhos da distribuição espacial de objetos como lagos, ilhas, cavernas e solos (LAN & DE COLA, 1993). A utilização da dimensão fractal é apropriada às Ciências Geográficas em virtude da capacidade de descrever quantitativamente aspectos físicos com alto grau de irregularidade e rugosidade da sua forma, em diversas escalas espaciais. É possível atribuir-se às estruturas destes aspectos físicos, a idéia de auto-similaridade, na qual a identificação do comportamento espacial ou organização de um sistema seja independente da escala (BURROUGH, 1993).

A contribuição da análise fractal no campo da Geociências estende-se aos estudos dos elementos da superfície, da rede hidrográfica, da topografia, do tempo geológico, da influência da economia sobre o espaço, da morfologia urbana e também da espacialidade das epidemias.

Nos estudos sobre as propriedades pedológicas, tem-se observado que a dimensão fractal varia de acordo com os processos morfológicos e a topografia da superfície, bem como, ao período da amostragem da constituição do solo.

Os aspectos topográficos exibem diferentes valores de D , que dependem de variação da altimétrica: aumento do valor de D em regiões mais elevadas e inclinadas, devido à suscetibilidade física e química do terreno a processos temporais; diminuição do valor de D nas regiões costeiras e planícies, devido aos processos de deposição sedimentar e ação da maré que suavizam a superfície (BURROUGH, 1993).

A aplicação da dimensão fractal ao estudo da superfície das rochas e à rugosidade das falhas geológicas tem demonstrado que as rochas não apresentam dimensão fractal homogênea, e por isto, a descrição da superfície rochosa total não pode ser realizada por meio de uma única dimensão fractal. Quanto à descrição da rugosidade da superfície em zonas de transição, a dimensão fractal é uma medida apropriada à generalização numérica de modelos de superfície mais realistas. Os processos físicos responsáveis por fraturas e a irregularidade de seus contornos sobre grande e pequenas distâncias, influenciam à estimativa da dimensão fractal, sendo possível relacionar as falhas de elevado valor de D à irregularidade da ruptura provocada por um abalo sísmico (BURROUGH, 1993).

Os estudos da poluição do solo baseados na dimensão fractal, tentam estimar de forma mais precisa possível, a quantidade de material prejudicial (metais pesados, produtos químicos orgânicos e não-orgânicos) presente no solo. As razões para essa determinação envolvem a constatação se um dado espaço territorial é viável ou não à uma atividade específica. A ausência de uma distribuição normal dos níveis de poluição do solo tornam o comportamento do fractal variado em diferentes resoluções, uma vez que a poluição é decorrente da atividade humana, que acontece em uma dada intensidade e resolução espacial. Por isso, considera-se cauteloso estabelecer pressupostos sobre grandes ocorrências a partir dos poluentes que são encontrados (BURROUGH, 1993).

A Tabela 5.2 apresenta estimativas do valor da dimensão fractal para informações geográficas sobre as propriedades físicas do solo, em diferentes localidades.

Tabela 5.2: Estimativa da dimensão fractal de dados geográficos.

Localização	Propriedade	Estimativa de D	Referência
Pais de Gales	Conteúdo de sódio no solo	1,7 – 1,9	Burrough, 1981
Austrália	Fósforo no solo	2,0	Burrough, 1981
	pH do solo	1,5	
	Potássio no solo	1,6	
França	Depósitos de ferro	1,4 – 1,9	Burrough, 1981
País de Gales	Resistência do solo	1,76 – 1,97	Armstrong, 1986
	Microtopografia	1,55 – 1,91	
Inglaterra	pH do solo	1,6 – 1,8	Burrough, 1983
América do Norte	Formas de relevo	2,13 – 2,83	Mark & Aronson, 1984
Mundial	Distribuição de estações meteorológicas	1,75	Lovejoy et. al., 1986
América do Norte	Superfície rochosa	0,82 – 1,68	Brown & Scholz, 1985
Mundial	Superfície terrestre	2,34 – 2,99	Avnir et. al., 1985
América do Norte	Superfícies de falha	1,001- 1,0066	Aviles et. al., 1987
Borneo	Cavernas de calcário	1,074 – 1,546	Laverty, 1987
Noruega	Áreas costeiras	1,10 – 1,98	Elliot, 1989

Fonte: BURROUGH (1993)

A dimensão fractal está associada, em teoria, também a elementos da geomorfologia fluvial, tais como: as relações entre a área da bacia, o comprimento do escoamento e a taxa de bifurcação de Horton e também a razão entre comprimento da vertente e o escoamento superficial. A dimensão fractal tem propriedades que permitem compreender a distribuição espacial das redes fluviais e analisar inclusive, a capacidade de drenagem de uma bacia (PHILLIPS, 1993).

A princípio a análise fractal tem sido empregada em geomorfologia, como uma ferramenta cartográfica e um parâmetro morfométrico, mas não apresenta um significado físico (tal qual ou até menos que os parâmetros morfométricos em geral). A utilidade da dimensão fractal tem sido confirmada em pesquisas sobre a complexidade espacial das formas de terreno, modelagem de terreno e na identificação de resolução-limites. Isto induz os estudos de geomorfologia à visualizar a dimensão fractal como uma propriedade inerente ao sistema geomórfico, ao invés de considerá-lo uma reflexão derivada das formas resultantes das relações processo-resposta de um sistema. Por isso, é prudente considerar as limitações da dimensão fractal e a necessidade de relacionar as formas com os processos (PHILLIPS, 1993).

A aplicação de modelos fractais na análise de dados socioeconômicos coletados e definidos na forma poligonal, demonstram a dificuldade em associar padrões e processos para uma análise mais compreensiva dos parâmetros reais para estabelecer comparações a partir de modelos com padrões controlados. Lam et. al. (1990) analisaram alguns problemas relacionados à estimativa da dimensão fractal de padrões de mortalidade por câncer na China. A partir da comparação entre métodos de mensuração de D baseados em variogramas e no modelo isarítimico, os resultados demonstraram valores similares de D , entre os métodos, mas com diferenças na resolução espacial.

Para Arlinghaus (1993), o modelamento da estrutura hierárquica de áreas comerciais pode ser realizado, em termos abstratos, pelo preenchimento do plano com figuras geométricas regulares, revelando a complexidade dos sistemas inter-urbanos devido à influência de fatores econômicos, sociais e topográficos na distribuição espacial da ocupação. A geometria fractal tem modelado esta distribuição, considerando-a como agrupamento de áreas em diferentes tamanhos, criando hierarquias baseadas nas necessidades econômicas locais. A aplicação da dimensão

fractal para mensurar estes agrupamentos e a rede hierárquica, é uma tentativa que tem por objetivo definir modelos com características mais aproximadas da realidade espacial, uma vez que os contornos das linhas gerados pelos métodos de análise fractal permite uma maior descrição da superfície. Assim, definindo os processos de preenchimento das formas com melhor distribuição e propondo derivações das formas iniciadoras com outros formatos geométricos, o que possibilita o gerenciamento dos dados em SIG e a análise espacial em diferentes escalas.

Os modelos topológicos das redes de canais assumem, desde Shreve, na década 60, que todas as redes são partes de uma infinita rede de canais topologicamente randômicas (TRCN). O princípio destes modelos está no fato de que a ausência de restrições ambientais (fatores geológicos) interferindo na rede de canais, confirma a expectativa de ocorrer os processos topologicamente randômicos. Para Goodchild e Klinkenberg (1993), esta é a hipótese nula, a ser rejeitada pela análise da dimensão fractal das redes de canais. Estes autores, consideram que a aceitação da hipótese nula depende do tamanho da amostra, assim, grandes bases amostrais tendem a demonstrar pequenas variações, enquanto uma pequena amostragem confirma o modelo de Shreve. A simulação das redes derivadas de superfícies de movimento Browniano fracionado (fBm), apresenta variações significativas em relação ao modelo infinito TRCN. A partir desta simulação constataram que: (1) muitas superfícies mostram uma tendência à classes com forma linear ou espinha de peixe, baixa ordem e elevada proporção de ramificações ligadas ao tronco principal. Esta tendência se torna maior a medida que as superfícies suavizam-se; (2) a proporção de ramificações é maior do que a esperada para bases amostrais pequenas; (3) há uma tendência da taxa de bifurcação exceder o que prevê o modelo TRCN, a medida que aumenta a ordem da base e grau o de suavidade.

Goodchild e Klinkenberg (1993), argumentam que as abordagens de redes hidrográficas em uma superfície topográfica contínua têm restrições de natureza geométrica, que fornecem uma segunda alternativa de rejeição do TRCN, assim é razoável admitir diferentes restrições das superfícies com elevada dependência da resolução ou variação periódica, tais como paisagens glaciais ou superfícies regionais com pouco variação topográfica. Entretanto, a superfície fBm não é suficientemente abrangente para ser empregada como uma hipótese nula apropriada. O modelo TRCN

infinito continua a ser o padrão em relação ao qual se estabelece comparações com redes de canais naturais, mas suas derivações não operam apenas frente as restrições geológicas. A simulação a partir do valor de D proporcionou efeitos visuais interessantes (valor de D variando de 2,1 a 2,7 para superfícies, respectivamente, suaves a rugosas), produzindo padrões e modelos de investigação com uma grande variedade de efeitos físicos que, particularmente, são adequados ao estudo da topografia.

Em climatologia, a análise fractal é aplicada principalmente a estudos sobre a distribuição global das chuvas, avaliando as escalas de precipitação diária e anual; sobre a estrutura fractal e correlação exponencial entre eventos chuvosos e também sobre a estrutura espacial da camada atmosférica e das nuvens. O emprego da análise fractal neste estudos possibilita a identificação e avaliação dos quadros das organizações espaciais na atmosfera e da classificação climática, a partir de informações sobre as características e o comportamento dos fenômenos meteorológicos, suas distribuições espaciais e temporais (CHRISTOFOLETTI, 1997).

CAPÍTULO VI

ANÁLISE FRACTAL DO ESPAÇO URBANO: REVISÃO DE MÉTODOS E TÉCNICAS

6.1. Geometria das Áreas Urbanas

A análise do espaço por meio de métodos baseados em geometria euclidiana, tem se mostrado insuficiente para identificar a diversidade e complexidade dos fatores que influenciam a geometria dos fenômenos espaciais, como por exemplo a análise da expansão urbana pela análise temporal de mapas da mancha urbana; análise da demografia e da economia em função da atividade humana (ocupação do solo) e das vias de transporte (acessibilidade) (BATTY & LONGLEY, 1994; TORRENS, 2000). Os métodos baseados na geometria fractal vem se caracterizando como uma alternativa para se identificar com maior precisão estes fenômenos.

A geometria clássica aborda o espaço com base nos preceitos da geometria euclidiana de N dimensões, examinando as formas espaciais a partir de elementos gráficos como ponto, linhas e polígonos. Estes elementos ou objetos são conhecidos como idealizações que não têm comprimento característico e nem tamanho absoluto. Apesar da geometria clássica determinar vários atributos dos objetos, não pode caracterizar precisamente as formas, exceto por estabelecer correspondências (igualdade e similaridade) entre um dado objeto geográfico e objetos geométricos ideais simples (linha ou elipses). Por outro lado, a geometria fractal retoma a riqueza original do fenômeno, permitindo que ele seja representado em diversas dimensões e visualizado em múltiplas escalas (DE COLA & LAM, 1993; UNWIN, 1989; XU et. al., 1993).

Embora a invariância por escala se constitua em uma das propriedades possíveis de serem conhecidas por meio da análise fractal, muitas vezes os fenômenos reais distorcem essa propriedade e não reproduzem com exatidão as mesmas feições

em outras escalas. Quando se amplia uma imagem, ocorre uma variação na precisão da medida, sem afetar, no entanto, a forma qualitativa, o que denominado por Goodchild e Mark (1987) de auto-similaridade estatística.

A densidade de construções e a densidade de população são variáveis que podem ser utilizadas na caracterização da situação sócio-demográfica de aglomerações metropolitanas por meio de análise fractal. Existem vários métodos para a análise fractal de cidades, entre eles destacam-se o método radial, o método de quadrículas e método de correlação (FRANKHAUSER, 1994).

O método radial analisa a diluição radial da superfície construída das áreas metropolitanas, permitindo a determinação da extensão média da zona urbana a partir da estrutura de construção, sendo a maior concentração de área construída posicionada no centro urbano e dispersão espacial direcionada para as áreas periféricas. O método baseado em quadrículas analisa a superfície construída, como se esta fosse constituída por várias agregações. A superfície urbanizada no mapa é coberta por um papel quadriculado ou por malha raster digital com resolução variável. Em qualquer resolução escolhida pode se quantificar o número de células preenchidas por elementos da estrutura urbana (Figura 6.1). O método de correlação analisa a probabilidade de dois pontos determinados por um raio a partir do centro possuir distâncias entre eles (um vetor de localização) menor que o tamanho de uma janela com variação de tamanho ε . Esta análise que considera a homogeneidade de pontos, pode servir como um indicador para avaliar o grau de dominância de uma aglomeração sobre o espaço ambiental.

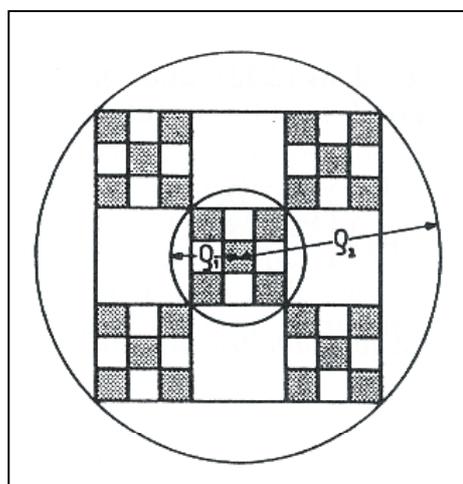


Figura 6.1: A determinação da dimensão fractal por contagem do número de elementos no interior da circunferência com raio variável (Q_1 , Q_2). Fonte: FRANKHAUSER (1994).

Nestes três métodos os resultados obtidos podem ser influenciados por alguns fatores tais como, o tamanho e a posição da janela escolhida na análise; a resolução utilizada no momento da digitalização; a representação cartográfica e escalar escolhida e a influência da topografia (FRANKHAUSER, 1994).

A influência da janela é observada na determinação da posição de seu baricentro, a qual deve enquadrar toda área ocupada pela agregação que será analisada. No estudo de áreas urbanas, não é possível utilizar para diferentes aglomerações o mesmo tamanho de janela, é preciso adaptar o tamanho da janela à extensão efetiva das aglomerações (a área de superfície construída deve estar coberta pela janela).

A influência da digitalização corresponde à resolução do crescimento da estrutura, sendo considerada resolução fina a qual apresenta maior detalhe. Existe um limite de resolução, o pixel, que corresponde a menor resolução da imagem. O efeito da resolução pode ser evidenciado quando se utiliza duas representações em diferentes escalas da mesma aglomeração. A influência da digitalização está diretamente relacionada com a escala da base cartográfica utilizada. A influência da base cartográfica está relacionada à capacidade de comparação, em que é preciso utilizar a mesma representação cartográfica para todas as aglomerações, assim como escolher a mesma posição e tamanho de janela.

As análises baseadas no método radial obtêm valores com menor variação que os resultados obtidos pelos métodos de quadrículas e de correlação. Comparando-se os resultados obtidos por Frankhauser (1994) para a cidade de Berlim, em duas representações cartográficas com escalas diferentes, observa-se que os valores de dimensão pelo método radial são mais regulares e mais elevados (Tabela 6.1 e Figura 6.2).

Tabela 6.1. Valores de dimensão fractal para a aglomeração urbana de Berlim, obtidos a partir de cartas em diferentes escalas e por diferentes métodos, para os anos 1910, 1920 e 1945.

		1:160.000	1:500.000
1910	$D^{(r)}$	1,94	1,93
	$D^{(q)}$	1,43	1,24
	$D^{(c)}$	1,05	1,60
1920	$D^{(r)}$	1,94	1,93
	$D^{(q)}$	1,55	1,39
	$D^{(c)}$	1,59	1,54
1945	$D^{(r)}$	1,97	1,83
	$D^{(q)}$	1,68	1,54
	$D^{(c)}$	1,60	1,71

Obs: $D^{(r)}$ significa dimensão fractal pelo método radial; $D^{(q)}$ significa dimensão fractal pelo método de quadrículas; $D^{(c)}$ significa dimensão fractal pelo método de correlação. Fonte: FRANKHAUSER (1994).

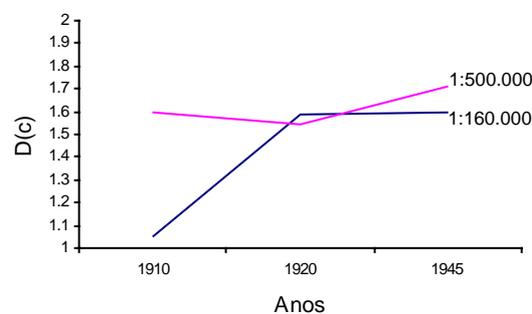
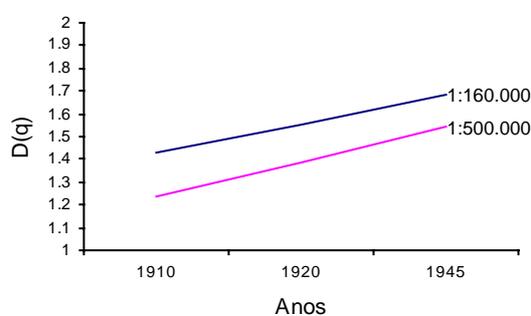
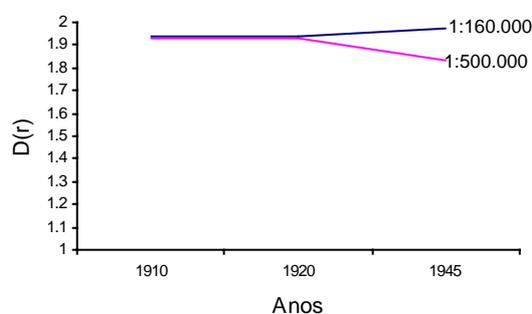


Figura 6.2: Comportamento da dimensão fractal para a aglomeração urbana de Berlim, obtidos a partir de cartas em diferentes escalas e por diferentes métodos, para os anos 1910, 1920 e 1945. Fonte: FRANKHAUSER (1994).

Embora a topografia não influencia diretamente a observação da dimensão fractal de uma aglomeração urbana, esta questão não pode ser generalizada. Apesar da topografia não influenciar a evolução espacial de algumas cidades, isto não acontece em cidades litorâneas onde a topografia induz o crescimento urbano ao longo da costa e impossibilita a construção de casas nas vertentes de falésias, morros, serras. Por outro lado, existem cidades que crescem em áreas montanhosas e em vales, assim o processo de ocupação se torna mais uma decisão política, econômica e social do que uma adequação as características físicas da área (FRANKHAUSER, 1994).

6.2. Análise Espacial Urbana pela Dimensão Fractal

Algumas propriedades da geometria fractal são concordantes com a estrutura de aglomerações urbanas, mas mesmo assim, a utilização da análise da dimensão fractal exige avaliar se os conceitos aplicados são condizentes com cada realidade a ser representada. Pode-se constatar que cada construção ocupa uma certa superfície no solo e cada uma faz parte de um todo, sendo que a disposição da ocupação depende do critério dos cidadãos em estabelecerem-se em determinada área. A partir da disposição das áreas construídas, ocorre o desenvolvimento das redes de circulação. Assim, pode ser considerado que a interação entre a ação dos habitantes ao exercer certas atividades econômicas e a função de comunicação da rede de transportes determinam a geometria de uma malha urbana.

Na análise de áreas urbanas, uma das primeiras aplicações possíveis é o estudo do uso e ocupação do solo, principalmente a ocupação do solo por área construída. Esta análise pode abordar características bem diferentes, dependendo do nível de observação utilizado. A representação cartográfica ao nível regional apresenta certas informações relacionadas à repartição espacial das aglomerações e sobre a forma de suas extensões. O outro nível, o local, apresenta informações sobre as características das habitações, das vias de circulação e das quadras. Considera-se o fractal, uma forma de comparar os diferentes níveis de observação analisando os elementos de uma estrutura com variações que exprimem desde noções de homogeneidade interna como a de repartição espacial das construções nas cidades (BATTY et al., 1989; FRANKHAUSER, 1994).

Destacam-se dois aspectos na observação dos aglomerados urbanos: a) existe um centro que em primeira abordagem é compacto, apresentando uma acumulação densa de área construída com o mínimo de área para a circulação; b) as outras áreas em torno do centro, ocupam o espaço em uma distribuição hierárquica, dependendo da taxa de ocupação do solo (sendo pequena ou larga a lacuna de espaços vazios). Os espaços vazios de uma distribuição possuem número infinito de pequenas lacunas, que são aparentes dependendo da resolução da imagem. Assim, em uma escala regional, a cidade se apresenta com maior ou menor taxa de espaços vazios. A observação em escala mais detalhada, em forma de quadras e ruas, a ocorrência de espaços vazios é vista de outra maneira, como a largura das ruas, o tamanho das praças (FRANKHAUSER, 1994; TORRENS, 2000).

Considera-se que a geometria de ocupação da superfície do “Tapete de Sierpinski” (Figura 4.3) possui aspectos comparáveis à análise da ocupação do solo em geografia. Esta analogia, apresenta um modelo de fractal que é o modelo de construção correspondente a um sobrevôo em cidade com detalhamento cada vez maior, para possibilitar uma interpretação e análise do crescimento da superfície da cidade (FRANKHOUSER, 1994).

Na escala regional, e/ou na escala das áreas metropolitanas, o aspecto fractal é estreitamente ligado à morfologia da área construída, manifestando a relação perímetro/área e definido pela forma das bordas das aglomerações. A dimensão fractal é importante para interpretação dos processos de crescimento urbano, assim, o detalhamento das quadras proporciona uma organização hierárquica dos diferentes usos do solo. Outra aplicação da dimensão fractal insere-se no conjuntos das pesquisas relacionadas à via de transportes em escala regional.

A aplicação da geometria fractal nas estruturas urbanas possibilita a descrição quantitativa das seguintes estruturas:

a) das estruturas ramificadas de aspectos lineares:

- limites das aglomerações
- pesquisas de transporte

b) da estruturação da superfície:

- ocupação do solo
- utilização do solo

A procura por modelos que possam identificar os fatores locais e globais que regem o desenvolvimento e que estariam relacionados ao desenvolvimento urbano real, têm conduzido a investigação de inúmeras simulações teóricas. Para BATTY et. al. (1993), a abordagem da agregação por difusão limitada (DLA) gera estruturas com formas de dendritos capazes de simular com bastante semelhança o desenvolvimento espacial e temporal das estruturas urbanas. A Figura 6.3 ilustra a análise da área urbana a partir deste método.

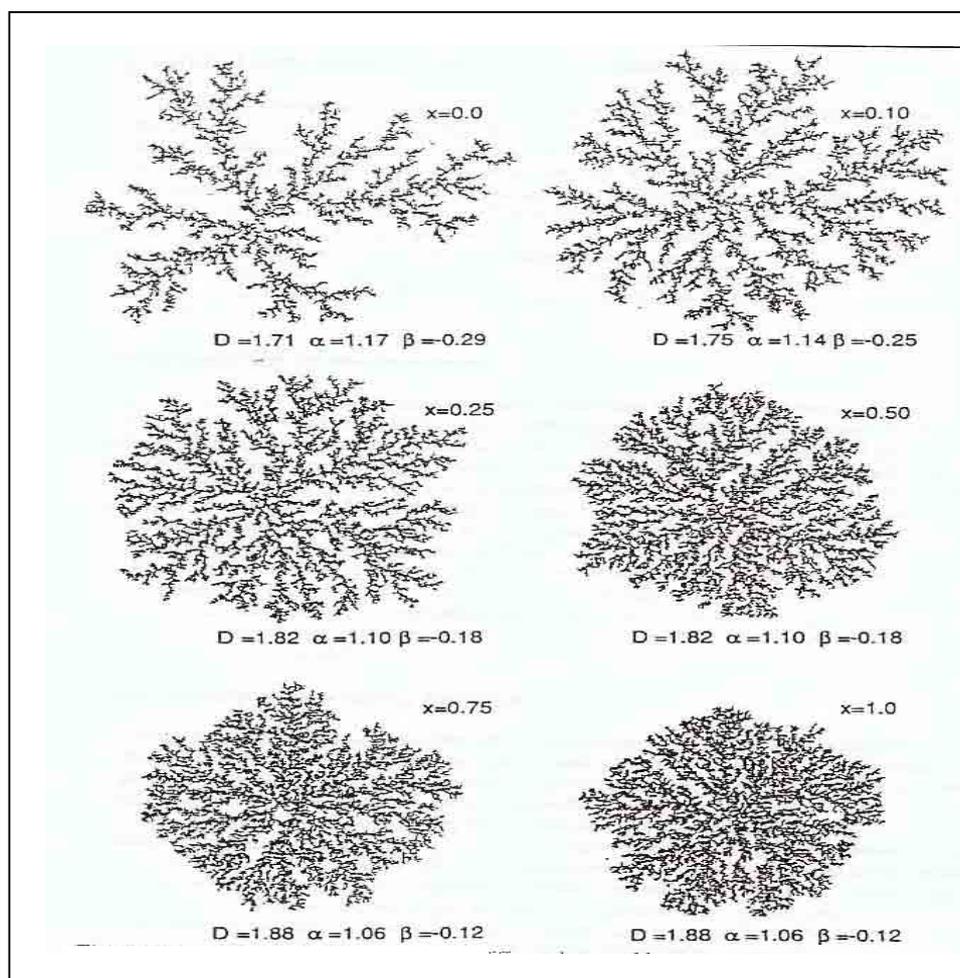


Figura 6.3: Exemplo de representação do crescimento urbano pelo método de DLA, gerando estruturas com formas de dendritos. Fonte: FOTHEERINGHAM et. al. (1989).

FOTHERINGHAM et. al. (1989), propõem que a área de expansão urbana pode ser controlada por dois parâmetros. O primeiro parâmetro (x), ou força direcional de tração com movimentação para frente ou para traz a partir de um ponto

inicial pré-fixado (quando $x = 0$), e movimento apenas para frente, quando $x = 1$. O segundo parâmetro (y) controla o grau de atração do foco central, indicando a não predominância de movimentos direcionais para a frente do centro (quando $y = 0$) e indicando movimentos unidirecionais a frente do ponto central (quando $y = 1$). Valores altos de x estão associados a altos valores de D , pois as estruturas preenchem mais espaço em uma determinada área. As estruturas tornam-se muito compactas quando y aumenta e podem alcançar o limite de uma massa densa aproximadamente circular quando $y = 1$. As Figuras 6.4a e b ilustram a aplicação da análise das tendências de crescimento.

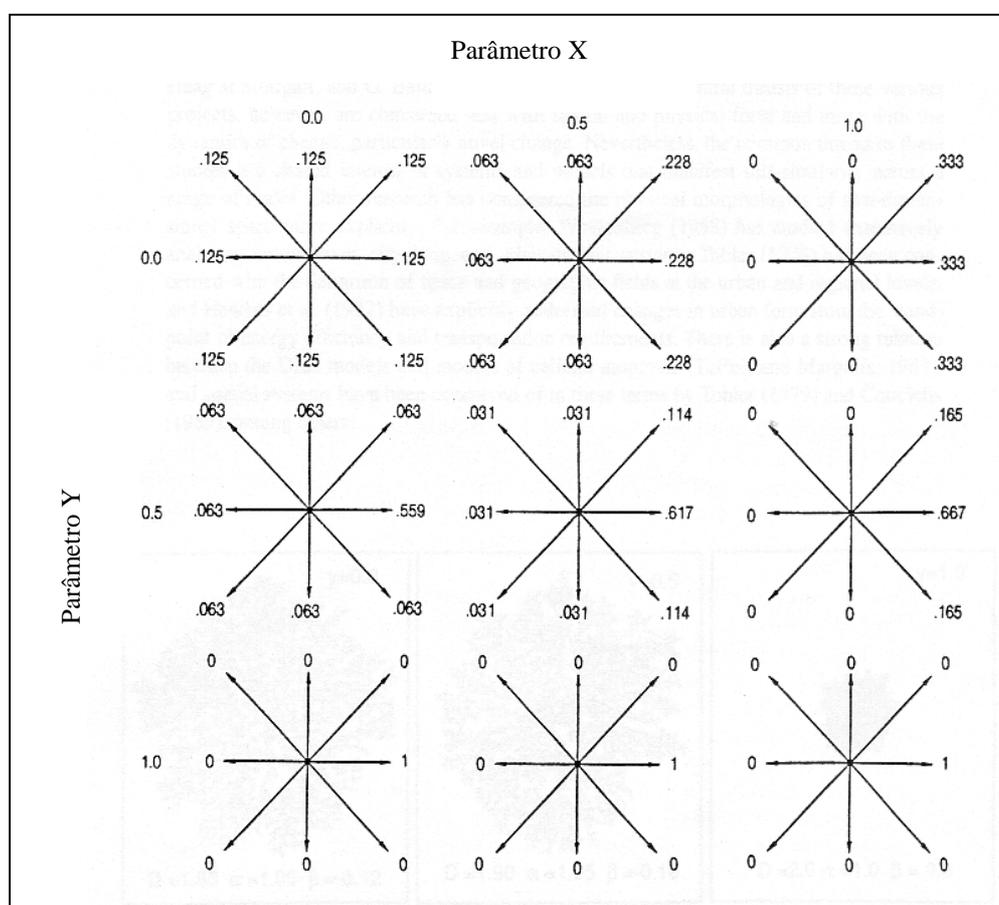


Figura 6.4a: Exemplo da probabilidade de movimento da expansão urbana segundo o parâmetro “ x ” e “ y ”. Fonte: FOTHEERINGHAM et. al. (1989).

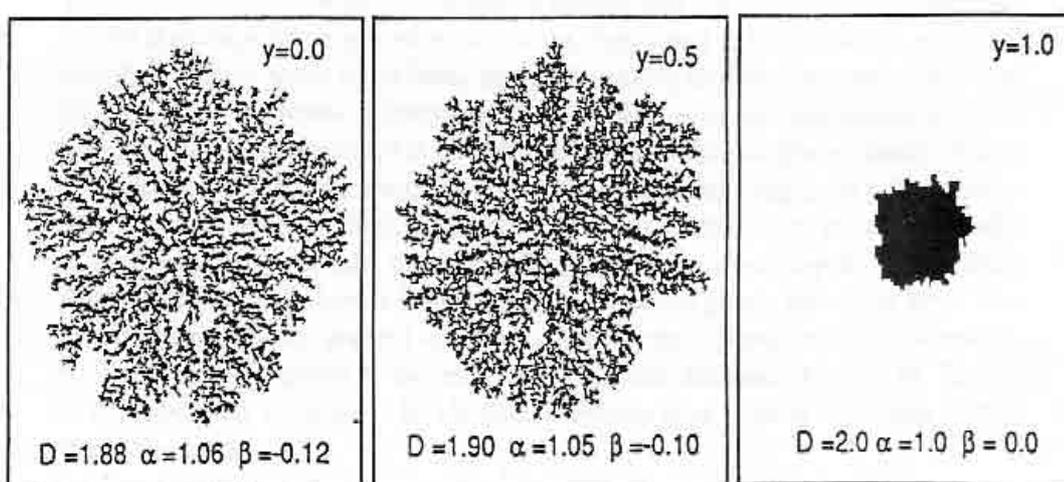


Figura 6.4b: Exemplo da variação no crescimento e densidade das estruturas segundo o gradiente dos parâmetros “x” e “y”. Fonte: FORTHERINGHAM et. al. (1989).

Nas áreas metropolitanas, os aspectos fractais do crescimento urbano estão associados à repartição desigual da área construída. Esta morfologia fragmentada das áreas metropolitanas não se explica pela intenção do planejamento urbano, mas deve ser interpretada como resultado de um processo de auto-organização.

A observação de uma estrutura fractal de aglomerações urbanas indica que o crescimento urbano é submisso à certas influências responsáveis pela morfologia fractal observada. Na aplicação dos modelos de dimensão fractal fundamentados nos métodos radial, de quadrículas e de correlação, Frankhauser (1994) identificou que todos os modelos servem para explicar ou simular a evolução espacial das cidades, porém descrevem o crescimento urbano como um crescimento fractal. Assim, ocorre a necessidade de se descobrir quais os fatores que influenciam o processo de crescimento e no surgimento desta morfologia.

No estudo do desenvolvimento urbano de uma metrópole pode-se realizar uma seqüência temporal de análise por dimensão fractal, e tentar estabelecer-se uma relação entre a linha do tempo e o crescimento desta aglomeração, considerando para cada período, os respectivos planos de urbanização. Na observação das características fractais para cada período, demonstra-se que a extensão espacial é efetivamente um processo de crescimento que preserva os aspectos fragmentados da

aglomeração durante longos períodos, o que pode ser chamado de dimensões históricas do crescimento urbano, levando a estabelecer uma ligação entre evolução espacial das cidades e a fragmentação das aglomerações. A extensão das cidades ao longo de novas vias de circulação e a interação entre o desenvolvimento dos meios de transporte com a evolução econômica e populacional, provocam um efeito de auto-organização que determinam as novas vias de circulação (BATTY & LONGLEY, 1994; FRANKHAUSER, 1994).

A análise do crescimento urbano mostra que esta evolução é dada pelo crescimento axial ou de estrutura policêntrica. Estes efeitos aparecem independente de projetos de urbanização responsáveis por minimizar estes efeitos da auto-organização.

No crescimento radial, a extensão urbana acompanha as principais vias de transporte, férrea ou rodoviária. Esta rede demonstra um aspecto radial do fractal, que se manifesta pela diluição radial da área construída a partir de um cruzamento central urbano. A forma do aglomerado urbano ou área construída é estabelecida em planos circulares, embora em alguns casos, pode ocorrer o plano setorial. Este conceito representa o desenvolvimento axial das aglomerações, entretanto em certos períodos ocorre a desagregação das aglomerações e o declínio das vias centrais de circulação, sugerindo que a estrutura urbana não possui regularidade. Quando as vias centrais são remanejadas com sucesso, significa uma persistência da morfologia axial. No crescimento policêntrico, os centros representam as funções de áreas centrais de uso interno e observa-se uma hierarquia no interior da área metropolitana, apresentando uma certa autonomia da evolução espacial dos centros, reforçando a característica fragmentada da urbanização. (FRANKHAUSER, 1994).

A preservação dos espaços verdes é importante para a manutenção da estrutura fractal das aglomerações urbanas. Os espaços verdes não fazem parte de todos os planos de urbanização, mas a estrutura fragmentada urbana exige que exista uma hierarquia interna da organização espacial das áreas verdes. O aspecto fragmentado é o resultado da interação de dois sistemas diferentes: as vias de transportes e os espaços vazios. Os outros efeitos referem-se à desagregação espacial das áreas urbanas decorrentes de fatores socioeconômicos.

Os estudos da evolução da morfologia dos aglomerados urbanos após a Revolução Industrial, comparados aos respectivos planos urbanísticos, permitiram

constatar que estes não influenciam diretamente o nível de desenvolvimento das áreas metropolitanas, sugerindo que existam processos de auto-organização que são responsáveis pelo crescimento axial ou policêntrico, como além também, dos processos socioeconômicos, também relacionados ao surgimento de estruturas fragmentárias (BATTY et. al., 1989; FRANKHAUSER, 1994).

O crescimento urbano ao longo de linhas da rede viária próximas à áreas comerciais e industriais, caracterizam as aglomerações com perfil de centro econômico e administrativo. Nestes centros, a rede viária é centrípeta e configura-se como uma estrutura radial e ramificada, o que desencadeia o crescimento radial ao longo das vias de transportes mais importantes, atribuindo uma morfologia radial às aglomerações, em formato de estrelas. A introdução do automóvel permitiu maior liberdade de circulação, possibilitando a urbanização de áreas mais afastadas, como as rurais. Conseqüentemente, o espaço urbanizado assumiu uma forma homogênea e compacta, provocando a interação entre a malha da rede de circulação e a repartição das habitações. Como a dimensão do fluxo de transporte depende do número de habitações e das funções administrativa e econômica de uma cidade, esta organização hierárquica influenciou a distribuição de fluxo nas redes formadas pelas cidades que compõem as áreas metropolitanas. Assim, o crescimento policêntrico, que está ligado a uma hierarquia de seus centros, influencia a morfologia das redes de transportes, fator importante para o crescimento axial e para o desenvolvimento espacial futuro da área urbana, demonstrando interação entre crescimento policêntrico e o crescimento axial (BATTY & LONGLEY, 1994; FRANKHAUSER, 1994).

A evolução demográfica e a interação socioeconômica entre os diferentes grupos de cidades analisadas por Frankhauser (1994), demonstraram como o processo de crescimento está estreitamente ligado à migrações internas da população. Este quadro resulta em diferentes tipos de utilização do solo, ocasionado pela distribuição desigual da população pela cidade. Quando um grupo populacional cresce, parte desta população busca nova residência e/ou nova profissão, ocorrendo a penetração em áreas limítrofes, gerando as invasões e sucessões.

O aspecto fractal de uma aglomeração, acompanha a evolução urbana, e a evolução da dimensão fractal caracteriza a da organização espacial da área urbanizada. Assim, quando a dimensão fractal é constante durante o período de tempo

analisado, significa que a cidade cresce seguindo uma lei alométrica, ou seja, o crescimento é contínuo no espaço. Se a dimensão fractal aumenta, indica uma evolução urbana com repartição mais homogênea da superfície construída. Quando a dimensão fractal diminui, indica que a repartição da área construída é heterogênea, ocorrendo um crescimento espalhado das áreas construídas de maneira desigual no espaço (BATTY & LONGLEY, 1994).

A dimensão fractal é um parâmetro que descreve um princípio de ordem interna das estruturas e pode descrever a organização espacial destas aglomerações, pois a repartição da superfície construída obedece a lei fractal, tanto em escala regional como na escala dos aglomerados. Desta forma, é possível mensurar e caracterizar a repartição hierárquica da superfície construída, distinguindo-se várias categorias de desenvolvimento das aglomerações.

Uma vez que o tecido urbano sugere uma lei fractal devido seus aspectos irregulares, o princípio de ordem interna facilita a análise dos processos socioeconômicos suscetíveis de serem responsáveis pela decomposição das aglomerações. Para checar as características da evolução urbana que mostram um crescimento fractal das cidades, devem ser considerados três fatores: a importância das vias de circulação ou acesso, o crescimento policêntrico e a tendência de preservação de áreas centrais (FRANKHAUSER, 1994).

A fragmentação do espaço construído aparece como um fenômeno característico do crescimento urbano, tornando-se difícil traçar uma lógica interna devido à complexidade de sua estrutura. Para Frankhauser (1994), a relação entre perímetro e área de algumas metrópoles indica sempre a existência de um princípio de ordem interna de organização espacial das aglomerações, refletindo na morfologia irregular das bordas urbanas.

O estudo das principais características de novos tipos de objetos geométricos mostra que a fragmentação está estreitamente ligada à existência de uma organização espacial hierárquica. Assim, uma distribuição fractal dos elementos ou objetos de uma superfície nunca é homogênea, mas mostra uma série hierárquica de agregações que pode ser descrita por uma mensuração particular, a dimensão fractal.

A análise fractal tem servido para estudos da malha urbana, tanto em relação às áreas metropolitanas, quanto aos estudos efetuados por quadras. No estudo

da fragmentação urbana por quadras, a análise fractal permite determinar a distribuição hierárquica por ruas.

As aglomerações possuem redes de transportes comum. A dimensão fractal se caracteriza como um valor mediador da qualidade da rede: um valor baixo de dimensão indica uma forte característica hierárquica da rede e uma repartição não homogênea na superfície. Apesar destas redes obedecerem a lei fractal, isto não ocorre com a mesma evidência que as nas superfícies construídas.

A dimensão fractal pode servir para quantificar estruturas complexas como malhas urbanas e descobrir aspectos particulares não aparentes o que autoriza o uso dos fractais na análise da estrutura e da morfologia de regiões metropolitanas.

6.2.1. Estimativa da dimensão fractal de áreas urbanas

O crescimento urbano ocorre de forma dinâmica no tempo. A simulação da expansão urbana a partir de raios concêntricos e da contagem de células são procedimentos que permitem caracterizar esta dinâmica temporal e analisar a morfologia urbana a partir de sua evolução espacial.

De acordo com estudos desenvolvidos por Goodchild (1980), Batty e Longley (1986) (1988) (1994), Longley e Batty (1989); Car e Benzer (1991), Batty et. al. (1993), De Cola e Lam (1993), Frankhauser (1994) E Longley e Mesev (2001), pode-se estudar a evolução espacial urbana a partir de modelos da geometria fractal, constituindo-se em um método de avaliação morfológica e geométrica da organização espacial dos aglomerados urbanos. Em geometria fractal, a determinação da dimensão de um objeto pode ser obtida pelas relações:

$$N(r) = Kr^{-D} \quad (6.1)$$

e

$$L(r) = N(r)r = Kr^{(1-D)} \quad (6.2)$$

onde $N(r)$ e $L(r)$ são respectivamente a quantidade de partes e o comprimento do objeto, sendo K uma constante de proporcionalidade. Se temos uma série de

observações de $N(r)$ e $L(r)$ em diferentes escalas r , pode-se derivar a dimensão fractal, transformando as equações 6.1 e 6.2 em logaritmos, realizando-se posteriormente a regressão linear entre estas variáveis.

Na determinação da dimensão fractal de um objeto por regressão linear entre a medida de comprimento do objeto e a resolução espacial, utiliza-se logaritmos naturais, tais como:

$$\log L(r) = \log K + (1 - D)\log r \quad (6.3)$$

onde $(1-D)$ é a inclinação da reta de regressão.

Para se derivar a dimensão de um conjunto de objetos, de diferentes tamanhos, e medidos em uma mesma escala r , com razão escalar $1/r$, utiliza-se diretamente o tamanho de R , o tamanho do objeto. Desta forma, a equação pode então ser expressa da seguinte forma:

$$L(r) = K(R/r)^D r = KR^D r^{(1-D)} \quad (6.4)$$

Quando a escala é fixa, r $(1-D)$ é constante e, o tamanho do objeto (R) variar, a transformação dos componentes da equação em logaritmos nos dá:

$$\log L_i = \log G + \frac{D}{2} \log A_i \quad (6.5)$$

Outro método de mensuração da dimensão fractal de um objeto, baseia-se na simulação do crescimento ou do declínio do tamanho do objeto ao variar-se a resolução espacial. A massa do objeto é medida a partir do número de partes contidos na resolução r ($N(r)$), considerando R o tamanho do objeto, a equação pode ser escrita:

$$N(r) = K \left(\frac{R}{r} \right)^D \quad (6.6)$$

Tendo-se uma escala fixa r e a massa ou número de partes do objetos escalonados por R , obtém-se:

$$N(r) = ZR^D \quad (6.7)$$

onde Z é uma constante de proporcionalidade dependente da resolução.

Tomando-se como referência a área do objeto $A(r)$, normaliza-se então a equação, que calcula a densidade de área construída:

$$\rho(R) = \frac{N(R)}{A(r)} = Z = \frac{R^D}{\pi R^2} \sim R^{D-2} \quad (6.8)$$

Pode-se determinar assim a dimensão fractal, resolvendo-se equação 6.8:

$$D(R) \sim 2 + \frac{\log \rho(R)}{\log R} \quad (6.9)$$

onde $\rho(R)$ é a densidade de área construída no aglomerado urbano.

Na análise do crescimento e da evolução de sistemas naturais, a alometria é considerada uma medida de valor relativo do objeto, pois com base em grandezas conhecidas, de tamanho e resolução, pode-se obter o tamanho real do objeto.

A relação alométrica associa o tamanho do objeto, tendo como referência uma unidade de comprimento conhecida. Ou seja, para se mensurar o tamanho de um sistema E , com base na geometria Euclidiana, pode-se definir pontos quando $E=0$; linhas quando $E=1$; planos quando $E=2$; e volumes quando $E=3$. Se for empregado como padrão de comparação uma medida de comprimento em uma dimensão com tamanho de r conhecido, têm-se objetos cujo escalonamento variam igual ao ponto se R^0 , igual à linha se R^1 , igual ao plano se R^2 e assim por diante. Em geral, a relação de escalonamento é R^E . Se o tamanho do objeto em questão é estimado com escalonamento igual a R^E , se refere a um escalonamento isométrico. Se o objeto for escalonado igual R^D com $D < E$, tem-se alometria negativa, e se $D > E$ alometria positiva.

A forma básica da densidade de ocupação pode ser considerada como o escalonamento entre ocupação $N(R)$ e a área $A(R)$, onde R é alguma medida da dimensão linear do espaço, assim:

$$N(R) \sim A(R)^\phi \quad (6.10)$$

onde ϕ é a densidade de ocupação em relação a distância do centro urbano.

Se, $\phi > 1$ a ocupação preenche melhor as duas dimensões do espaço,

$\phi < 1$ a ocupação preenche menos o espaço avaliado.

Os estudos da relação alométrica sobre diferentes tamanhos de cidades são baseados, geralmente, no pressuposto de que a cidade cresce até a terceira dimensão. A equação acima demonstra uma alometria positiva. No caso intra-urbano, a densidade de ocupação declina com o crescimento da distância em relação ao centro, ocorrendo uma alometria negativa. Primeiramente é obtida a medida de área com o padrão de comparação de comprimento R , permitindo uma associação desta análise às funções de densidade de ocupação. A equação 6.10 pode ser então rescrita da seguinte maneira:

$$N(R) = \gamma A^\phi = \gamma (\pi R^2)^\phi = \varphi R^D \quad (6.11)$$

na qual assume-se que a distância associada à área é dada como $R = \sqrt{A}$, e γ e φ são constantes de proporcionalidade. Nesta equação, fica claro que $D = 2\phi$ e $\phi < 1$ quando $D < 2$. Para Takayasu (1989) apud Batty e Longley (1994), D pode ser considerado como dimensão efetiva, mas para Batty e Longley (1994) D é denominado de dimensão fractal.

Para encontrar o valor de D para um cidade, pode-se relacionar a equação de densidade de ocupação em termos da relação de escalonamento, baseando-se no padrão de comparação de comprimento R e explicitamente contando com o parâmetro D . A equação então passa a ser escrita na forma abaixo:

$$\rho(R) = \frac{N(R)}{A(R)} \sim A(R)^{\phi-1} \quad (6.12)$$

Nesta equação, verifica-se que a ocupação é isométrica com área e $\phi=1$, quando $\rho(R)$ é constante. A densidade de ocupação declina com o alongamento da distância do centro quando o expoente da equação é menor que 0 (zero), ou $\phi - 1 < 1$. Com o passar do tempo é pouco possível, mas pode ocorrer, que ϕ tenha valores superiores a 1, implicando assim no aumento da densidade de ocupação com o aumento da distância do centro. Explicitando o termo do padrão de comparação R , tem-se:

$$\rho(R) = \frac{\phi R^D}{\pi R^2} = \varepsilon R^{D-2} \quad (6.13)$$

na qual, a densidade declina com a distância, sendo a dimensão fractal D menor que 2, indicando que neste caso na cidade, não serão preenchidos o espaço bidimensional avaliado.

Os dados de ocupação podem ser analisados sob uma malha fina, onde cada unidade de ocupação é localizada como um ponto nesta malha formada por células de mesmo tamanho. Neste caso, uma boa aproximação da densidade da equação 6.13 é $\rho(R) \sim R^{D-2}$, dá-se quando a constante de proporcionalidade não é maior que à resolução espacial. Então, para qualquer distância R a partir do centro, D pode ser calculado através da seguinte transformação:

$$\rho(R) = \frac{A(R)}{\hat{A}(R)} \sim \frac{\pi R^D}{\pi R^2} = R^{D-2} \quad (6.14)$$

A partir da equação 5.14, pode-se aproximar a dimensão fractal para qualquer densidade $\rho(R)$, sendo R a distância a partir do centro urbano, da forma abaixo:

$$D(R) = 2 + \frac{\log \rho(R)}{\log R} \quad (6.15)$$

Pode-se produzir continuamente diferentes valores variando-se a dimensão $D(R)$ em relação ao crescimento da distância em relação ao centro (R). O gráfico obtido a partir desta variação pode ser tomado como referência para a assinatura fractal da área urbana (Figura 6.5). Outro valor que pode ser subtraído da equação é o valor médio da dimensão, obtido a partir da média da densidade $\rho(R)$ em raios R .

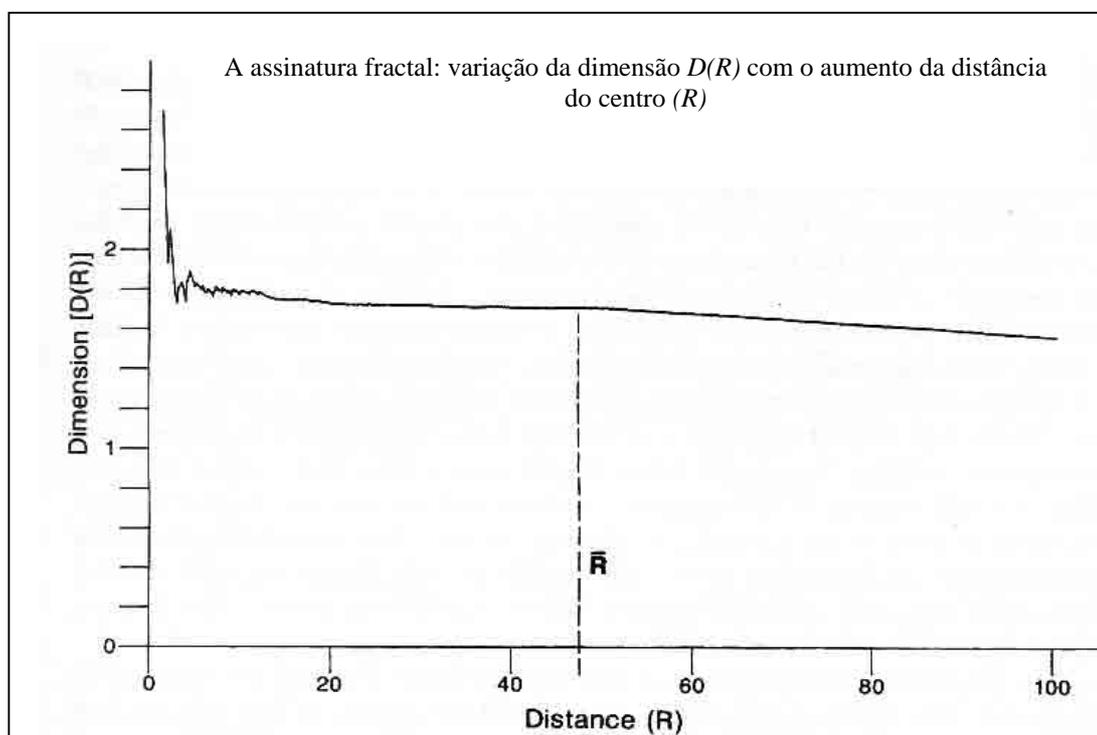


Figura 6.5: Representação gráfica da assinatura fractal da dimensão $D(R)$ de uma área urbana. Fonte: BATTY & LONGLEY (1994).

Frankhauser (1992) calculou a medida para diferentes cidades do mundo, utilizando dois métodos: o de raios concêntricos e o de contagem de células. A dimensão fractal das cidades evidencia partes ou fragmentos distribuídos em um plano, podendo ser calculada a partir de dois conjuntos de relações de escalonamento de fronteiras ou de limites determinados previamente. Qualquer escalonamento está

baseado nas relações entre quatro parâmetros: $N(r)$, $L(r)$, $A(r)$ e $\rho(r)$, sendo utilizado na forma de $N(R)$ e $\rho(R)$ e nas relações perímetro-área. Se o fractal é uma dilatação perfeita em cada resolução, como no caso do tapete de Sierpinski, para se calcular a dimensão fractal pode-se realizar somente uma observação em uma resolução fixa, devido a similaridade perfeita.

A mensuração da dimensão fractal do aglomerado urbano pode também ser obtida a partir da relação perímetro-área utilizando-se outros parâmetros.

Na geometria Euclidiana, a medida de tamanho em uma dada dimensão, é escalonada diretamente com uma medida em outra dimensão. Considerando a área A e o volume V , respectivamente, em duas e três dimensões, obtêm-se que a área tem tamanho calculado como o quadrado da medida da linha L (L^2), enquanto o volume tem tamanho L^3 . Se for requerido derivar área a partir do volume, esta pode ser dada como $A \propto V^{2/3}$. Mas, se for requerido que linha L , ou perímetro, seja derivado a partir da área A , a relação passa a ser:

$$L \propto A^{1/2} \quad (6.16)$$

Toda relação semelhante com a equação acima, mostra que o tamanho em uma dimensão pode ser escalonado diretamente se conhecido a medida do objeto em uma superior ou inferior dimensão. Assim, se a área do círculo com raio r é πr^2 , considera-se que $L \propto r$ sofre variação de forma regular. Esta relação permite o estudo do crescimento relativo ou alométrico. Assim, tem-se uma condição de isometria quando a relação entre uma linha e uma área ocorre como visto na equação 6.16. Quando o valor de A for maior que $1/2$, tem-se alometria positiva e quando for menor, tem-se alometria negativa. Para derivar L a partir de A , a área está elevada a um parâmetro, o qual é maior que 1 e menor que 2:

$$L \propto (A^{1/2})^D = A^{D/2} \quad (6.17)$$

onde $1 < D < 2$.

Se $D=2$, então o perímetro seria escalonado para área, implicando que a área seria uma curva de espaço preenchido, e se $D=1$, o perímetro não seria escalonado mais que a unidade base de medida (a linha), o que implica na inexistência dos efeitos da resolução.

O coeficiente D é a dimensão fractal, que neste contexto representa uma medida empírica para estimar o quanto a curva em questão distancia-se de uma linha reta, indicando assim, o quão fragmentado ou tortuoso é o limite ao longo do espaço.

A medida do limite de objetos simples, é restrita à uma simples relação geométrica definida pela relação entre a resolução de unidade r e um perímetro L . A forma desta relação é dada na equação:

$$L(r) = N(r)r = \alpha r^{(1-D)} \quad (6.18)$$

onde $N(r)$ é o número de segmentos na resolução r , que se aproximam do perímetro $L(r)$. Têm-se duas relações a partir do perímetro $L(r)$: uma em termos de área e outra em termos de resolução. Combinando estas duas, tem-se:

$$L(r) \propto A^{D/2} \propto r^{(1-D)} \quad (6.19)$$

A partir da equação 6.19 pode-se escrever a relação perímetro/área como:

$$L = \gamma A^{f(D)} \quad (6.20)$$

onde γ é uma constante de proporcionalidade e $f(D)$ é uma função de potência, envolvendo a dimensão fractal D , nesta caso $f(D)=D/2$. Então, encontrando os logaritmos da equação 6.20, tem-se:

$$\log L = \log \gamma + f(D) \log A \quad (6.21)$$

onde $\log \gamma$ é o intercepto e $f(D)=D/2$ é a inclinação da reta da regressão linear do \log do perímetro sobre o \log da área. A inclinação $f(D)$ pode assumir diferentes formas

funcionais a partir das quais, D pode ser sempre derivado por uma estimativa da inclinação.

A relação perímetro-resolução pode ser assim generalizada:

$$L(r) = \alpha r^{g(D)} \quad (6.22)$$

onde α é a constante de proporcionalidade e $g(D)$ uma função na qual a equação 6.19 é $(1-D)$. Assim, determinando os logaritmos da equação 6.22, tem-se:

$$\log L = \log \alpha + g(D) \log r \quad (6.23)$$

onde α é o intercepto e $g(D)=(1-D)$ é a inclinação da reta da regressão linear do \log do perímetro sobre o \log do comprimento de r .

CAPÍTULO VII

MATERIAIS E MÉTODOS

7.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo

A região metropolitana de São Paulo está localizada no Estado de São Paulo, região sudeste do Brasil, entre as latitudes 23°30'00'' e 23°17'30'' Sul e longitudes 46°30'00'' e 46°37'30'' Oeste. A área é formada por 39 municípios: Arujá, Barueri, Biritiba Mirim, Caieiras, Cajamar, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embu, Embu Guaçu, Ferraz de Vasconcelos, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guararema, Guarulhos, Itapeçerica da Serra, Itapevi, Itaquaquecetuba, Jandira, Jujutiba, Mariporã, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Pirapora, Poá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Salesópolis, Santa Isabel, Santana de Parnaíba, Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São Lourenço da Serra, Suzano, Taboão da Serra, São Paulo, Vargem Grande Paulista. A localização dos municípios que compõem a região metropolitana é apresentada na Figura 7.1.

Abrange três setores geológicos diferentes, a Bacia Sedimentar da São Paulo, do terciário; ao seu rebordo, granito-xisto-gnaísico, desfeito em um sistema de blocos e cunhas em degraus, por um sistema de falhamentos antigos reativado do pré-cambriano; e as coberturas aluviais e colúvios quaternários. A geomorfologia é caracterizada por um relevo colinoso, com planícies aluviais e terraços dos rios Tietê e Pinheiros e afluentes, onde está assentado o núcleo urbano mais denso da região metropolitana, as áreas circundantes apresentam formas de relevo mais salientes que são sustentadas por rochas graníticas, como a Serra da Cantareira (AB'SABER, 1957).

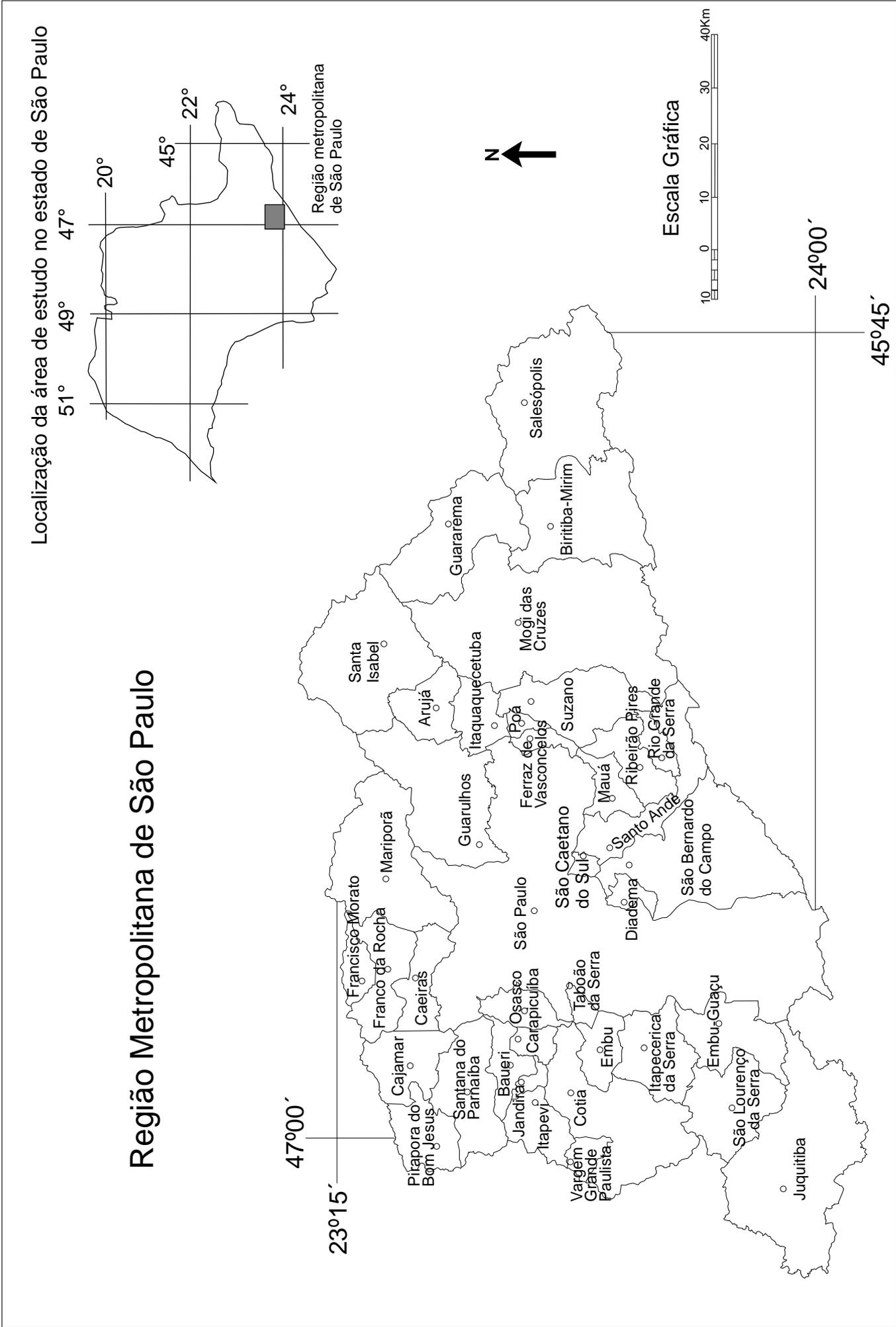


Figura 7.1: Localização da região metropolitana no estado de São Paulo e distribuição espacial dos seus municípios formadores.
 Fonte: EMPLASA (1982) e IBGE (2000).

De acordo com Almeida (1958), região metropolitana de São Paulo situa-se no Planalto Paulistano de relevo suavizado, que apresenta morros e espigões com altitudes médias entre 715 e 900m. No trecho centro-norte, encontra-se a Bacia Sedimentar pela qual correm o rio Tietê e alguns de seus principais afluentes, onde alongam-se planícies aluviais pouco amplas, caracterizando terraços fluviais. Ao norte, encontra-se a Província Serra, apresentando áreas que atingem 1100-1200 metros de altitude; a oeste, separada por um nítido degrau aparece o Planalto de Ibiúna, com relevo semelhante do Planalto Paulistano, embora esteja mais elevado cerca de 90m. A oeste, este planalto estende-se até as nascentes do rio Tietê; e ao sul, o planalto termina bruscamente nas escarpas da Serra do Mar.

No interior do planalto, as estruturas resistentes são os granitos, os quais são responsáveis pela maioria das serras e dos mais importantes morros da região. O mais interior destes cordões graníticos pertence ao batólito e estende-se de noroeste da cidade de São Paulo a nordeste. Por possuir intercalações de xistos e gnaisses, restos do teto do batólito, apresenta-se em várias serras, em virtude de erosão diferencial. As mais importantes são: Serra da Cantareira, ao norte da cidade e as de Taxaquara e Itaquí, ambas a oeste. Na cantareira, as encostas voltadas para a cidade possuem taludes médios menos abruptos do que as escarpas da serra do Ajuá, que é um prolongamento da Cantareira, no extremo noroeste do município de São Paulo. Esta suavização de perfis facilitou a construção da rodovia que se dirige para Bragança Paulista e sul de Minas Gerais. A serra de Itapeti, situada à margem direita do rio Tietê, próximo de Mogi das Cruzes, desenvolve-se através de 18 km com elevação entre 1050 e 1120 m de altitude. Na direção sudoeste perde altura, adquirindo perfil serrilhado no seu trecho final, a nordeste de Suzano. As vertentes voltados para o norte apresentam-se de forma abrupta, com desnível de quase 450m sobre o relevo de colinas; a sul também são fortes seus taludes, mas com pouco mais de 800m de altitude.

A oeste, na região de Embu, os morros do Vento e Jaguaré encontram à serra de Taxaguara, já pertencente ao sistema da serra do Mar, formando parte do alinhamento de morros, com perfis serrilhados que, estendendo-se desde o sul de São Bernardo do Campo, passando por Mauá e Ribeirão Pires, atinge as áreas de Poá e Mogi das Cruzes.

Ao leste, ao longo da margem direita do rio Aricanduva, destaca-se outra área de elevações graníticas com altitudes não superiores a 880m, constituindo um relevo que se destaca em relação aquele das terras baixas e sedimentares da margem esquerda deste rio.

As maiores elevações da região são encontradas no morro do Jaraguá, com altitudes superiores a 1100m, e na serra de Pirucaia, com elevações acima de 1200m de altitude. O Planalto Paulistano termina bruscamente a sudeste, seja ao sopé de um relevo serrano que o domina a mais de 400m, seja a 800m de altitude sobre abruptas escarpas. Ambos acidentes pertencem à serra do Mar, cuja altitude chega a 2000m e é denominado, neste trecho paulistano, de serra de Cubatão.

A evolução dos perfis das vertentes resultam formas com fortes declives das encostas e acentuados desníveis, que dominam os trechos sub-retilíneos e que limitam-se ao alto dos espigões e dos divisores menores. O trecho côncavo, de acomodação ao chão do vale, apresenta desenvolvimento amplo associado a erosão vertical no fundo do vale. Estas feições podem ser observadas nas áreas norte ocidentais do planalto, na região sul do morro do Jaraguá, na área que se estende desde o baixo vale do rio Pinheiros até o sudoeste, atravessada pelas rodovias para Itú, Cotia e Itapeverica da Serra, e também na ampla faixa na direção sul e sudoeste que se prolonga até a serra do Mar. Estas formas convexas são resultantes da ação combinada dos fenômenos de rastejo do solo e erosão pelo escoamento superficial difuso. Com a evolução, desfazem-se os espigões secundários em múltiplos dorsos, que se transformam em colinas cada vez mais baixas.

O entalhe da superfície de erosão do alto Tietê depositou camadas areno-argilosas, acompanhando um sistema de drenagem, resultando no relevo que constituiu as camadas de São Paulo. Estas camadas têm seu maior desenvolvimento ao longo do rio Tietê, cujos vales acompanham desde a montante de Mogi das Cruzes até Pirapora. Ao norte, limitam-se as vertentes da serra da Cantareira e outras elevações ao longo do vale do rio Tietê, penetrando profundamente no vale do Baquirivu. Ao sul, também se acomodam os contornos dos morros e colinas, à margem esquerda do rio Tietê, a partir da foz do Aricanduva e da do Pinheiros, estendendo-se amplamente e alcançando as encostas dos morros graníticos das vizinhanças de São Bernardo do Campo, Mauá e proximidades da barragem da represa Billings e do rio Grande.

O relevo das camadas de São Paulo é distinto do Planalto Paulistano, apresenta-se em espigões ramificados e numerosas lombadas com caráter de colinas, umas e outras não se elevam a mais de 60m sobre a sua base e entre eles interpõem-se vales com estreito soalho aluvial, organizados numa rede fluvial dendrítica. Os perfis das vertentes constituem o traço marcante deste relevo. As declividades do perfil não excedem 10°, quando não são interferidos por estruturas resistentes e quando a intensidade do solapamento em sua base é pequena. Os altos do relevo são determinados por superfícies convexas de pequena curvatura, não sendo raro o desenvolvimento de superfícies mais ou menos planas. Nos espigões principais, a cumeada é pouco sinuosa e com declividade muito suave em direção à confluência dos cursos de água que separam. A altitude máxima destes espigões, em geral, não excede 810m, sendo o mais alto no morro Sumaré, com 831m, dividindo os rios Tietê e Pinheiros.

Em contraste ao relevo da planície estão as áreas ao pé da serra da Cantareira, com relevo menos evoluído. O trecho convexo dos morros, em geral menos extenso, apresenta maior curvatura. O traçado dos divisores é extremamente sinuoso, contribuindo para a irregularidade do traçado das ruas, como no Mandaqui e no alto do Casa Verde. Nas áreas situadas logo ao sul do Parque da Água Funda, nas elevações de leste para nordeste de Santo Amaro e no extremo sudoeste do planalto, o relevo se distingue daquele das áreas sedimentares pelos menores raios de curvatura, fortes declives das vertentes e maior fragmentação resultante do intenso trabalho erosivo realizado pelo escoamento superficial concentrado.

Nos vales principais, onde as altitudes das colinas sedimentares marginais é inferior a 760m e o entalhamento pelas águas superficiais é muito atenuado, o relevo torna-se suave, devido aos grandes raios de curvatura das convexidades das vertentes e à regularidade de suas superfícies, manifestadas na uniformidade de suas curvas de nível. Estas vertentes são encontradas à margem esquerda do baixo Aricanduva, no vale do Tamanduateí, principalmente entre São Caetano do Sul e Santo André, no vale do córrego da Traição, em Indianópolis, no vale do ribeirão Uberabinha, no Ibirapuera, no baixo vale do rio Pinheiros, e nas áreas vizinhas ao rio Tietê e ao longo da sua margem esquerda.

As planícies aluviais do rio Tietê se alongam por quase todo seu vale, penetrando também por seus afluentes. Estas planícies resultam dos processos sedimentares, principalmente do excesso de detritos produzidos pela meteorização química e que são levados a uma rede de drenagem com capacidade de transporte diminuída, devido aos obstáculos interpostos ao curso do Tietê ao penetrar na Província Serrana. Há uma relação entre o desenvolvimento destas planícies, sua estrutura e área em que se situam, assim, nas vizinhanças das camadas de São Paulo, são áreas de maior importância, devido ao volume de detritos arenosos. Entre Poá e Mogi das Cruzes, a planície apresenta largura de 1300m e entre a ponte de Guarulhos e a Lapa apresenta largura de 1800 a 2000m, entendendo-se até as colinas de Osasco, onde porém são mais estreita.

As planícies do rio Pinheiros estendem-se em faixas estreitas pela maioria de seus vales, mas ajusante de Santo Amaro esta planície possui maior desenvolvimento, por estar confinada nas áreas das camadas São Paulo. De modo semelhante, o Tamanduateí possui largas planícies aluviais até as proximidades de suas cabeceiras, na região de Mauá.

As características litológicas podem ser descritas em quatro unidades:

(A) Sedimentos cenozóicos, agrupa todos os depósitos sedimentares de idades terciária e quartenária como: depósitos aluviais; Formação São Paulo, onde predominam depósitos arenosos, argilas e conglomerados, os depósitos aluviais ocupam áreas ao longo das várzeas dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí e córregos afluentes.; Formação Resende, onde são encontrados lamitos, arenitos e conglomerados, esta formação se estende por toda a área central do município de São Paulo e em manchas isoladas ao sul entre as represas Guarapiranga e Billings, ao norte na região do bairro Santana, a leste ao longo de toda a margem esquerda do rio Tietê nos bairros de Itaim Paulista, Penha e Tatuapé e a sudeste nos bairros Ipiranga e Sacomã;

(B) Suítes graníticas indiferenciadas, são encontrados agrupados granitos, granodioritos, monzogranitos e granitóides indiferenciados, ocorrem na região norte na Serra da Cantareira ao sul, em pontos isolados;

(C) Grupo São Roque e grupo Serra do Itaberaba, esta unidade agrupa dois grupos litoestratigráficos com metassedimentos de natureza diversificada e

metavulcânicas básicas, ocorrendo as subunidades: PCSRa – metaarenitos, metárcoseos, metagrauvacas, quartzitos e metasiltitos, com ocorrência restrita na porção noroeste da região metropolitana, PCSRb – ortoanfíbolitos, metavulcânicas básicas, rochas calcossilicáticas e intercalações de filitos, metaarenitos e metaconglomerados de ocorrência também na região noroeste, PCSIq – sedimentos clastoquímicos, ocorrem na região norte, em pontos isolados como Pico do Jaraguá e na região dos bairros de Santana e Jaçanã, PCSIv – unidade vulcano sedimentar, ocorrem restritamente na região norte em pontos isolados intercalados com as rochas da suíte granítica, PCSRi – micaxistos, anfíbolitos, metacalcários e rochas calcossilicáticas, ocorrem em pontos isolados na região norte;

(D) Complexo Embu, unidade composta por grande variedade litológica, ocorrem os agrupamentos de rochas mais antigas da região: Pcegm – gnaisses graníticos e biotita-gnaisses migmatizados, localizados no extremo sul da região e nas áreas de Campo Limpo e Ipiranga, PceX e Pcef – xistos, mica-xistos, filitos e corpos lenticulares de anfíbolitos, quartzitos e rochas calcossilicatadas, com predominância em toda a região sul e de ocorrência secundária na porção leste, Pceq – quartzitos, ocorrem em um corpo lenticular localizado na margem direita da represa Billings (FERNANDES et. al., 1993; PELOGGIA, 1998).

Segundo Ab'Sáber (1957), as características do sítio urbano de São Paulo podem ser descritas através dos elementos topográficos que são indispensáveis para a compreensão dos níveis de altitudes e das formas de relevo:

(a) Altas colinas de topo aplainado do espigão central (altitudes entre 805-830m), o alongado e estrito espigão parte do centro da Bacia de São Paulo em no sentido SE para NO, constitui-se no elemento geomorfológico mais definido e na principal plataforma interfluvial do sistema de colinas da região paulistana. Sobre esta formação está localizadas as áreas da avenida Paulista, Jabaquara, Vila Mariana e Paraíso. O espigão é composto de formações sedimentares, podendo ser considerado um importante remanescente do ciclo de sedimentação pliocênico, encontra-se em um dos eixos onde a bacia sedimentar possuía maior espessura média e maior continuidade de distribuição espacial.

(b) Altas colinas dos rebordos dos espigões principais (altitudes entre 780-830m, com desníveis absolutos de 60 a 110m, em relação ao talvegue dos rios

Tietê e Pinheiros): 1) altos esporões dos espigões principais (Colinas do Sumaré), áreas submetidas ao retalhamento fluvial, onde o espigão central se desfez em pequenos espigões secundários de topo plano e ondulado e com rebordos e encostas abruptas; 2) altas colinas isoladas em relação aos rebordos dos espigões principais (colinas da Aclimação), correspondem a um antigo esporão do espigão central em fase inicial de isolamento pela ação das bacias de recepção de águas dos vales dos pequenos cursos de água do Aclimação e do Cambuci. Os bairros do Pacaembu e aclimação situam-se nestas colinas;

(c) Patamares e rampas suaves escalonadas dos flancos do espigão central (altitudes entre 750-800m), as plataformas interfluviais secundárias foram esculpidas a partir dos altos rebordos e esporões do espigão central e decaem para os vales da região paulistana através de uma série de patamares planos e rampas de leve declividade. Nas vertentes dos rios Tietê e Pinheiros os patamares possuem extensão lateral entre 200 e 400m. Os bairros Liberdade, Bela Vista, Consolação, Higienópolis, Perdizes estão localizadas nestes patamares;

(d) Colinas tabulares do nível intermediário (altitudes entre 740-745m), trata-se de colunas e patamares de colinas, de dorso tabular ou ondulado, dissecadas por uma rede hidrográfica pouco densa e paralelas aos rios Tietê e Pinheiros. Nestas colinas encontram-se a Praça da República, o Jardim Europa, o Jardim América, a Vila Nova Conceição, Vila Paulista e Santo Amaro;

(e) Baixas colinas terraceadas (altitudes entre 730-735m), apresentam relevo de colinas com suaves declividades, pequenas extensões e ligeiramente retalhado pelos baixos afluentes do Tietê e do Pinheiros;

(f) Terraços fluviais de baixadas relativamente enxutas (altitudes entre 724-730m), trata-se de baixas plataformas aluviais ao longo das calhas dos principais rios. Podem ocorrer dois tipos de rebordos nos terraços, rebordos com terminação em rampa suave e progressiva e rebordos com terminação em pequenos taludes. As áreas de maior extensão dos terraços são encontradas no Brás, no Pari, no Canindé e parte baixa da Mooca;

(g) Planícies de inundação sujeitas a inundações periódicas (altitudes entre 722-724m), trata-se de um conjunto de depósitos aluviais recentes da sedimentação em planícies de inundação. As várzeas do Tietê, prolonga-se desde a

Penha até Osasco, em uma faixa de aproximadamente 25 km de extensão e largura de 1,5 a 2,5 km. No rio Pinheiros perfazem 20 km, desde Santo amaro até a foz, com largura média de 1 a 1,5 km. O rio Tamanduateí apresenta planícies aluviais que se alongam de SE para NE, desde São Caetano até Pari, com extensão de 16 km e 200 a 400 m de largura.

Na área metropolitana predomina o clima tropical úmido, sendo que nas áreas com maiores altitudes, as temperaturas são mais baixas e com inverno seco ou semi-úmido. Segundo o atlas ambiental da prefeitura de São Paulo (2002), o Oceano Atlântico, a altitude e o relevo, com suas diferentes formas e orientações são os principais controles climáticos naturais que formam os climas locais e mesoclimas, os quais podem ser assim definidos:

Unidade I: Clima Local Tropical Úmido de Altitude do Planalto Atlântico é encontrado na área da Bacia Sedimentar de São Paulo, onde a urbanização se instalou inicialmente. Este clima local pode ser subdividido em mesoclimas, sendo: (IA) os topos mais elevados dos maciços, serras e altas colinas; (IB) as colinas intermediárias, morros baixos, terraços e patamares; (IC) as várzeas e baixos terraços.

Unidade II: Clima Local Tropical Úmido Serrano da Cantareira – Jaraguá. Este pode ser subdividido em dois mesoclimas: (IIA1) os maciços e serras da face sul da Cantareira e Jaraguá, onde está localizado o Parque da Cantareira; e (IIA2) os maciços e serras da face norte da Cantareira e Jaraguá, ocupando os topos voltados para a Bacia do Juquerí.

Unidade III: Clima Local Tropical Úmido do Alto Juquerí, encontrado na face norte da Serra da Cantareira e do Pico do Jaraguá, nas vertentes que drenam para o Rio Juquerí, nas altitudes entre 720 e 800 m. Pode ser subdividido em dois mesoclimas: (IIIA) referente aos morros e espigões do alto Juquerí – Tietê; e (IIIB) referente aos terraços e várzeas do vale do Juquerí.

Unidade IV: Clima Local Tropical sub-ocênico Super-úmido do Reverso do Planalto Atlântico é encontrado ao sul da represa de Guarapiranga, sua principal característica é a maior proximidade com o oceano. Pode ser dividido em dois mesoclimas: (IVA) os morros e espigões elevados do alto Pinheiros e Embu Guaçu; e (IVB) morros e nascentes do alto Pinheiros e Embu Guaçu, este pode ser

subdividido em dois topoclimas, (IVB1) referentes aos próprios morros e nascentes e o (IVB2) referente ao espelho d'água da represa Billings.

Unidade V: Clima Local Tropical Oceânico Super-úmido da faixa Oriental do Planalto Atlântico, sendo subdividido em três mesoclimas: (VA) serras e altos espigões da fachada oriental do Planalto Atlântico; (VB) morros, serras e escarpas do alto Capivari-Monos; e (VC) escarpa oriental do Planalto Atlântico. Estes mesoclimas têm suas características definidas pela influência oceânica.

Para definir as variações climáticas urbanas foram consideradas as relações entre os controles climáticos urbanos como uso do solo, fluxo de veículos, densidade populacional, densidade de edificações, orientação e altura das edificações, áreas verdes, represas, parques e emissão de poluentes, e os atributos como temperatura da superfície, do ar, umidade, insolação, radiação solar, qualidade do ar, pluviosidade e ventilação. Assim a região metropolitana de São Paulo é marcada por considerável variação térmica, sendo que no horário entre 6h e 14h, há uma amplitude de 8,2°C no verão e de 12,3°C no inverno. A região central da área urbana possui temperatura mais elevada, com média superior a 27°C no verão e inferior a 23°C no inverno (CABRAL, 2002).

Os fatores climáticos associados ao relevo, à topografia e ao uso do solo caracterizam a compartimentação climática da área. O primeiro fator que pode ser destacado é a freqüente infiltração da brisa marítima sobre a região, que ocorre no início da tarde atingindo primeiramente a porção sul, afeta as condições de umidade, temperatura e nebulosidade da área urbana, ocasionando precipitação. Outro fator é a intensificação da ilha térmica sobre a cidade, que favorece o contraste de temperatura em relação à periferia e a área rural, resultando numa circulação local convergente, a brisa urbana. Também ocorrem chuvas intensas de primavera e verão associadas ao acentuado aquecimento local da superfície e a presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul, que corresponde à uma faixa extensa de nebulosidade que propiciam instabilidade. A pluviosidade anual possui valores entre 1.300 e 1.800 mm, sendo distribuídos com maior concentração entre outubro e março, quando totalizam 75% da precipitação anual (LOMBARDO, 1985; CABRAL, 2002).

7.2. Procedimentos Metodológicos para Análise Espacial do Aglomerado Metropolitano de São Paulo

Os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa estão apresentados na Figura 7.2.

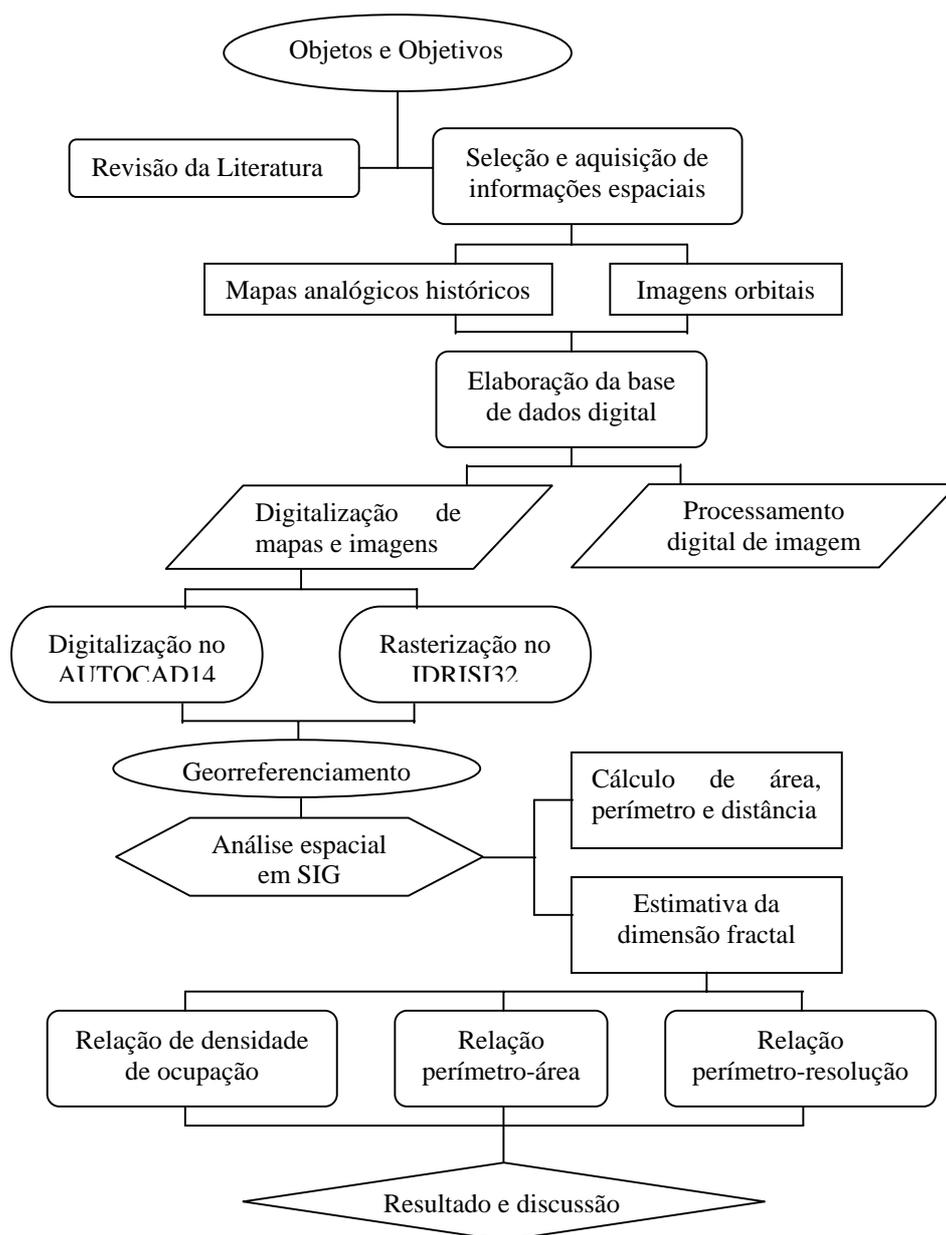


Figura 7.2: Fluxograma das atividades desenvolvidas na pesquisa.

7.2.1. Base cartográfica

O material cartográfico referente à distribuição espacial das áreas construídas na região metropolitana de São Paulo (RMSP), foi selecionado de acordo com as bases históricas das mudanças políticas, sociais e econômicas já identificadas nos itens 2.1, 2.2, 2.3 e circunscrito ao período 1905-2001. Foram escolhidos mapas das datas de 1905, 1914, 1930, 1940, 1952, 1962 e 1972, e como dado mais recente, selecionadas imagens TM e ETM⁺ (LANDSAT) obtidas em 1996 e 2001. A Tabela 7.1 apresenta o material cartográfico utilizado na pesquisa e respectivos autores e datas às quais se referem as informações neles contidos.

Tabela 7.1: Base de informações espaciais empregadas no estudo.

Material	Descrição	Data
Mapa analógico	Escala 1:250.000 (VILLAÇA, 1978)	1905, 1914, 1930, 1940, 1952, 1962 e 1972
Carta Topográfica Região Metropolitana da Grande São Paulo	Escala 1:100.000, EMPLASA	1982
Imagem TM-LANDSAT	Orbita 219_076, Quadrante FF	03/09/1996
Imagem ETM ⁺ -LANDSAT	Orbita 219_076, Quadrante FF	03/05/2001

7.2.2. Processamento digital de imagem

Para a interpretação e análise das imagens digitais TM e ETM⁺ (LANDSAT) foi necessário compreender o comportamento espectral dos alvos que compõe o aglomerado urbano.

O tratamento digital das imagens TM e ETM⁺ (LANDSAT) que recobrem o aglomerado urbano da região metropolitana de São Paulo foi realizado a partir das ferramentas de processamento digital do sistema IDRISI 32 (ESTMAN, 1999).

Inicialmente foram realizados:

(a) o realce de borda, realizando a filtragem passa-alta para enfatizar as altas frequências espaciais e melhorar o contraste entre os objetos com características de ocupação urbana;

(b) o realce linear, realizado a partir da análise do histograma das imagens e promovendo a expansão da distribuição da frequência na amplitude da variação dos níveis de cinza das imagens;

(c) o realce de cor, que possibilitou composições em cores de conjuntos de três bandas, foram realizados alguns testes com diferentes composições colorida a partir da combinação de três bandas espectrais formando uma imagem. Após os testes, a imagem resultante da composição colorida associada ao espaço RGB (Red/Green/Blue) (as bandas 4 (R), banda 3 (G) e banda 2 (V)), sendo escolhida aquela que melhor identificou a separação entre os alvos urbanos e não-urbanos.

A partir das imagens TM e ETM⁺ (LANDSAT) do aglomerado urbano da região metropolitana de São Paulo, foram realizados procedimentos para identificar e separar as áreas urbanas e não-urbanas. Na etapa inicial foi aplicada a classificação não supervisionada da imagem resultante da composição colorida, utilizando a análise da distribuição do histograma da imagem, foi possível a reclassificação das informações espaciais possibilitando desta forma a separação da classe urbana. O resultado apresentado pela classificação automática foi de pouca qualidade, por isso, seu emprego foi descartado. Foram utilizados para destacar a forma do aglomerado urbano os recursos de interpretação visual, como: textura, padrão, forma, cor e localização. Assim, as imagens com composição colorida 4/3/2 foram exportadas para o AUTOCAD R14, onde foram utilizadas como base para a digitalização em tela.

7.2.3. Elaboração da base de dados espaciais

7.2.3.1. Digitalização dos mapas

Na elaboração da base de dados espaciais, inicialmente o material cartográfico composto de mapas no formato analógico foi convertido para o formato digital através de digitalização via scanner. As imagens rasterizadas resultantes foram utilizadas com base para a digitalização em tela, com o intuito de se gerar arquivos vetoriais. As informações do limite de áreas construídas e principais vias de acesso foram digitalizadas segundo rotina básica do software AUTOCAD R14 (AUTODESK, 1995), realizando digitalizações de forma convencional (modo ponto), tipo arco-nó-arco. O mesmo procedimento foi adotado para a conversão das imagens orbitais para o

formato vetorial. Todos os planos de informação obtidos no AUTOCAD R14 foram exportados para o programa IDRISI32, onde foram estruturados no formato raster com resolução espacial de 30m. Assim, foi construída a base de dados formada por imagens digitais que identificam a forma das manchas ou aglomerados urbanos nas diferentes datas a partir do delineamento de adensamentos, de acordo com o método proposto por Batty et. al. (1993), no qual realiza-se a contagem de células em raios concêntricos através do posicionamento de uma grade sistemática sobre o aglomerado urbano e assim, fixando círculos com raios conhecidos a partir do centro do aglomerado (CBD).

7.2.3.2. Georreferenciamento

Na etapa de georreferenciamento, as imagens geradas tiveram suas coordenadas cartesianas convertidas para o sistema de coordenadas UTM (Projeção Universal Transversa de Mercator), cujos valores foram coletados na Carta Topográfica da Região Metropolitana da Grande São de Paulo, na escala 1:100.000 da EMPLASA, ano 1982. Este procedimento teve por finalidade a unificação da base cartográfica digital, gerando uma base de dados com mesma escala 1:100.000 e mesma resolução espacial. No georreferenciamento, foram criados arquivos vetoriais e rasterizados para cada mapa, segundo as datas 1905, 1914, 1930, 1940, 1952, 1962, 1972, 1996 e 2001, no sistema UTM, ajustados à carta topográfica em papel. Foram utilizados 08 pontos de controle para cada imagem, este número de pontos de controle foi limitado pela dificuldade de se encontrar pontos semelhantes nos mapas analógicos, por estes serem bastante generalizados. Utilizou-se como algoritmos de correção, o Linear e o Vizinho Mais Próximo. Com este procedimento foram obtidos mapas digitais que representam o crescimento do aglomerado urbano nas respectivas datas 1905, 1914, 1930, 1940, 1952, 1962, 1972, 1996 e 2001.

7.2.4. Análise espacial urbana em SIG

A base de dados digital com escala 1:100.000 e coordenadas UTM foi utilizada para localizar e considerar a Praça da Sé como o ponto inicial do desenvolvimento urbano de São Paulo, determinando a localização do ponto central com coordenadas (333.100; 7.394.900). A partir deste ponto central foi processada

uma imagem com valores contínuos de distância em metros, na qual os valores aumentam com o afastamento do ponto de referência. Esta imagem de distâncias foi reclassificada e gerou uma imagem de distâncias com intervalos de 1.000m, estruturados em círculos concêntricos com raios variando de 1.000m a 55.000m. Para cada círculo concêntrico foram calculados seus valores de área (m²) e de perímetro (m).

Os mapas do aglomerado urbano da região metropolitana de São Paulo em datas 1905, 1914, 1930, 1940, 1952, 1962, 1972, 1996 e 2001 foram, individualmente, sobrepostos à imagem dos círculos concêntricos gerando nove mapas. As imagens resultantes apresentaram as variações de ocupação do solo por área construída a partir do afastamento do ponto central e inicial do desenvolvimento urbano. Podendo ser descrita: (1) aglomerado urbano em 1905 sobre raios de 1.000 a 10.000; (2) aglomerado urbano em 1914 sobre raios de 1.000 a 9.000; (3) aglomerado urbano em 1930 sobre raios de 1.000 a 22.000; (4) aglomerado urbano em 1940 sobre raios de 1.000 a 22.000; (5) aglomerado urbano em 1952 sobre raios de 1.000 a 31.000; (6) aglomerado urbano em 1962 sobre raios de 1.000 a 53.000; (7) aglomerado urbano em 1972 sobre raios de 1.000 a 52.000; (8) aglomerado urbano em 1996 sobre raios de 1.000 a 55.000; (9) aglomerado urbano em 2001 sobre raios de 1.000 a 52.000. Estas informações estão apresentadas na Tabela 7.2.

Tabela 7.2: Variação da ocupação do solo por área construída na RMSP a partir da Praça da Sé.

Data do aglomerado urbano da RMSP	Raios aproximados em relação à Praça da Sé
1905	1.000 – 10.000m
1914	1.000 – 9.000m
1930	1.000 – 22.000m
1940	1.000 – 21.000m
1952	1.000 – 31.000m
1962	1.000 – 53.000m
1972	1.000 – 52.000m
1996	1.000 – 55.000m
2001	1.000 – 52.000m

Foram utilizados os resultados obtidos nas comparações entre ocupação por área urbana e distâncias a partir do centro nas diferentes datas, das informações espaciais. Foram calculados os valores de área e perímetro das classes de ocupação por área construída em cada círculo concêntrico ocupado. Assim, os valores de área e perímetro de cada círculo concêntrico foram utilizados na estimativa e análise da dimensão fractal dos aglomerados urbanos de diferentes datas, permitindo a avaliação do desenvolvimento urbano da região metropolitana de São Paulo.

7.3. Estimativa da Dimensão Fractal do Aglomerado Metropolitano de São Paulo

A dimensão fractal D_d , pode ser adotada como o parâmetro que estima a densidade de áreas construídas em relação à distâncias, a partir do centro da cidade (CBD). Se toda a área for construída dentro de um determinado círculo com raio conhecido, o valor de área ocupada pode ser substituído pelo valor da área do círculo, logo a dimensão fractal é máxima ou $D_d=2$. Se existem áreas construídas, mas sua densidade diminui a medida que se afasta o centro, D_d será menor que 2. Observando-se que a área total do raio cresce em uma taxa mais rápida que a área construída, isto implica que as margens da estrutura se tornam altamente esparsas à medida que a estrutura cresce.

Os procedimentos adotados para obtenção da dimensão foram realizados a partir dos dados resultantes das imagens analisadas no SIG, sendo estes: (1) valores de área e perímetro de cada círculo concêntrico, (2) valores área e perímetro das áreas de ocupação urbana, em cada círculo concêntrico e (3) comprimento de raio a partir do centro.

Na obtenção dos valores de dimensão fractal, utilizou-se a associação do método de círculos concêntricos com o método de contagem de células. Para a mensuração da dimensão fractal baseada na medida de densidade do objeto, a partir do número de partes ou valor de área ocupada por cada círculo concêntrico e valor de área de ocupação por área construída, considerando a resolução fixa r e valor de comprimento de cada raio.

Para encontrar o valor de D_d do aglomerado urbano para cada data analisada, empregou-se a equação de densidade de ocupação em termos da relação de escalonamento baseado no padrão de comparação de comprimento R , onde a densidade de ocupação diminui com o alongamento da distância do centro. Assim, foram calculadas a dimensão, a partir da densidade de ocupação por área construída $\rho(R)$, com distância R a partir do centro, utilizando a equação 7.1.

$$D(R) = 2 + \frac{\log \rho(R)}{\log R} \quad (7.1)$$

As variações de D_d para cada data analisada foram representadas no gráfico, utilizando a variação de valores da dimensão $D(R)$. Também foi obtido o valor médio da dimensão da região metropolitana para cada data, obtidos a partir da média da densidade $\rho(R)$ em raios R .

Posteriormente, a relação perímetro-área (D_{PA}) também foi utilizada para mensuração da dimensão fractal do aglomerado urbano da RMSP. Nesta relação, o coeficiente D_{PA} representa uma medida empírica que estima o quão são fragmentários os limites ou bordas das áreas construídas nas diferentes datas. A partir do perímetro $L(r)$ das áreas construídas em cada círculo concêntrico, foi realizada a relação entre o valor do perímetro e o valor de área estimado para as áreas construídas em cada círculo concêntrico, este procedimento foi aplicado em cada data analisada. Outra relação foi utilizada para estimar a dimensão fractal, a qual relacionou o comprimento de raio e o perímetro da área construída em cada variação do comprimento do raio, denominada relação perímetro-resolução (D_{PR}).

Utilizando os valores de área e de perímetro em cada data estudada, construiu-se por regressão linear do \log do perímetro x \log da área os diagramas de Richardson (Figura 7.3). Pela regressão foram definidos o valor de γ (constante de proporcionalidade) e $f(D)$ a inclinação da regressão. Assim D_{PA} pode ser derivado dada uma estimativa da inclinação, utilizando a equação 7.2. Onde, $\log \gamma$ é o intercepto e $f(D)=D/2$ é a inclinação da regressão linear.

$$\log L = \log \gamma + f(D) \log A \quad (7.2)$$

Na relação perímetro-resolução para cada data, foi realizada a regressão linear do *log* do perímetro da área construída x o *log* do comprimento do raio, a Figura 7.4 apresenta os gráficos de regressão linear. Os resultados obtidos foram utilizados na equação 7.3, onde α é a constante de proporcionalidade e $g(D)$ uma função igual $(1-D)$ e representa a inclinação da regressão linear.

$$\log L = \log \alpha + g(D) \log r \quad (7.3)$$

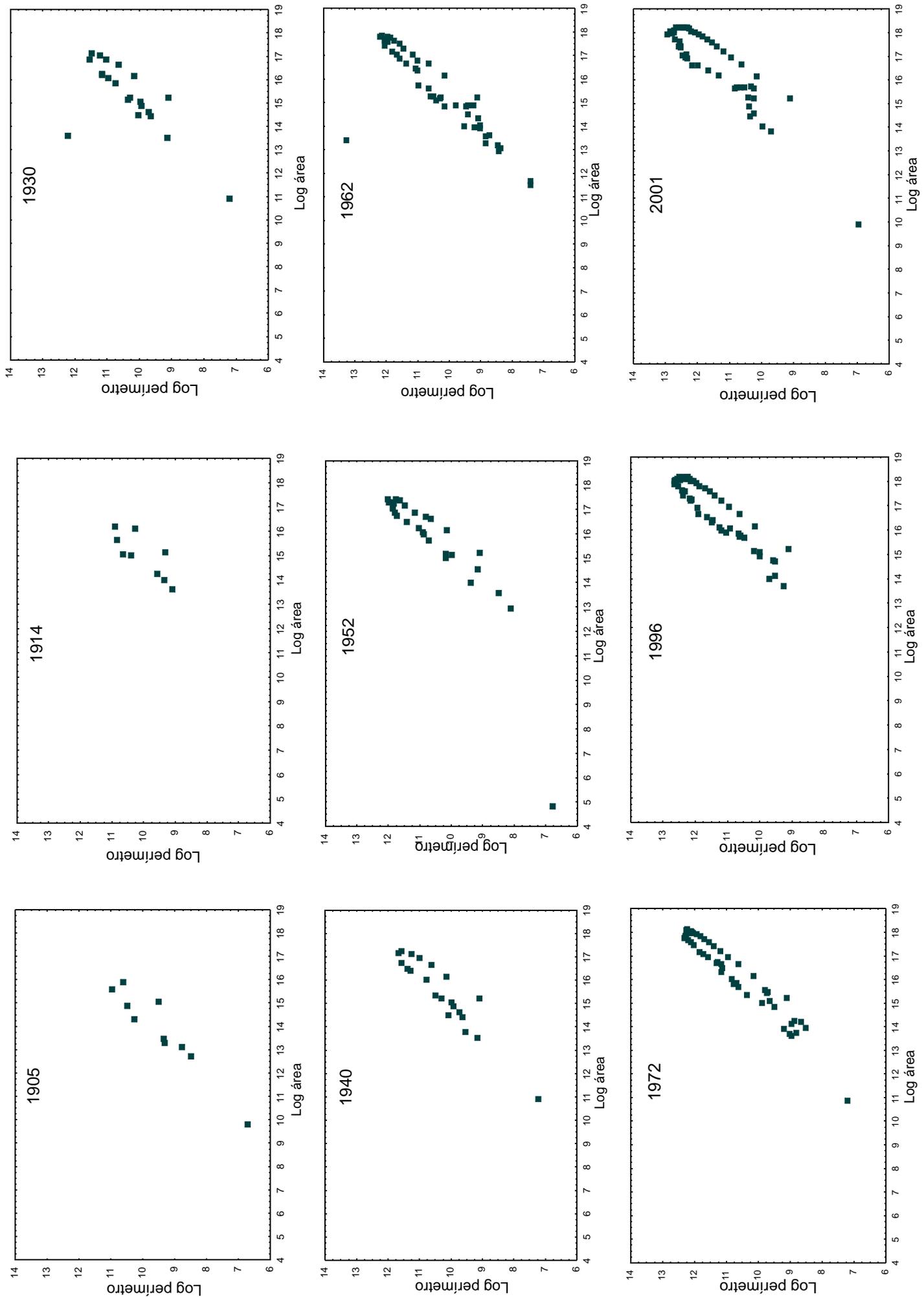


Figura 7.3: Regressão linear entre o log do perímetro x log da área, para o período 1905-2001, para o aglomerado urbano da RMSP.

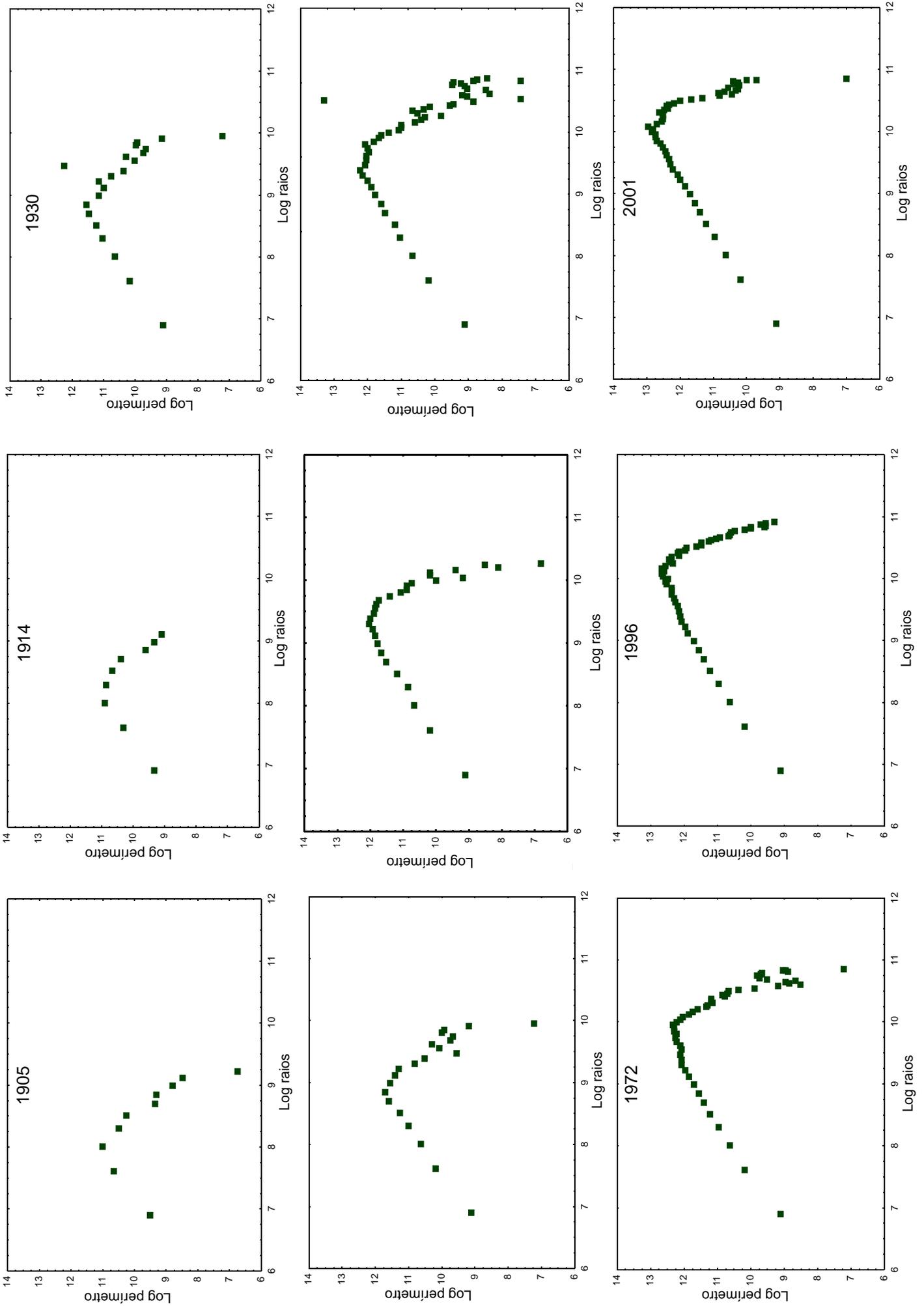


Figura 7.4: Regressão linear entre o log do perímetro x log da resolução, para o período 1905 -2001, para o aglomerado urbano da RMSP.

7.4. Estimativa da Dimensão Fractal para os Setores Direcionais de Crescimento do Aglomerado Urbano da Região Metropolitana de São Paulo

Para estimativa da dimensão fractal pela associação dos métodos de círculos concêntricos e de contagem de células, a partir da relação de densidade de área construída, segundo setores direcionais de crescimento da região metropolitana de São Paulo, foram adotados os procedimentos apresentados na Figura 7.5.

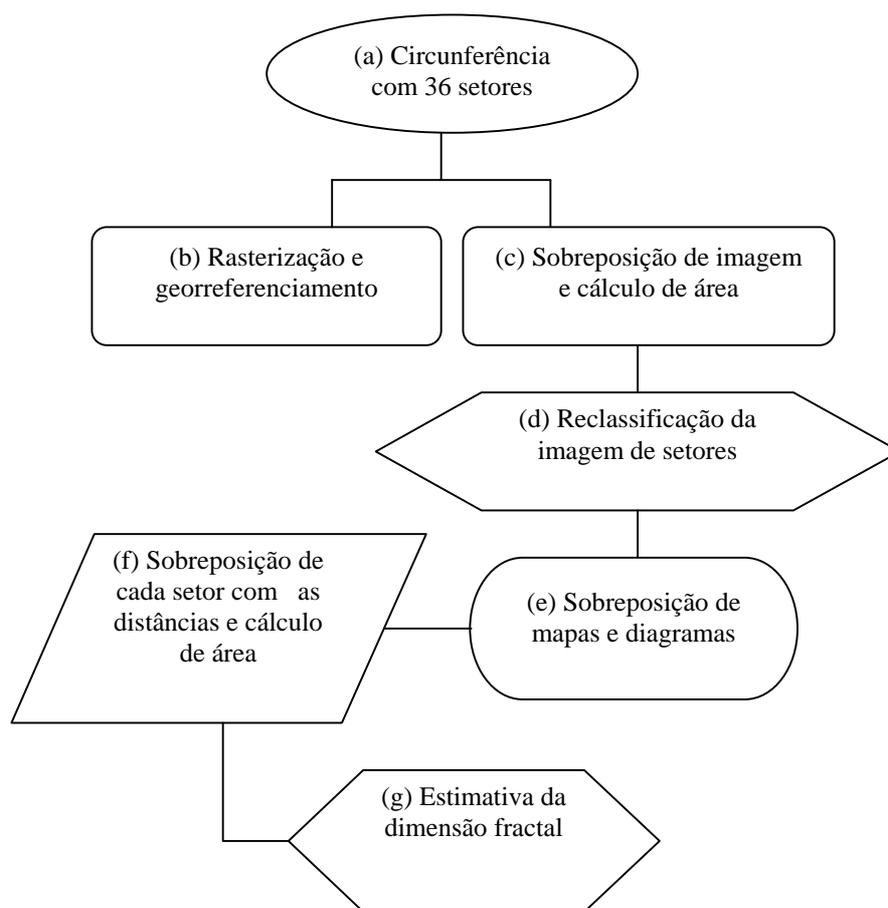


Figura 7.5: Fluxograma das atividades desenvolvidas para estimativa da dimensão fractal dos setores direcionais.

(a) Uma circunferência com raio de 55.000m¹ foi criada no software AUTOCAD, a qual foi dividida em 36 setores de 10° (dez graus cada) e posteriormente exportada para o sistema IDRISI 32;

¹ Valor máximo atingido pela distância ao centro urbano (Praça da Sé) da periferia da expansão urbana em 2001.

(b) No IDRISI 32, a imagem vetorial de setores, correspondentes aos segmentados na circunferência (a), foi estruturada no formato raster e passou pelo processo de georreferenciamento, sendo as coordenadas cartesianas convertidas para o sistema de coordenadas UTM, gerando desta forma uma imagem classificada em setores direcionais circulares;

(c) Em seguida, a imagem de setores direcionais foi sobreposta à imagem do aglomerado urbano da região metropolitana de São Paulo de 2001. A partir da imagem resultante, calculou-se a quantidade de células ocupadas por área construída, em cada setor de 10° de circunferência (Tabela 7.3).

Tabela 7.3: Quantidade de área construída na região metropolitana de São Paulo em 2001.

Ocupação por área construída na RMSP em 2001			
Intervalo em graus	Área (Km²)	Intervalo em graus	Área (Km²)
1 a 10	16411,5	181 a 190	29545,2
11 a 20	19305,9	191 a 200	60062,4
21 a 30	26748,0	201 a 210	40882,5
31 a 40	36768,6	211 a 220	37834,2
41 a 50	47693,7	221 a 230	47603,7
51 a 60	60680,7	231 a 240	50646,6
61 a 70	69593,4	241 a 250	44721,9
71 a 80	80920,8	251 a 260	31368,6
81 a 90	1169649,0	261 a 270	47087,1
91 a 100	81732,6	271 a 280	71528,4
101 a 110	40135,5	281 a 290	73724,4
111 a 120	42138,9	291 a 300	62069,4
121 a 130	55195,2	301 a 310	39673,8
131 a 140	62758,8	311 a 320	34945,2
141 a 150	47668,5	321 a 330	42324,3
151 a 160	51804,9	331 a 340	40390,2
161 a 170	55124,1	341 a 350	49855,5
171 a 180	38996,1	351 a 360	13395,6

Os valores apresentados na Tabela 7.3 foram utilizados para a construção do histograma de frequência de área construída em cada setor de 10° na data de 2001 (Figura 7.6a e b). O histograma foi utilizado para a identificação dos intervalos de 10° semelhantes quanto à magnitude de crescimento de área construída. Esta identificação permitiu a classificação por setores direcionais com mesmo padrão de crescimento urbano.

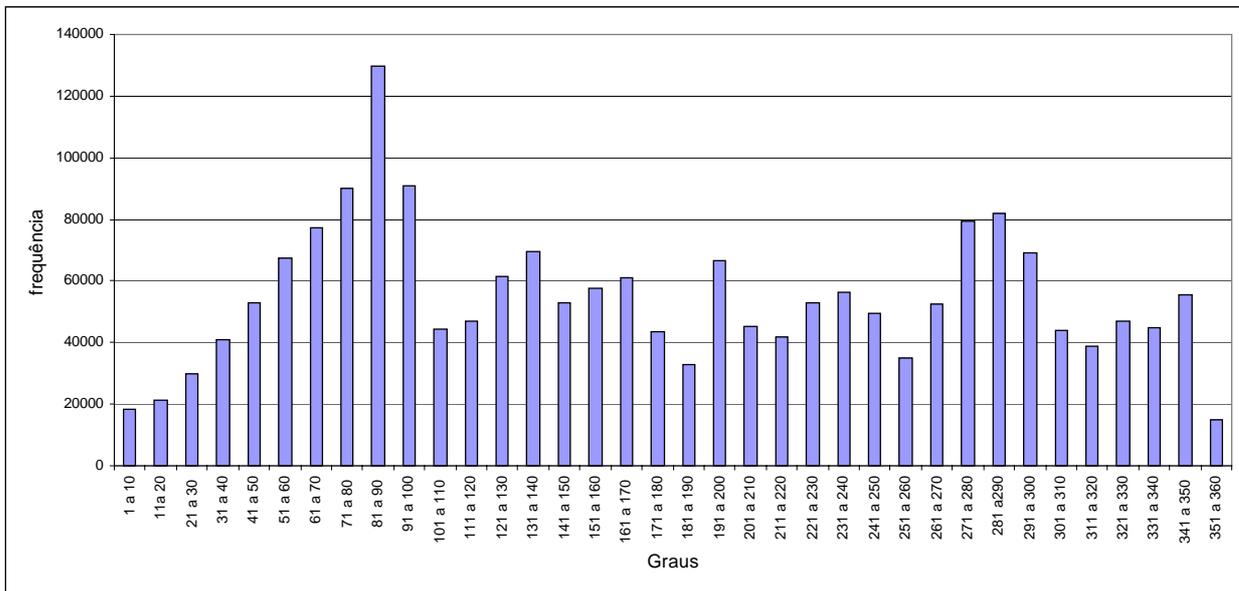


Figura 7.6a: Histograma de frequência de área construída em cada setor de 10° de circunferência.

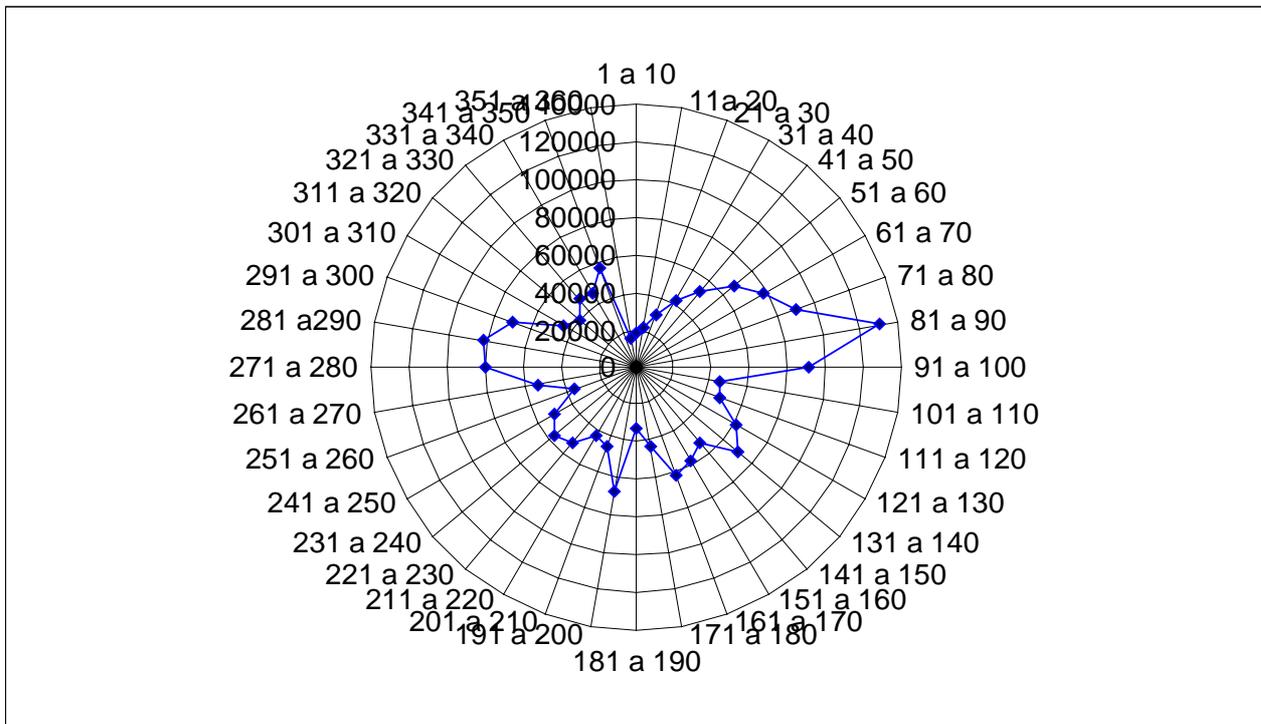


Figura 7.6b: Diagrama de frequência de área construída em cada setor de 10° de circunferência.

A classificação, a partir do histograma e do diagrama de frequência possibilitou a identificação de ao menos oito principais setores direcionais de crescimento na região metropolitana de São Paulo, identificados na Tabela 7.4.

Tabela 7.4: Setores direcionais de crescimento da região metropolitana de São Paulo.

Código	Intervalo em graus	Setor
I	351 a 50	Cantareira
II	51 a 100	Zona Leste
III	101 a 140	Mauá
IV	141 a 170	Ipiranga
V	171 a 200	Billings
VI	201 a 260	Santo Amaro/Interlagos
VII	261 a 320	Castelo Branco/Ananguera
VIII	321 a 350	Ananguera/Bandeirantes

(d) Posteriormente, os intervalos em graus de cada classe foram utilizados para reclassificar a imagem de setores direcionais – obtida no item (c), cujos valores foram apresentados na Tabela 7.3 – resultando em um diagrama circular com setores direcionais, cujos limites são descritos na Tabela 7.4;

(e) Os mapas do aglomerado urbano da região metropolitana nas datas analisadas foram sobrepostas aos diagramas dos setores direcionais, resultando imagens que possibilitam visualizar a expansão do aglomerado urbano nos setores direcionais (Figura 7.7);

(f) A partir dos mapas apresentados na Figura 7.7, foram isolados cada um dos oito setores direcionais em cada data analisada. As imagens resultantes foram sobrepostas à imagem de distância, com raios de 1.000 a 55.000m, a partir do centro do aglomerado urbano. A Figura 7.8 ilustra este procedimento, exemplificando o setor Zona Leste para a data de 2001. Para cada mapa resultante desta última sobreposição, calculou-se a área construída em cada data analisada, no período 1905-2001, contida em cada trapézio circular e a área total do trapézio circular referente à cada setor direcional de crescimento;

(g) Os valores de área de construída e de área total foram empregados na estimativa da dimensão fractal dos oito setores direcionais em todas as datas pela relação de densidade de ocupação, utilizando-se da equação 7.1.

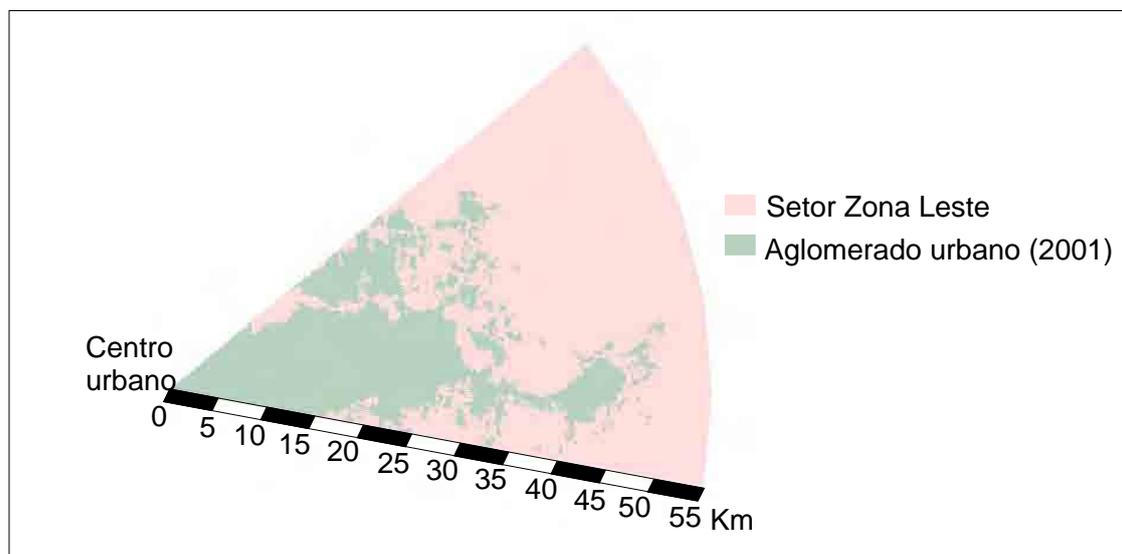


Figura 7.8: Representação do Setor Zona Leste na data de 2001, como exemplo dos procedimentos descritos no método.

7.5. Procedimentos para Agregação por Características Fractais de Crescimento

Para interpretar as similaridades das características fractais de crescimento, os setores direcionais foram discriminados em conjuntos de comportamento estimados pela média e coeficiente de variação. Nesta análise, foram adotados os seguintes procedimentos:

(a) Estimativa da média e do desvio-padrão da dimensão fractal do aglomerado urbano em cada setor, no período 1905-2001;

(b) Estimativa da média e do desvio-padrão geral da dimensão fractal do aglomerado urbano no período 1905-2001;

(c) Estimativa do coeficiente de variação da dimensão fractal do aglomerado urbano de cada setor e de todo o aglomerado, a partir da equação 7.4:

$$\text{Coef.variação} = \left(\frac{\text{desv.pad}}{\bar{X}} \right) \times 100 \quad (7.4)$$

(d) Os valores de média e de coeficiente de variação dos setores direcionais foram classificados em grupos pelo método de distância Euclidiana e regra de agregação por vizinhos próximos, gerando um dendograma de agrupamento dos setores;

(e) Para complementar a análise do dendograma, foi gerado um digrama relacionando os valores da média com seus respectivos coeficientes de variação;

(f) O ponto da coordenada dos valores de média e coeficiente de variação para todo o aglomerado foi utilizado como referência para a criação de áreas de variação da dimensão fractal e do coeficiente variação dos setores direcionais analisados, para permitir uma representação mais coerente da regionalização da forma de ocupação no período analisado.

CAPÍTULO VIII

RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1. Análise do Crescimento do Aglomerado Urbano pela Dimensão Fractal

A evolução da aglomerado urbano da região metropolitana de São Paulo, no período 1905-2001, está representada pela Figura 8.1. A partir da base de dados apresentada na Figura 8.1, foram gerados círculos concêntricos a partir do CBD da região metropolitana, compondo a Figura 8.2. Esta figura fornece uma representação dos diferentes tamanhos do aglomerado ao longo do período analisado, permitindo estabelecer proporções de área do aglomerado e também identificar as direções predominantes da ocupação, bem como, a consolidação ou não do processo de ocupação nestas áreas. Os padrões morfológicos do aglomerado urbano no período estudado, são caracterizados pela análise fractal a partir da densidade de ocupação e das relações perímetro-área e perímetro-resolução. As Tabelas 8.1(a) e (b) apresentam os valores de área e perímetro para cada variação de raio, a partir do centro urbano, os quais foram utilizados nas estimativas de dimensão fractal.

As tabelas 8.1 (a) e (b) apresentam algumas lacunas de valores de área e de perímetro com valor 0 (zero), este número representa a ausência de ocupação por área construída neste comprimentos de raios, significando espaços vazios, por tanto, podem ser considerados como vazios urbanos.

Tabela 8.1.(a): Valores de área e perímetro do aglomerado urbano, em cada círculo concêntrico, no período 1905-1952.

Raio (Km)	Aglomerado Urbano 1905		Aglomerado Urbano 1914		Aglomerado Urbano 1930		Aglomerado Urbano 1940		Aglomerado Urbano 1952	
	Área (Km ²)	Perim (Km)								
1	3329,58	13,61	3714,73	11,21	4049,49	9,11	4049,49	9,11	4049,49	9,11
2	7846,11	42,05	9481,21	29,57	10256,01	26,15	10256,01	26,15	10256,01	26,15
3	5720,58	59,03	10727,55	54,65	16395,05	42,89	16558,82	42,11	15771,42	42,89
4	2778,85	36,11	6166,92	51,71	19840,71	61,73	22184,02	59,99	17564,90	50,93
5	1614,39	28,91	3305,28	42,53	24111,58	74,57	26875,14	77,75	20634,42	71,15
6	694,71	11,69	3184,70	33,05	27065,01	93,65	29965,35	107,21	27404,27	99,17
7	583,12	11,21	1476,71	14,69	22779,75	108,83	28132,28	119,75	34354,10	115,13
8	473,34	6,65	1153,65	11,51	12134,08	81,29	17920,35	106,25	35244,09	130,25
9	328,45	4,919	806,29	8,99	10198,42	59,63	14378,40	88,61	30741,05	140,27
10	17,99	0,83			11121,70	69,95	12820,69	81,83	31465,46	153,77
11					7516,76	50,93	9044,76	48,89	35769,62	166,25
12					3967,60	29,15	4590,32	36,71	31229,69	161,27
13					1246,34	17,51	955,68	14,21	25460,51	144,71
14					2545,78	26,75	1950,95	23,87	25014,17	142,19
15					3611,24	26,99	3938,80	29,81	20687,51	133,91
16					2841,84	20,27	2169,62	17,03	17931,15	124,79
17					1819,57	12,23	1813,27	15,59	14238,91	91,55
18					2019,34	15,89	3295,38	21,77	11083,91	63,41
19					2807,64	19,19	2859,84	20,75	8512,03	53,21
20					1000,67	10,85	735,20	9,77	9091,56	54,59
21					416,64	334,73	53,99	1,37	6586,27	45,59
22					54,893				3712,93	22,25
23									1995,05	9,77
24									3176,60	26,93
25									3826,32	26,57
26									1186,95	11,99
27									0	0
28									0	0
29									403,14	3,35
30									769,40	4,97
31									0,89	0,11

Tabela 8.1(b): Valores de área e perímetro do aglomerado urbano, em cada círculo concêntrico, no período 1962-2001.

Raio (Km)	Aglomerado Urbano 1962		Aglomerado Urbano 1972		Aglomerado Urbano 1996		Aglomerado Urbano 2001	
	Área (Km ²)	Perim (Km)						
1	4049,49	9,11	4049,49	9,11	4049,49	9,11	4049,49	9,11
2	10256,01	26,15	10256,01	26,15	10256,01	26,15	10256,01	26,15
3	16497,63	42,53	16558,82	42,11	16558,82	42,11	16558,82	42,11
4	19356,58	61,13	22840,04	58,19	22840,04	58,19	22840,04	58,19
5	24930,483	72,05	29092,46	74,15	29092,46	74,15	29092,46	74,15
6	31064,11	95,27	35407,87	90,11	35407,87	90,11	35407,87	90,11
7	38763,55	108,47	41693,58	106,19	41693,58	106,19	41693,58	106,19
8	44728,90	128,63	47993,70	122,15	47993,70	122,15	47993,70	122,15
9	50939,93	144,11	54188,52	138,11	52933,18	143,75	53687,28	141,35
10	51777,72	161,27	60462,54	154,91	59549,15	158,87	58801,34	160,07
11	54941,73	191,63	61258,94	176,03	63518,55	174,65	64327,55	177,83
12	51934,30	200,33	61008,77	173,57	65349,83	183,53	67949,60	200,93
13	44700,11	176,69	62049,04	182,51	65068,16	190,67	75477,16	216,41
14	45573,00	171,77	63447,46	177,89	69114,95	198,95	80038,69	230,45
15	47004,72	169,67	68025,19	184,61	75331,38	210,83	79161,30	247,97
16	42563,77	158,75	73001,57	205,31	76278,96	215,21	80409,44	253,91
17	42788,75	159,89	70582,67	211,73	75184,70	233,99	79317,88	274,13
18	35320,58	172,49	63910,91	206,99	70983,12	236,99	79221,59	299,51
19	27999,99	137,81	57564,00	215,39	72675,81	238,13	78726,65	328,97
20	24961,97	118,31	54939,93	222,17	75902,81	272,63	71761,52	344,33
21	20443,64	108,53	50304,61	224,27	71296,28	285,23	63874,01	346,61
22	16769,40	88,07	46794,15	202,55	67929,80	262,01	66348,70	384,83
23	13700,78	65,57	42103,03	182,57	68408,54	306,59	62133,63	370,13
24	12395,05	60,83	37415,52	168,41	64490,43	320,09	59082,11	426,29
25	6504,38	59,27	28007,19	141,65	58891,33	292,97	48322,15	331,31
26	4206,97	40,55	25087,06	126,95	57942,85	312,29	44751,40	284,57
27	3504,16	33,59	22567,37	109,07	53357,92	283,25	36501,23	276,35
28	4000,89	29,27	17611,69	82,79	42094,93	230,51	36104,38	276,89
29	2898,53	18,29	18368,50	79,55	41888,86	242,33	35091,11	276,41
30	4154,78	37,43	14324,40	69,41	44073,79	252,23	35502,36	301,43
31	5779,97	43,01	16494,03	72,35	36077,38	239,93	25020,47	262,85
32	3832,62	30,35	11723,73	70,91	30096,73	185,69	25531,60	233,27
33	2670,86	25,61	7169,40	48,11	31598,64	197,45	22296,51	242,27
34	1177,95	13,97	9033,97	51,65	28484,13	190,85	21594,60	230,03
35	2831,04	12,41	7640,94	44,03	21843,86	154,61	16154,78	197,33
36	567,82	7,07	6405,39	42,35	16809,89	150,71	15922,60	164,99
37	648,81	5,81	4553,43	31,61	14749,15	114,29	13049,26	118,67
38	98087,73	1,67	3244,99	19,67	11903,71	98,63	10340,60	85,13
39	1061,86	8,33	1096,06	9,89	13213,04	96,53	6319,90	49,07
40	1132,05	9,89	1120,35	5,09	9836,67	77,63	4137,68	34,37
41	460,74	4,379	889,98	6,89	8427,44	72,95	6049,04	51,53
42	0	0	803,59	7,85	7746,23	63,23	6355,90	43,37
43	0	0	1462,31	5,81	9094,26	55,91	6531,38	31,25
44	534,53	4,73	2753,65	13,67	7355,68	43,01	6019,34	28,79
45	1224,74	8,33	4828,79	17,15	6601,57	41,27	6285,71	38,03
46	1672,89	8,93	5689,98	17,99	7019,12	40,25	4009,89	28,01
47	2750,95	13,19	5182,45	16,67	6427,89	35,51	1870,86	32,33
48	2822,94	10,19	3560,85	15,83	3658,94	26,39	2121,03	28,49
49	1962,65	12,47	1476,71	7,13	3488,86	22,13	2858,94	32,69
50	755,90	7,07	862,99	8,39	3013,72	22,13	1213,04	21,83
51	114,28	1,67	1353,43	7,85	2452,19	14,87	980,87	16,43
52	789,20	6,17	50,39	1,37	2355,00	14,03	19,79	1,07
53	405,84	4,61			1156,35	16,37		
54					1319,23	13,97		
55					882,78	10,73		

As tabelas 8.1 (a) e (b) apresentam algumas lacunas de valores de área e de perímetro com valor 0 (zero), este número representa a ausência de ocupação por área construída neste comprimentos de raios, significando espaços vazios, por tanto, podem ser considerados como vazios urbanos.

Os valores de dimensão fractal (D_d) médios, mínimo e máximo determinados pela densidade de ocupação em relação à variação de R , para o aglomerado urbano de São Paulo, no período 1905-2001, são apresentados na Tabela 8.2.

Tabela 8.2: Valores dos parâmetros da dimensão fractal, obtidos pela análise da densidade de ocupação urbana, para o período de 1905 a 2001.

	Período Analisado								
	1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001
R (Km)	1-10	1-9	1-22	1-21	1-31	1-53	1-52	1-55	1-52
$\rho(R)$	0,2076	0,3261	0,3208	0,3568	0,3521	0,2854	0,3695	0,4077	0,4247
D_d	1,6298	1,7730	1,7462	1,7585	1,7709	1,7070	1,7769	1,8231	1,8169
$D(R)_{min}$	1,1177	1,5372	1,2177	1,2176	0,8200	1,2614	1,1916	1,4529	1,1056
$D(R)_{max}$	1,9616	1,9861	1,9972	1,9995	1,9965	1,9974	1,9994	1,9993	1,9994

Os valores de dimensão fractal (D_d) de áreas urbanas obtidos pela densidade de ocupação urbana denotam uma tendência de baixa densidade do aglomerado, quando o valor de D_d aproxima-se de 1; e elevada densidade de ocupação, quando próximo de 2 (LAM & DE COLA, 1993). A variação de D_d entre estes valores demonstra o processo de preenchimento do espaço, podendo ocorrer de forma homogênea ou fragmentada. Na literatura, as cidades européias, norte-americanas e asiáticas, analisadas por esta relação, apresentam valores médios de D_d entre 1,6 e 1,8 (BATTY & LONGLEY, 1994; FRANKHAUSER, 1994).

A Figura 8.3, apresenta o crescimento urbano de Londres, que ilustra uma representação típica do desenvolvimento fractal de um aglomerado urbano, com valores de D_d entre 1,322 a 1,774 no período 1820-1962 (BATTY & LONGLEY, 1994). Os valores de D_d obtidos para a região metropolitana de São Paulo (Tabela 8.2 e Figuras 8.1, 8.2, 8.4 e 8.5) são consistentes com aqueles descritos na literatura, indicando uma representação de crescimento compatível com o padrão identificado para os aglomerados metropolitanos, que compreende segundo Batty e Longley (1994): uma densificação de forma radial de espaços cada vez mais distantes das áreas centrais, como determinante da expansão urbana para áreas periféricas; e o valor de D_d para cada raio, ao longo do espaço ocupado pelo aglomerado, sugere a assinatura fractal do crescimento e sua associação com a forma geométrica e o contorno da área

urbanizada, permitindo identificar o padrão de crescimento desde sua manifestação até sua caracterização.

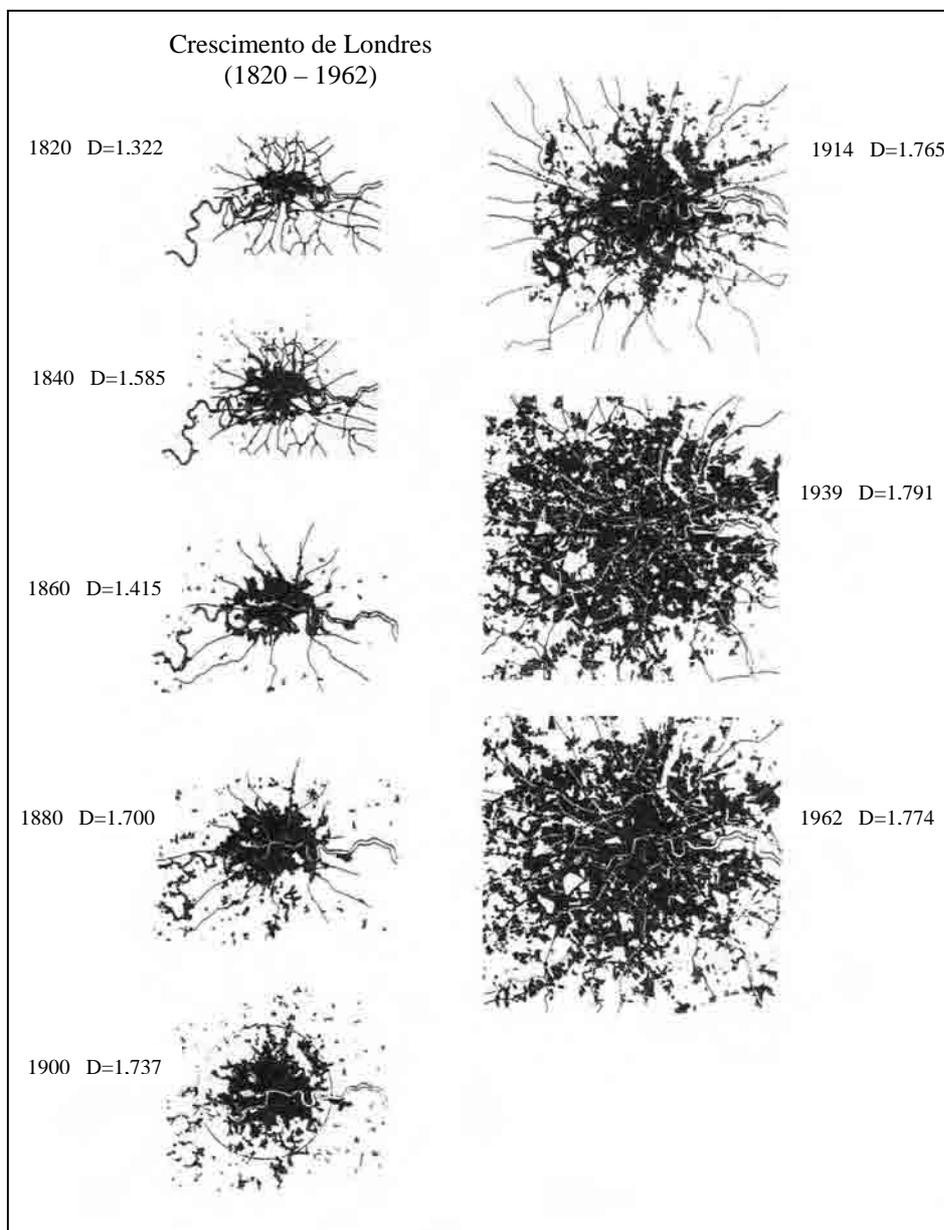


Figura 8.3: Crescimento do aglomerado urbano de Londres, e respectivos valores de D_d no período 1820-1962. Fonte: BATTY & LONGLEY (1994).

A análise da Figura 8.4 mostra que no aglomerado de São Paulo a densidade de ocupação do espaço se apresenta compatível com a tendência das grandes metrópoles, onde ocorrem uma maior densidade de ocupação nas áreas

próximas ao centro e uma diluição desta à medida que se distancia para as áreas periféricas, como princípio para a expansão da área construída.

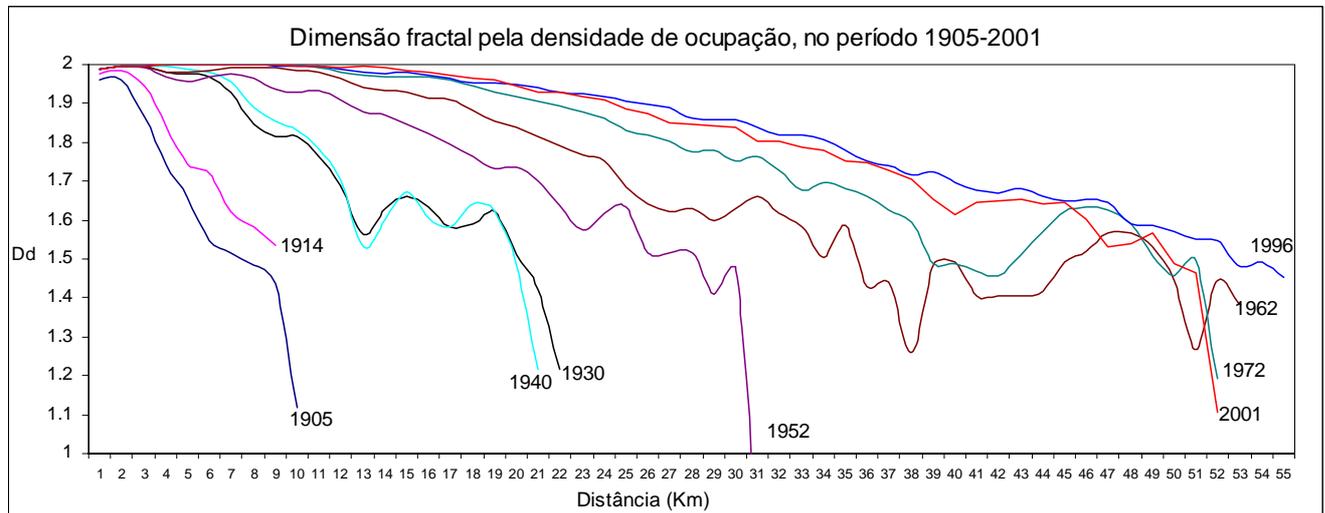


Figura 8.4: Assinaturas fractais da região metropolitana de São Paulo, obtidos com base na densidade de ocupação, segundo as datas analisadas.

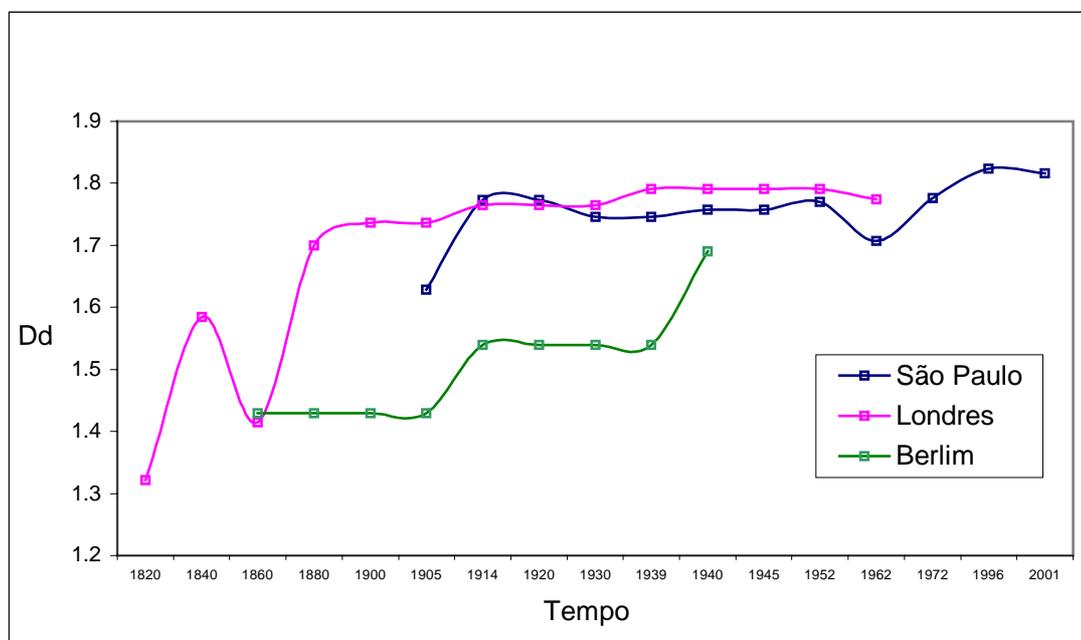


Figura 8.5: Comportamento fractal de São Paulo, Londres (BATTY & LONGLEY, 1994) e Berlim (FRANKHAUSER, 1994).

A Figura 8.5 ilustra o comportamento fractal do aglomerado urbano no processo de evolução temporal das cidades de São Paulo, Londres e Berlim. A análise dos valores médios de D_d para São Paulo, revelam uma alta densidade de ocupação por área construída na evolução espacial da área urbanizada a partir de 1930. Enquanto que para Londres a alta densidade de ocupação é identificada desde 1900. O crescimento dos aglomerados de São Paulo (desde 1914) e Londres (desde 1900) seguem uma relação alométrica de desenvolvimento, apresentando valores de D_d com pequena variação em uma ampla variação temporal, sugerindo coordenação eficiente entre compactação e crescimento do espaço urbano, o que apenas ocorre, segundo Batty e Longley (1994), em áreas urbanas onde predominam novas tecnologias nas áreas de construção, transporte e gerenciamento. Berlim apresentou grande variabilidade no crescimento do aglomerado urbano, demonstrado pela variação de D_d em curto intervalo temporal, exigindo maior domínio tecnológico para conciliar a elevada densificação espacial com as restrições físicas em curto período de tempo.

O valor de dimensão fractal na relação de densidade pode oscilar muito no início do processo de urbanização, mas posteriormente tende a apresentar um valor de referência médio, da ordem de 1,7, caracterizando a efetivação do processo de urbanização. O valor de D_d nas áreas periféricas não devem ser considerado representativo da densidade de ocupação, devido ao rápido crescimento verificado nestas áreas. Desta forma, o valor mais coerente a ser considerado é o obtido pela média dos valores determinados de D_d (BATTY & LONGLEY, 1994). Por outro lado, a variação dos valores de D_d a medida em que a distância aumenta a partir das áreas centrais em direção às áreas periféricas, caracteriza a heterogeneidade, representativa do processo de difusão do aglomerado. Portanto, quando é homogêneo, significa consolidação do processo de densificação da ocupação. A Figura 8.4 revela que o processo de densificação do aglomerado urbano de São Paulo ainda não está consolidado. Dados do censo populacional apresentados na Tabela 2.1 e Figura 2.3 confirmam esta hipótese.

Há relações entre o tamanho da cidade, a dimensão fractal, alteração da densidade e variações de forma. Por isto, o processo de urbanização pode ser melhor descrito a partir da associação entre densidade, forma, tamanho e contorno urbano. A forma pode ser considerada como consequência da atuação do sistema no espaço. A

análise destes processos espaciais é realizada pela dimensão fractal obtida nas relações perímetro-área e perímetro-resolução. Os valores de dimensão fractal para o aglomerado urbano de São Paulo, a partir destas relações estão apresentados nas Tabelas 8.3 e 8.4.

Tabela 8.3: Dimensão fractal pela análise da relação perímetro-área, no período 1905-2001.

	Período Analisado								
	1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001
R (Km)	1-10	1-9	1-22	1-21	1-31	1-53	1-52	1-55	1-52
D_{PA}	1,6999	1,3760	1,1932	1,5171	1,1945	1,4640	1,2430	1,3274	1,5886
$D(R)_{min}$	1,5224	1,2650	1,0401	1,3780	1,0496	1,3334	1,1103	1,1588	1,4208
$D(R)_{max}$	1,8262	1,4524	1,6273	1,5870	1,2670	1,5318	1,3076	1,3968	1,7537

Na relação perímetro-área, D_{PA} representa a medida de quanto a linha do contorno urbano afasta-se de uma linha reta ($D_{PA}=1$), indicando assim, a sinuosidade do perímetro urbano e o quanto sua respectiva área de ocupação é fragmentada. Por esta relação, os valores de D_{PA} , tendem ao valor 1 à medida que a expansão da área construída ocupa os espaço de forma ordenada, não alterando o contorno do limite urbano. Por outro lado, quando o valor de D_{PA} tende a 2, o perímetro apresenta contorno irregular, a área ocupada se apresenta fragmentada, caracterizando uma distribuição espacial desordenada da ocupação das áreas construídas, que podem estar associadas a restrições físicas e/ou de ordem socioeconômica.

A partir dos valores apresentados D_{PA} , pode-se destacar a grande fragmentação do aglomerado urbano em 1905 (1,69). Estes valores mostram-se variados de 1914 até 1940, alternando períodos de menor e maior fragmentação. Em 1952 atingiu o menor valor máximo de D_{PA} igual a 1,26, constatando-se nesta data uma aglomeração urbana menos fragmentada e com melhor distribuição espacial das áreas construídas. O valor apresentado em 1962 (1,46) demonstrou um aumento na fragmentação da área construída que posteriormente diminuiu, atingindo em 1972 o valor de 1,24. Em 2001 o valor de D_{PA} foi de 1,58, indicando novamente a fragmentação do aglomerado urbano.

Os resultados obtidos para o aglomerado urbano de São Paulo (Tabela 8.3), são comparáveis com o valor de áreas urbanas com grande concentração populacional, como Norwich (1,202) e King's Lynn (1,246), ambas na Inglaterra, apresentadas por Batty e Longley (1994).

A Figura 8.6, mostra o comportamento da forma do aglomerado urbano ao longo do tempo e nas variações de distância do centro para a periferia da região metropolitana de São Paulo.

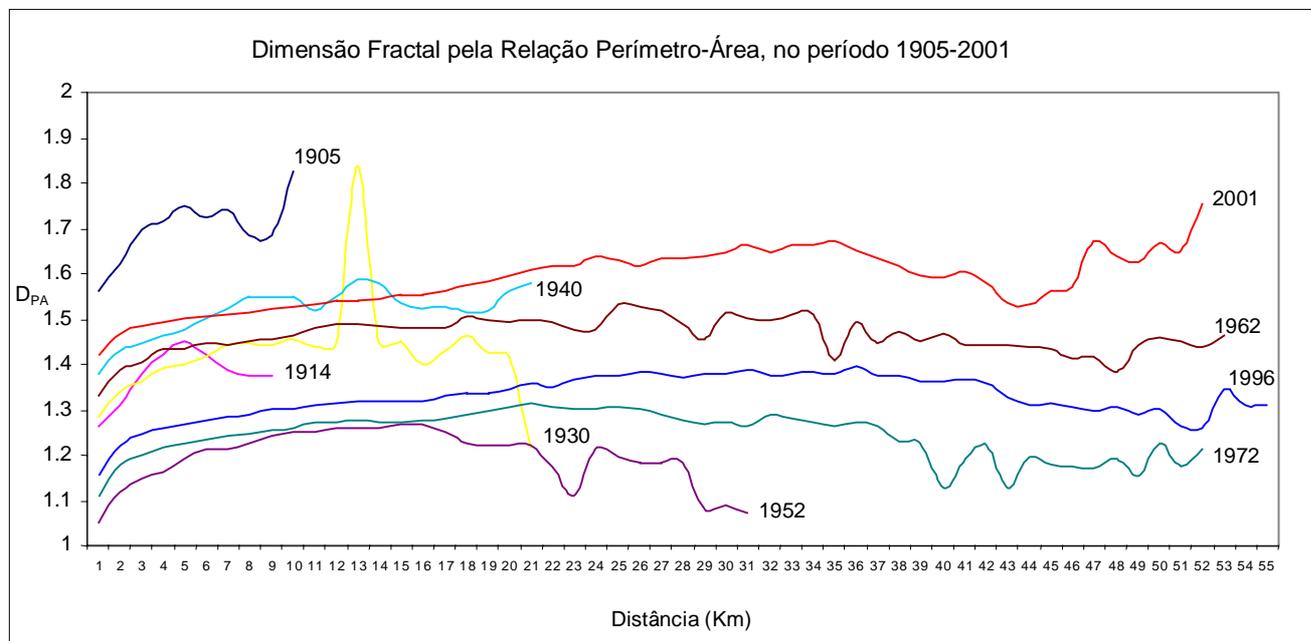


Figura 8.6: Evolução dos valores de D_{PA} , calculados pela relação perímetro-área em função do tempo e da distância a partir do centro urbano do aglomerado urbano de São Paulo.

As curvas demonstram que as datas de 1905, 1930, 1952, 1996 e 2001 apresentam maior variação em relação as demais, quando se comparam os valores de D_{PA} entre regiões centrais e periféricas. A heterogeneidade marcante dos valores de D_d na relação de densidade (Tabela 8.2) e o crescimento areal do aglomerado urbano (Figuras 8.1 e 8.2), confirmam, nestas datas, uma maior expansão das áreas construídas, ocupando de forma desproporcional espaços periféricos da região metropolitana.

A relação perímetro-resolução é um procedimento que, associado à relação perímetro-área, propõe estimar a ordem e a orientação da distribuição do aglomerado urbano a partir da rugosidade da linha do perímetro da área construída. Os valores de D_{PR} nesta relação, também variam entre 1 e 2, sendo 1 o valor que denota nenhum efeito da resolução sobre o formato da linha do perímetro, indicando maior regularidade do contorno, em virtude de uma ocupação mais homogênea do espaço. Por outro lado, quando os valores de D_{PR} tendem a 2, há uma indicação de maior

influência da resolução sobre o contorno do perímetro, que se apresenta mais irregular quanto maior for a resolução utilizada, significando uma maior heterogeneidade da ordem de ocupação do espaço. A Tabela 8.4, apresenta os resultados desta relação para o aglomerado urbano de São Paulo.

Tabela 8.4: Dimensão fractal pela análise da relação perímetro-resolução, no período 1905-2001.

	Período Analisado								
	1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001
R (Km)	1-10	1-9	1-22	1-21	1-31	1-53	1-52	1-55	1-52
D_{PR}	1,7924	1,9227	1,8727	1,8614	1,8608	1,7714	1,8231	1,9083	1,9233
$D(R)_{min}$	1,4160	1,7332	1,4704	1,4656	1,2084	1,5136	1,4113	1,6219	1,4156
$D(R)_{max}$	2,0190	2,0349	2,0268	2,0331	2,0198	2,0007	2,0010	2,0305	2,0402

A Figura 8.7 apresenta o comportamento dos valores D_{PR} (relação perímetro-resolução) em cada círculo concêntrico para as data analisada.

Em todas as datas analisadas, os valores de D_{PR} se apresentam próximos a 2 nas áreas centrais, indicando o grande efeito da resolução sobre o detalhamento do contorno das linhas, revelando uma alta rugosidade.

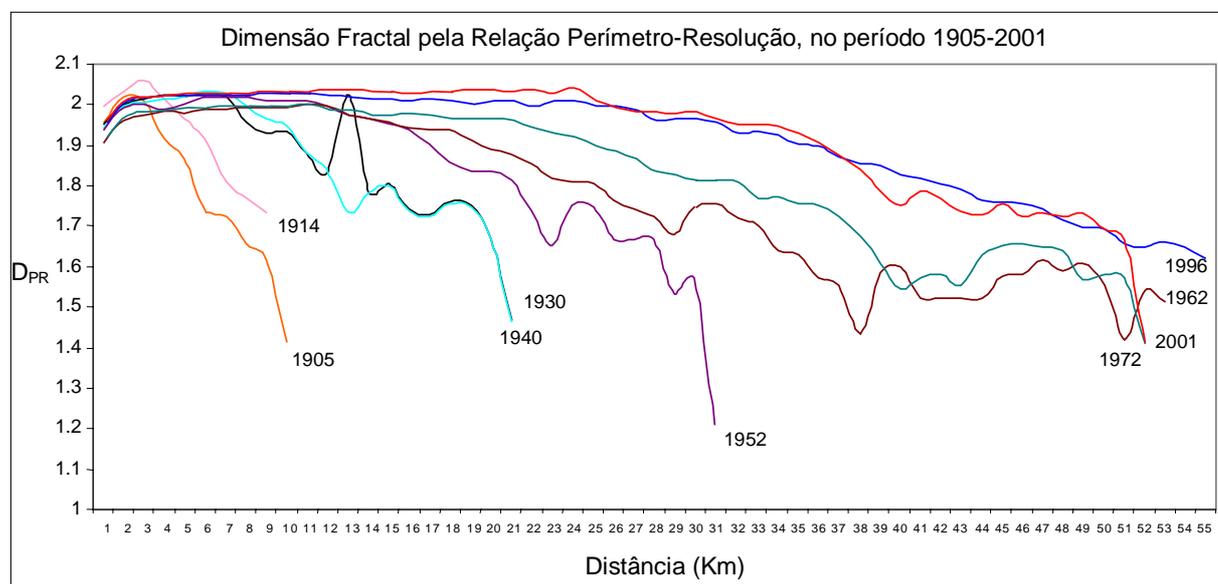


Figura 8.7: Evolução dos valores de D_{PA} , calculados pela relação perímetro-resolução em função do tempo e da distância a partir do centro urbano do aglomerado urbano de São Paulo.

Como a irregularidade da dimensão fractal revela as diferentes formas de ocupação urbana ao longo do tempo e do espaço, o que está relacionado a fatores

físicos como padrão do uso da terra, tecnologia de construção, demanda para residências, tamanho da construção, população e viabilidade de transporte; pode-se verificar, pelos valores médios de D_{PR} apresentados na Tabela 8.4, uma distribuição menos uniforme das estruturas ao longo do espaço urbano. Valores de D_{PR} apresentados por Batty e Longley (1994) para estruturas urbanas que tendem a ocupar o espaço de forma menos organizada, como áreas residenciais (1,447) e áreas comerciais e industriais (1,499), confirmam uma ausência na organização da distribuição das estruturas urbanas, desde o início da urbanização até as datas mais atuais, as quais apresentam valores mínimos de D_{PR} acima de 1,415, á exceção do ano de 1952, que apresentou valor mínimo de 1,208, sugerindo maior homogeneidade da ocupação do espaço urbano.

A Figura 8.8 permite comparar o comportamento da média dos valores de dimensão fractal ao longo das datas analisadas, determinados pela densidade de ocupação e pelas relações perímetro-área e perímetro-resolução.

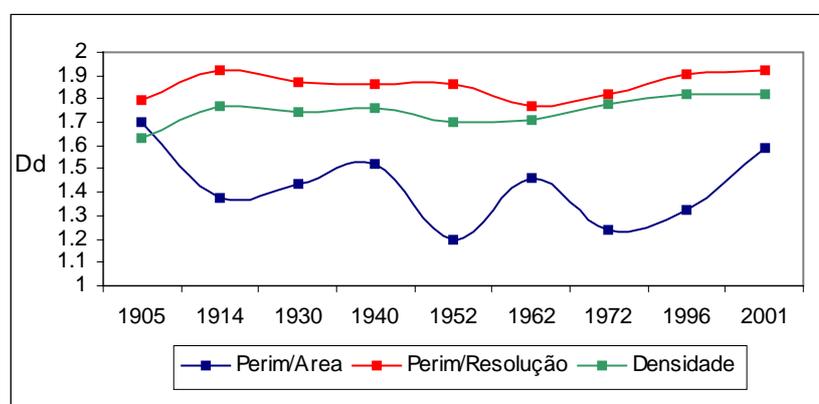


Figura 8.8: Valores médios de D nas datas analisadas determinados pela densidade de ocupação e pelas relações perímetro-área e perímetro-resolução.

Os altos valores de dimensão fractal apresentados pela densidade de ocupação e pela relação perímetro-resolução em todas as datas analisadas, indicam que a maior rugosidade dos contornos periféricos estão associadas a uma maior densidade de ocupação por estruturas urbanas ao longo do espaço. Os valores de D_{PA} oscilam de forma oposta por aqueles apresentados pela densidade e pela relação perímetro-resolução. A análise da dimensão fractal pela relação perímetro-área indica menor

fragmentação da área do aglomerado urbano em relação ao seu perímetro quanto mais densificado for o espaço e maior rugosidade apresentar o perímetro deste espaço.

Em relação as demais, a data de 1905 apresenta um valor de D_{PA} que representa maior fragmentação do aglomerado urbano também constatados nos valores de dimensão fractal obtidos pela densidade de ocupação e pela relação perímetro-resolução, os quais indicam, respectivamente, o menor preenchimento por ocupação urbana e uma menor sinuosidade do perímetro urbano. Estes resultados retratam a situação socioeconômica neste período, caracterizadas pela intensificação da imigração, instalação de indústrias têxteis, alimentícias e químicas, implantação da rede rodo-ferroviária, aumento do número de trabalhadores assalariados, intensificação do comércio e do transporte pelo crescimento da economia cafeeira.

A consolidação em 1914, do processo econômico iniciado no começo do séc. XX, fez reduzir a fragmentação do aglomerado urbano (como mostra o valor D_{PA} para relação perímetro-área), aumentar o preenchimento por área construída de forma heterogênea (como mostram os valores de D_d e D_{PR} , respectivamente, pela densidade de ocupação e relação perímetro-resolução).

No período de 1930 a 1950, a área metropolitana de São Paulo apresentou valores elevados e relativamente estáveis de ocupação do espaço urbano e da forma heterogênea como esta ocupação ocorreu no espaço (como mostram os valores de D_d e D_{PR}). O comportamento de D_{PA} mostra-se variado neste período. Desde de 1914 até 1940 o valor de D_{PA} retrata um aumento na fragmentação da área urbana, o que pode estar associado ao surgimento de auto-estradas, de novos aglomerados industriais e residenciais e pela aglutinação dos municípios de Santo André, São Bernardo e São Caetano. Apesar desta expansão nas áreas periféricas do aglomerado, a densidade de ocupação e sua heterogeneidade observadas neste período foram ocasionadas principalmente pela intervenção da administração pública na área central e no aglomerado a ela integrado, promovendo uma reestruturação urbana, tais como: vias expressas do centro para os bairros, surgimento dos bairros mistos (residenciais/indústrias) e bairros-jardim.

A estruturação destes bairros retrata o processo de densificação da área urbana em função de atividades econômicas. A instalação das linhas férreas em terrenos de baixo custo (áreas de várzeas dos rios Tietê e Tamanduateí) atraiu fábricas

e bairros residenciais com construções de baixo padrão, tais como Brás, Moóca, Bexiga, Belenzinho e Bela Vista. Por outro lado, os bairros-jardim, situados em loteamentos que nasceram em função do progresso econômico da Av. Paulista, deram origem a bairros de construção de alto padrão, entre eles, Jardim América, Jardim Europa, Jardim Morumbi, Pacaembu e Alto da Lapa.

A melhor distribuição espacial da área urbana, segundo o valor de D_{PA} obtido pela relação perímetro-área, ocorreu em 1952. Nesta data, a integração dos municípios de Guarulhos, Diadema, Mauá e Osasco tornaram a aglomeração urbana menos fragmentada.

A saturação urbana na década de 60 pode ser constatada pela redução do valor de D_d e aumento de D_{PA} apresentados em 1962, demonstrando uma fragmentação da área construída.

A análise das datas de 1972, 1996 e 2001, mostra pequeno aumento no processo de preenchimento do espaço pelas estruturas urbanas e um contínuo aumento da sinuosidade da linha do perímetro (constatados pelo aumentando progressivo dos valores de dimensão fractal obtidos pela densidade de ocupação e pela relação perímetro-resolução), em relação a data de 1962. O valor de D_{PA} , apresenta em 1972 um declínio em relação a 1962, constatando a uniformidade da distribuição da área urbana no espaço, quase semelhante à apresentada em 1952. A consolidação do processo de metropolização foi um dos principais elementos determinantes deste resultado.

A partir de 1972, o valor de D_{PA} aumenta progressivamente até 2001, indicando crescente fragmentação do aglomerado urbano. Contribuíram para este fenômeno o processo de descentralização das atividades econômicas, que ocasionou dilatação das áreas centrais, afastamento dos estabelecimentos comerciais e industriais (ao longo das marginais e principais rodovias), afastamento das áreas residenciais para a periferia, ocasionando aumento da favelização (segregação econômica), surgimento das cidades-jardins e condomínios (auto segregação) e a consolidação dos sub-centros.

Com o propósito de melhor explicar o processo de ocupação e de expansão do aglomerado urbano da região metropolitana de São Paulo, foram elaborados cartogramas para a representação das principais vias de acesso (rodovias, linhas férreas e avenidas) do aglomerado para cada data analisada (Figura 8.9).

Esta figura ilustra que a rede de circulação já estava implantada em 1905 e se estendia ao longo do aglomerado urbano, viabilizando a circulação através das direções principais, mas não apresentava ramificações. Observa-se também que, ao longo do período analisado, a rede de transporte se expandiu e se distribuiu, intensificando o acesso as diferentes direções espaciais. A estruturação espacial da rede de circulação de 1905 a 2001, associada à expansão da mancha urbana neste mesmo período, demonstra que o crescimento espacial do aglomerado urbano seguiu um padrão radial, pois a ocupação do espaço ocorreu ao longo das vias de acesso e densificou-se nas áreas de maior acessibilidade.

8.2. Dimensão Fractal do Crescimento Urbano em Setores Direcionais

Para os setores definidos no item 7.4, os valores área construída e área total para cada trapézio circular de raio de 1 km estão apresentados nos APÊNDICES A a H para os setores de I a VIII, nas datas analisadas. Os setores que demonstraram maior expansão de área urbana no período analisado foram: Zona Leste (II) e Mauá (III). Os setores Cantareira (I) e Ipiranga (IV) evidenciaram menor crescimento em relação os demais setores, enquanto, os setores Billings (V), Santo Amaro/Interlagos (VI) e Castelo Branco/Anhanguera (VII) apresentaram valores intermediária de crescimento urbano. Os valores de dimensão fractal (D_d), estimados pela densidade de ocupação, em relação ao raio R , para os diferentes setores direcionais determinados para o aglomerado urbano de São Paulo no período 1905-2001, são apresentados nas Tabelas 8.5 a 8.12 e Figuras 8.10 a 8.17.

8.2.1. Setor Cantareira

O setor Cantareira (Tabela 8.5 e Figura 8.10) apresentou uma expansão da área construída que partiu de 10 km em 1905 e alcançou 34 km em 2001, sendo esta expansão mais significativa em 1930 e 1952, quando a área urbanizada expandiu respectivamente 12 km e 10 km. A partir de 1952, o crescimento horizontal da área ocupada permaneceu estável por 40 anos até a data de 1996 quando mostrou um crescimento de 2 km, mantido até 2001.

O comportamento fractal da expansão urbana em 1905, demonstrou valores de D_d variando de 1,996 a 1,723, respectivamente nas áreas centrais e periféricas. Em 1914, apesar da área construída do setor Cantareira não apresentar crescimento significativo em relação a 1905, os valores de D_d variaram menos entre as áreas centrais (1,996) e periféricas (1,846). Isto retrata o maior preenchimento dos espaços ocupados, em relação a expansão para novos espaços.

Entre 1930 e 1940, apesar do maior crescimento urbano apresentado em 1930 em relação a 1914, o comportamento fractal apresenta variação semelhante entre

as áreas centrais e periféricas (1930: 1,996 a 1,643; 1940: 1,996 a 1,675). Estes valores demonstram o predomínio da maior fragmentação das áreas periféricas neste período.

Tabela 8.5: Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor Cantareira (I), no período de 1905 a 2001.

Setor Cantareira (I)									
Dimensão fractal temporal									
R (Km)	1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001
1	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996
2	1,957	1,965	1,965	1,965	1,965	1,965	1,965	1,965	1,965
3	1,897	1,986	1,986	1,986	1,986	1,986	1,986	1,986	1,986
4	1,919	1,967	1,994	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996
5	1,912	1,945	1,984	1,987	1,987	1,987	1,987	1,987	1,987
6	1,779	1,962	1,969	1,970	1,986	1,986	1,986	1,986	1,986
7	1,604	1,900	1,904	1,904	1,998	1,998	1,998	1,998	1,998
8	1,685	1,840	1,849	1,849	1,992	1,992	1,992	1,992	1,992
9	1,677	1,846	1,871	1,887	1,975	1,975	1,975	1,975	1,975
10	1,723		1,877	1,886	1,941	1,941	1,941	1,941	1,941
11			1,838	1,853	1,939	1,939	1,939	1,939	1,944
12			1,821	1,851	1,933	1,933	1,935	1,935	1,953
13			1,820	1,835	1,901	1,901	1,901	1,902	1,962
14			1,771	1,771	1,878	1,878	1,878	1,878	1,959
15			1,789	1,789	1,867	1,867	1,867	1,868	1,921
16			1,759	1,759	1,789	1,789	1,789	1,791	1,892
17			1,657	1,657	1,659	1,659	1,659	1,659	1,883
18			1,699	1,699	1,723	1,723	1,723	1,723	1,884
19			1,737	1,737	1,772	1,772	1,772	1,781	1,880
20			1,790	1,790	1,793	1,793	1,793	1,833	1,873
21			1,675	1,675	1,680	1,680	1,680	1,858	1,887
22			1,643		1,680	1,680	1,689	1,734	1,823
23					1,582	1,582	1,704	1,768	1,808
24					1,658	1,658	1,705	1,830	1,868
25					1,637	1,637	1,729	1,828	1,872
26					1,632	1,632	1,773	1,828	1,851
27					1,695	1,695	1,724	1,794	1,806
28					0	0	0	1,520	1,770
29					0	0	0	1,623	1,761
30					0	0	0	1,382	1,709
31					1,450	1,450	1,450	1,663	1,699
32						1,094	1,094	1,704	1,746
33								1,655	1,657
34								1,537	1,537
Média	1,815	1,934	1,836	1,850	1,812	1,790	1,806	1,828	1,886

A fragmentação das áreas periféricas acentua-se com a expansão urbana apresentada a partir de 1952, permanecendo em 1962 e 1972, o que pode ser constatado pela ampla diferença entre os valores D_d para as áreas centrais (1,996) e periféricas (1,094) e pelos vazios urbanos localizados entre os raios de 28 e 30 km. Apesar do pequeno crescimento urbano observado em 1996 e 2001, tomando-se como referência 1972, o preenchimento do espaço construído foi mais homogêneo. No entanto, em 1996 ocorrem oscilações mais freqüentes dos valores de D_d , indicando

variações no preenchimento do espaço e a ocupação dos vazios urbanos. A partir de 2001, as oscilações dos valores de D_d diminuem, demonstrando um preenchimento mais homogêneo do espaço.

Neste setor, a expansão do aglomerado urbano foi limitada pelas restrições topográficas impostas pelas encostas da Serra da Cantareira, o que dificultou a ocupação urbana e densificação das vias de acesso. A topografia e, principalmente, a hidrografia (o rio Tietê e as áreas de várzea) limitaram a expansão deste setor até 1930. Para Ab'Sáber (1957), o setor Cantareira possuía áreas próximas ao centro, mas com acesso restrito pelas poucas vias de transposição dos rios e pelas grandes extensões percorridas pelas vias de transporte que acompanhavam a sinuosidade do relevo e das áreas de várzea na margem direita do Tietê. A partir 1930, as obras de retificação do rio Tietê permitiram, para Santos (1958), a intensificação de ocupação na margem direita do rio, distante apenas 4 km do centro urbano. No entanto, mesmo com a obras de beneficiamento de acesso a este setor realizadas na década de 70 (SÃO PAULO, 1979), a área de ocupação existente nas décadas de 50 e 60 não apresentou muita expansão (2 km) em relação as datas seguintes, devido a proximidade das vertentes da serra da Cantareira, mas propiciou grande intensificação do preenchimento do espaço no sentido sudoeste - nordeste. Esta intensificação foi verificada entre 1980 e 1991 quando o setor apresentou uma taxa anual de crescimento de domicílios em torno de 39% ao ano (IBGE, 1991).

A legislação de proteção dos mananciais implementada Lei n.º 1172/76 (ANEXO A) restringiu a expansão do aglomerado urbano para raios mais distantes do centro urbano, mesmo com a presença de rodovias ao longo deste setor (rodovia Fernão Dias e estrada de Santa Inês). No entanto, houve o desenvolvimento de núcleos urbanos nas proximidades destas rodovias nas áreas periféricas do setor, como Mariporã, vila Machado e Parque Suíço.

8.2.2. Setor Zona Leste

O setor Zona Leste (Tabela 8.6 e Figura 8.11) apresentou expansão da área construída, que situa-se a 10 km do centro em 1905 e alcançando 55 km em 1996, sendo esta expansão mais significativa em 1930, em 1952 em 1962 quando a área urbanizada cresceu, respectivamente, 11 km, 10 km e 22 km.

Os valores apresentados demonstram que a área central deste setor não está totalmente preenchida, mas nas áreas abrangidas pelos raios intermediários a ocupação apresenta-se mais densificada.

O comportamento fractal da expansão urbana em 1905, demonstrou valores de D_d variando de 1,998 a 1,585, respectivamente nas áreas centrais e periféricas, indicando um preenchimento fragmentado nas áreas periféricas. Em 1914 até 1952, observa-se que, apesar do crescimento urbano, os espaços são preenchimento de forma homogênea, exibindo valores D_d , em 1914, entre as áreas centrais e periféricas de 1,889 a 1,894; em 1930, entre 1,889 a 1,878; em 1940, entre 1,889 a 1,882; e em 1952, entre 1,889 a 1,879.

Em 1962, os valores de D_d variam de 1,998 a 1,565, demonstrando uma fragmentação das áreas periféricas nesta data. Estas diferenças diminuem em 1972 e 1996, apresentando valores de D_d para as áreas centrais de 1,889 e para as periféricas de 1,630 e 1,635, respectivamente, mas ainda retratam uma área periférica com ocupação fragmentada. Em 2001, o preenchimento do espaço construído apresentou-se mais homogêneo, com valores de D_d superiores a 1,9 até o raio de 37 km, a partir deste raio os valores tiveram uma pequena queda, passando para 1,746 nas áreas mais distantes do centro urbano.

Neste setor, a expansão do aglomerado urbano não passou por grandes restrições físicas, devido ao relevo caracterizado por colinas com elevações não superiores a 800m, às áreas de planícies sedimentar e às várzeas dos rios Aricanduva e Tietê (ALMEIDA, 1958). Até a década de 40, a expansão urbana deste setor foi impulsionada pelo desenvolvimento industrial, principalmente com a instalação da indústria têxtil na área central e nos bairros do Brás, Belenzinho e ao longo das ferrovias. A partir da década de 50, as vias de acesso facilitaram a densificação da

ocupação neste setor, que ocorreu predominantemente na região de Guarulhos, ao longo das Rodovia Presidente Dutra e Estrada São Paulo – Rio (ANEXO B).

Em 1972, a implantação da legislação de regulamentação de uso e ocupação do solo contribuiu com uma maior densificação incentivando o processo de verticalização (SÃO PAULO, 1990). Esta legislação associada lei de proteção de mananciais, editada em 1976, restringiu a ocupação nas áreas ao norte e ao sul da RMSP, pela criação de áreas de proteção ambiental (ANEXO A).

Por outro lado, motivou o crescimento nas áreas oeste e leste da RMSP, pelas obras de beneficiamento da infra-estrutura urbana e reestruturação das vias de acesso. Destacam-se obras de ampliação da avenida Tatuapé, o melhoramento das estradas vicinais (estrada Itaquera-Carrão, estrada do Imperador, estrada São Miguel, estrada Guaianazes-Ferraz-Vasconcelos e estrada Itaquera-São Mateus), término da marginal direita do rio Tietê (concluindo o acesso entre a ponte Aricanduva e a cidade de Guarulhos) e a construção do complexo Aricanduva (facilitando o acesso da marginal do Tietê a estrada de Itaquera), que canalizou o rio Aricanduva e desapropriou extensas áreas ocupadas para a construção da avenida e para a reurbanização destas áreas, criando-se áreas de lazer e parques (SÃO PAULO, 1979). Estes incentivos públicos contribuíram para densificação da ocupação em uma taxa de crescimento anual de domicílios de aproximadamente 64%, entre 1980 e 1991 (IBGE, 1991).

Tabela 8.6: Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor Zona Leste (II), no período de 1905 a 2001.

Setor Zona Leste (II)									
Dimensão fractal temporal									
R (Km)	1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001
1	1,875	1,889	1,889	1,889	1,889	1,889	1,889	1,889	1,889
2	1,990	1,998	1,998	1,998	1,998	1,998	1,998	1,998	1,998
3	1,941	1,982	1,982	1,982	1,982	1,982	1,982	1,982	1,982
4	1,895	1,992	1,992	1,992	1,992	1,992	1,992	1,992	1,992
5	1,849	1,962	1,991	1,991	1,991	1,991	1,991	1,991	1,991
6	1,812	1,955	1,978	1,980	1,984	1,989	1,989	1,989	1,989
7	1,754	1,917	1,921	1,922	1,965	1,976	1,976	1,976	1,976
8	1,585	1,901	1,902	1,903	1,948	1,976	1,976	1,976	1,976
9	1,712	1,894	1,897	1,924	1,946	1,953	1,953	1,953	1,953
10	1,701		1,913	1,928	1,944	1,989	1,989	1,989	1,989
11			1,907	1,915	1,977	1,989	1,989	1,989	1,989
12			1,866	1,883	1,978	1,978	1,978	1,978	1,981
13			1,782	1,822	1,944	1,946	1,946	1,947	1,959
14			1,765	1,818	1,901	1,935	1,935	1,939	1,953
15			1,784	1,833	1,918	1,961	1,961	1,968	1,980
16			1,780	1,821	1,900	1,957	1,957	1,959	1,972
17			1,839	1,845	1,896	1,947	1,948	1,953	1,961
18			1,838	1,851	1,918	1,948	1,951	1,965	1,966
19			1,896	1,897	1,933	1,962	1,962	1,969	1,970
20			1,886	1,887	1,903	1,960	1,963	1,969	1,970
21			1,878	1,882	1,903	1,963	1,967	1,977	1,979
22					1,910	1,964	1,965	1,968	1,971
23					1,894	1,957	1,958	1,964	1,964
24					1,891	1,969	1,969	1,978	1,978
25					1,870	1,974	1,975	1,987	1,992
26					1,898	1,965	1,968	1,977	1,983
27					1,805	1,927	1,927	1,955	1,970
28					1,819	1,923	1,931	1,958	1,971
29					1,809	1,911	1,917	1,944	1,958
30					1,840	1,904	1,908	1,932	1,965
31					1,879	1,894	1,910	1,930	1,950
32						1,894	1,902	1,919	1,945
33						1,888	1,889	1,927	1,951
34						1,883	1,889	1,933	1,963
35						1,862	1,867	1,925	1,943
36						1,842	1,864	1,912	1,932
37						1,817	1,832	1,882	1,908
38						1,697	1,754	1,832	1,861
39						1,721	1,740	1,813	1,840
40						1,736	1,749	1,805	1,817
41						1,739	1,761	1,789	1,840
42						1,777	1,789	1,813	1,848
43						1,799	1,799	1,811	1,839
44						1,800	1,801	1,820	1,835
45						1,796	1,797	1,808	1,828
46						1,808	1,813	1,820	1,828
47						1,799	1,805	1,821	1,825
48						1,760	1,778	1,802	1,807
49						1,739	1,746	1,805	1,820
50						1,665	1,704	1,778	1,794
51						1,665	1,706	1,756	1,761
52						1,630	1,630	1,745	1,746
53						1,565		1,663	
54								1,646	
55								1,635	
Média	1,811	1,943	1,890	1,903	1,917	1,878	1,891	1,898	1,924

8.2.3. Setor Mauá

O setor Mauá (Tabela 8.7 e Figura 8.12) apresentou uma expansão da área construída que partiu de 9 km em 1905 e alcançou 54 km em 1996, sendo esta expansão mais significativa em 1930, quando a área urbanizada expandiu 12 km. Em 1952, o crescimento foi de 10 km e, em 1972, houve um crescimento de 9 km. Em 1996, a expansão atingi áreas mais distantes chegando aos raios de 53 e 54 km, mas evidenciando extensa área de espaços vazios.

O comportamento fractal da expansão urbana em 1905 apresentou grandes oscilações dos valores de D_d , entre as áreas centrais e as periféricas, variando de 1,893 a 1,567, demonstrando uma heterogeneidade na ocupação do espaço. Enquanto que em 1914, apesar do aglomerado não apresentar crescimento em relação a 1905, os valores de D_d pouco variaram entre as áreas centrais (1,959) e periféricas (1,857), demonstrando um preenchimento mais homogêneo do espaço ocupado.

Em 1930 e 1940, observa-se um crescimento urbano acompanhado de oscilações no comportamento fractal, apresentando variações semelhantes e valores de D_d mínimos e máximos de 1,988 e 1,519. Neste período, aparecem extensas áreas de vazios urbanos e nas áreas limítrofes encontram-se valores de D_d superiores a 1,8.

Com a expansão urbana apresentada a partir de 1952, iniciou-se a fragmentação das áreas periféricas, o que permaneceu até 1962, onde as diferenças entre os valores D_d para as áreas centrais e periféricas variaram entre 1,959 e 1,635. Nestas datas, também são observados vazios urbanos no raio de 28 km. Em 1972, o crescimento urbano apresentou-se associado a uma acentuada fragmentação das áreas periféricas, indicando um preenchimento do espaço construído mais heterogêneo. Este processo de fragmentação intensificou-se em 1996, ocorrendo oscilações mais freqüentes nos valores de D_d ao longo dos raios, devido a grande diferença do valores mínimo e máximo (1,988 a 1,258). Estas oscilações ocorreram pelo preenchimento dos espaços vazios observados em datas anteriores e surgimento de vazios urbanos nos raios de 44 a 52 km. Em 2001, continuam as oscilações dos valores de D_d , indicando que este setor apesar de ocupar extensas áreas do território, não apresentam homogeneidade no preenchimento do espaço.

Tabela 8.7: Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor Mauá (III), no período de 1905 a 2001.

Setor Mauá (III)									
Dimensão fractal temporal									
R (Km)	1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001
1	1,893	1,959	1,959	1,959	1,959	1,959	1,959	1,959	1,959
2	1,980	1,988	1,988	1,988	1,988	1,988	1,988	1,988	1,988
3	1,867	1,920	1,920	1,920	1,920	1,920	1,920	1,920	1,920
4	1,301	1,902	1,902	1,902	1,902	1,902	1,902	1,902	1,902
5	1,752	1,971	1,972	1,974	1,974	1,974	1,974	1,974	1,974
6	1,605	1,928	1,932	1,947	1,951	1,951	1,951	1,951	1,951
7	1,847	1,947	1,952	1,970	1,985	1,985	1,985	1,985	1,985
8	1,760	1,887	1,893	1,901	1,966	1,966	1,966	1,966	1,966
9	1,567	1,857	1,879	1,883	1,950	1,950	1,950	1,950	1,950
10			1,843	1,843	1,981	1,981	1,981	1,981	1,981
11			1,826	1,826	1,995	1,995	1,995	1,995	1,995
12			1,632	1,632	1,940	1,940	1,940	1,940	1,940
13			1,519	1,519	1,885	1,885	1,885	1,885	1,885
14			1,815	1,815	1,909	1,929	1,929	1,929	1,929
15			1,830	1,830	1,933	1,980	1,980	1,980	1,980
16			1,869	1,871	1,934	1,991	1,991	1,991	1,991
17			0	0	1,923	1,973	1,981	1,981	1,981
18			0	0	1,862	1,914	1,917	1,917	1,923
19			0	0	1,901	1,957	1,957	1,964	1,967
20			0	1,902	1,940	1,980	1,980	1,986	1,990
21			0	1,889	1,905	1,947	1,964	1,978	1,983
22			1,891		1,901	1,928	1,933	1,954	1,976
23					1,917	1,930	1,951	1,972	1,980
24					1,898	1,902	1,903	1,936	1,963
25					1,883	1,900	1,900	1,931	1,953
26					1,838	1,880	1,891	1,910	1,937
27					1,815	1,832	1,864	1,884	1,892
28					0	0	1,738	1,805	1,832
29					1,635	1,635	1,730	1,851	1,877
30					1,783	1,792	1,794	1,880	1,905
31					1,794	1,812	1,850	1,879	1,885
32						1,673	1,819	1,854	1,871
33							1,717	1,855	1,880
34							1,758	1,856	1,883
35							1,733	1,785	1,825
36							1,712	1,759	1,768
37							1,587	1,647	1,710
38							1,675	1,676	1,707
39							1,526	1,526	1,532
40							0	1,533	1,533
41							1,258	1,258	1,258
42							1,453	1,558	1,558
43								1,362	1,362
44								0	
45								0	
46								0	
47								0	
48								0	
49								0	
50								0	
51								0	
52								0	
53								1,565	
54								1,563	
Média	1,730	1,929	1,862	1,866	1,903	1,912	1,843	1,763	1,866

Neste setor, a expansão do aglomerado urbano ocorreu pela incorporação à área metropolitana de parte dos municípios de São Caetano do Sul e Santo André mais recentemente a incorporação dos municípios de Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra. O início do processo de ocupação ocorreu de forma semelhante ao do setor Zona Leste, tendo o desenvolvimento industrial, a partir de 1900, como impulso principal. Os bairros da Moóca e Vila Prudente e toda extensão da ferrovia até Mauá foram urbanizados com a implantação das indústrias (ANEXO B).

Na década de 70, a expansão urbana foi restringida pela legislação de proteção dos mananciais (Lei 1172/76) (ANEXO A), impedindo a expansão do aglomerado para leste e nordeste e intensificando na direção sudeste deste setor. As áreas de proteção ambiental associada à topografia (áreas de morro) contribuíram para uma taxa de crescimento anual de domicílios de aproximadamente 12%, entre 1980 e 1991 (IBGE, 1991). Apesar de apresentar uma baixa taxa de crescimento de domicílios em relação aos demais setores, as obras de reestruturação das vias de acesso foram importantes para densificação da ocupação. Dentre estas destacam-se a ampliação das avenidas Pães de Barros e do Estado.

8.2.4. Setor Ipiranga

O setor Ipiranga (Tabela 8.8 e Figura 8.13) apresentou uma expansão da área construída que partiu de 9 km em 1905 e alcançou 32 km em 2001, sendo esta expansão mais significativa em 1930, quando a área urbanizada expandiu 13 km e em 1952 com crescimento de 10 km. A partir de 1952, a expansão horizontal da área ocupada permaneceu estável até a data de 2001 quando evidenciou um crescimento de 1km.

O comportamento fractal da expansão urbana em 1905 demonstrou oscilações dos valores de D_d , entre as áreas centrais e as periféricas, variando de 1,952 a 1,376, apresentando uma heterogeneidade no preenchimento do espaço e vazios urbanos. Enquanto que em 1914, apesar do aglomerado não apresentar crescimento em relação a 1905, os valores de D_d variaram menos entre as áreas centrais (1,965) e

periféricas (1,732), demonstrando um preenchimento mais homogêneo do espaço ocupado.

No período 1930-1940, observa-se comportamento fractal com variação semelhantes, entre os valores máximo e mínimo (1,965 a 1,634). Estes valores demonstram uma ocupação do espaço heterogênea ao longo deste período. As oscilações dos valores de D_d entre os raios centrais e periféricos denotam uma densificação de ocupação maior nas áreas centrais e limítrofes em relação as áreas intermediárias. Isto retrata a ocupação urbana irregular nas áreas próximas às margens da represa Billings, mas o crescimento do aglomerado de forma homogênea é impedido pelas elevações topográficas nestas áreas de proteção (ANEXO A).

A fragmentação das áreas periféricas inicia-se de forma acentuada com o crescimento urbano apresentado a partir de 1952 e permanece em 1962 e 1972, demonstrando ampla diferenças entre os valores D_d para as áreas centrais (1,965) e periféricas (1,159), sendo as áreas do raio de 8 km que expressaram preenchimento total do espaço, com D_d igual a 2,00. Também identificam vazios urbanos no raio de 28 km. Em 1996, o preenchimento do espaço construído mostrou-se mais homogêneo com valores de D_d para as áreas periféricas aumentando para 1,582, indicando menor fragmentação no preenchimento do espaço e ocupação dos vazios urbanos. Apesar do pequeno crescimento urbano identificado em 2001 em relação a 1996, as variações dos valores de D_d diminuem (2,00 a 1,686), demonstrando um preenchimento ainda mais homogêneo do espaço.

Até década de 30, a ocupação das áreas centrais deste setor foi constituída predominantemente por residências e estabelecimentos comerciais. Posteriormente, o setor se desenvolve com a instalação de indústrias no bairro do Ipiranga (indústria têxtil) e ao longo da ferrovia sudeste, que interligava as cidades de São Caetano do Sul, Santo André e São Bernardo do Campo. Após a década de 50, a instalação do parque industrial do ABC ao longo da rodovia Anchieta, formado principalmente pela indústria automobilística, densificou o processo de urbanização nestas áreas (SÃO PAULO, 1990). A partir de 1981, o crescimento foi estimulado pelo desenvolvimento dos setores de metalurgia, mecânica, material elétrico e de comunicação e transporte. Esta vocação industrial, configurada entre as décadas de 80 e 90, consolidou o setor entre aqueles com maior densidade de emprego (37% em

relação ao total de emprego da RMSP) e área de expansão industrial (EMPLASA, 1994). Neste mesmo período, a taxa de crescimento de domicílios foi de aproximadamente 35% (IBGE, 1991), propiciando ao setor uma alta densidade residencial de uso do solo (ANEXO B).

A uniformidade da expansão urbana apresentada, neste setor, quanto ao preenchimento do espaço, ocorreu pela restrição imposta pela represa Billings e pelas áreas de proteção de mananciais, impedindo o crescimento para distâncias superiores a 28 km do centro do aglomerado, por serem áreas classificadas de acordo com EMLASA (1994) como inadequadas ou severa restrições ao assentamento urbano.

Tabela 8.8: Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor Ipiranga (IV), no período de 1905 a 2001.

Setor Ipiranga (IV)									
Dimensão fractal temporal									
R (Km)	1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001
1	1,952	1,965	1,965	1,965	1,965	1,965	1,965	1,965	1,965
2	1,899	1,957	1,957	1,957	1,957	1,957	1,957	1,957	1,957
3	1,794	1,906	1,906	1,906	1,906	1,906	1,906	1,906	1,906
4	1,794	1,998	1,998	1,998	1,998	1,998	1,998	1,998	1,998
5	1,518	1,995	1,995	1,995	1,995	1,995	1,995	1,995	1,995
6	0	1,966	1,966	1,966	1,966	1,966	1,966	1,966	1,966
7	1,860	1,994	1,994	1,994	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
8	1,801	1,893	1,894	1,903	1,993	1,993	1,993	1,993	1,993
9	1,376	1,732	1,732	1,745	1,968	1,968	1,968	1,968	1,968
10			1,767	1,767	1,959	1,959	1,959	1,959	1,959
11			1,794	1,794	1,930	1,967	1,967	1,967	1,967
12			1,741	1,741	1,896	1,983	1,983	1,983	1,983
13			1,704	1,704	1,820	1,983	1,983	1,983	1,983
14			1,749	1,749	1,867	1,973	1,973	1,973	1,973
15			1,689	1,689	1,819	1,925	1,925	1,925	1,925
16			1,719	1,719	1,874	1,964	1,964	1,964	1,964
17			1,634	1,634	1,867	1,969	1,969	1,969	1,969
18			1,620	1,620	1,854	1,955	1,955	1,955	1,955
19			1,754	1,754	1,856	1,905	1,905	1,905	1,905
20			1,853	1,853	1,932	1,953	1,953	1,953	1,953
21			1,865	1,865	1,907	1,956	1,956	1,960	1,961
22			1,871		1,899	1,953	1,953	1,958	1,961
23					1,834	1,899	1,900	1,908	1,937
24					1,892	1,922	1,938	1,946	1,974
25					1,773	1,783	1,809	1,844	1,932
26					1,654	1,654	1,669	1,757	1,833
27					1,380	1,380	1,380	1,632	1,710
28					0	0	0	1,717	1,737
29					1,387	1,387	1,387	1,721	1,732
30					1,361	1,361	1,361	1,637	1,744
31					1,159	1,159	1,159	1,582	1,690
32									1,686
Média	1,723	1,934	1,826	1,825	1,808	1,842	1,844	1,902	1,912

8.2.5. Setor Billings

O setor Billings (Tabela 8.9 e Figura 8.14) apresentou uma expansão da área construída que partiu de 9 km em 1905 e alcançou 44 km em 1996, sendo esta expansão mais significativa em 1930, 1972 e 1996 quando a área urbanizada expandiu respectivamente 13 km, 12 km e 5 km. Em 1952 o crescimento foi menos significativo, 3 km, que permaneceu até 1962.

O comportamento fractal da expansão urbana em 1905, evidencia valores de D_d , entre as áreas centrais e as periféricas, variando de 1,995 a 1,777, enquanto em 1914, os valores de D_d variaram menos entre as áreas centrais (1,995) e periféricas (1,851), demonstrando um preenchimento mais homogêneo do espaço ocupado nas áreas periféricas. Apesar do valor mínimo de D_d para ambas as datas (1,734 no raio de 4 km), em 1914 se observa uma densificação da ocupação a partir do raio de 4 km, diferenciando-se da forma de ocupação de 1905.

Em 1930, as oscilações nos valores de D_d retratam uma forma de preenchimento do espaço que varia com frequência entre a fragmentação e a densificação desde às áreas centrais e às periféricas ($R1 = 1,995$; $R6 = 2,044$; $R11 = 1,646$ e $R22 = 1,806$)¹ Observa-se, também vazios urbanos no raio de 10 km. Para 1940, o comportamento fractal é semelhança ao observado em 1930.

A partir de 1952, as oscilações entre a fragmentação e densificação do aglomerado são menos frequentes entre as áreas centrais e periféricas, indicando maior homogeneização no preenchimento do espaço (valores máximos e mínimos de D_d variando de 2,044 e 1,734). Em 1962, a homogeneidade no preenchimento é acentuada e ocorre a ocupação do vazio urbano na área periférica apresentado em 1952.

A expansão urbana apresentada em 1972 aconteceu associada a uma acentuada fragmentação das áreas periféricas, demonstrando ampla diferenças entre os valores D_d para as áreas centrais (1,995) e periféricas (1,156), como também evidenciando vazio urbano no raio de 33 km. No entanto, as áreas dos raios intermediários exibem uma homogeneidade de preenchimento semelhante a observada na datas anteriores.

¹ A letra R foi empregada como abreviatura de raio e o número que acompanha R é o comprimento do raio.

Tabela 8.9: Valores de dimensão fractal (D_t) para o Setor Billings (V), no período de 1905 a 2001.

Setor Billings (V)									
Dimensão fractal temporal									
R (Km)	1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001
1	1,995	1,995	1,995	1,995	1,995	1,995	1,995	1,995	1,995
2	1,944	1,944	1,944	1,944	1,944	1,944	1,944	1,944	1,944
3	1,861	1,880	1,897	1,897	1,897	1,897	1,897	1,897	1,897
4	1,734	1,734	1,734	1,734	1,734	1,734	1,734	1,734	1,734
5	1,768	1,972	2,043	2,043	2,043	2,043	2,043	2,043	2,043
6	1,737	1,972	2,044	2,044	2,044	2,044	2,044	2,044	2,044
7	1,793	1,872	1,917	1,917	1,947	1,947	1,947	1,947	1,947
8	1,830	1,918	1,966	1,966	2,026	2,026	2,026	2,026	2,026
9	1,777	1,851	1,895	1,896	1,990	1,990	1,990	1,990	1,990
10			0	0	1,917	1,917	1,917	1,917	1,917
11			1,646	1,688	1,967	1,969	1,971	1,973	1,975
12			1,750	1,789	1,962	1,972	1,980	1,988	1,996
13			1,734	1,744	1,932	1,957	1,977	1,994	2,009
14			1,748	1,749	1,924	1,945	1,963	1,978	1,991
15			1,715	1,716	1,888	1,902	1,914	1,925	1,935
16			1,552	1,553	1,840	1,900	1,937	1,964	1,986
17			1,638	1,657	1,850	1,904	1,939	1,965	1,986
18			1,867	1,887	1,918	1,959	1,970	1,983	1,983
19			1,870	1,875	1,878	1,926	1,948	1,962	1,967
20			1,847	1,847	1,849	1,893	1,907	1,915	1,924
21			1,764	1,774	1,783	1,815	1,837	1,851	1,874
22			1,806		1,810	1,845	1,855	1,905	1,916
23					0	1,894	1,895	1,919	1,939
24					1,829	1,898	1,902	1,911	1,941
25					1,846	1,851	1,851	1,906	1,919
26							1,870	1,907	1,925
27							1,848	1,886	1,925
28							1,733	1,814	2,017
29							1,555	1,803	1,831
30							1,517	1,750	1,762
31							1,573	1,736	1,752
32							1,387	1,763	1,786
33							0	1,787	1,817
34							1,625	1,701	1,766
35							1,505	1,774	1,780
36							1,404	1,470	1,681
37							1,156	1,595	1,740
38								1,683	1,761
39								1,743	1,747
40								1,631	1,631
41								0	0
42								0	0
43								1,684	1,684
44								1,541	1,541
Média	1,827	1,904	1,830	1,839	1,905	1,927	1,809	1,846	1,870

Em 1996, as áreas dos raios periféricos antes fragmentados tornam-se densificadas (valores D_d nas áreas centrais de 1,995 e nas periféricas de 1,541), mas ainda apresentando vazios urbanos nos raios de 41 e 42 km. Em 2001, os valores de D_d nas áreas centrais e periféricas são semelhantes aqueles apresentados em 1996, no entanto, os valores de D_d para todos os raios intermediários são maiores, indicando uma densificação no preenchimento do espaço das áreas situadas entre o centro e o limite urbano.

Os raios iniciais deste setor abrangem áreas classificadas como adequadas e com pouca restrições ao assentamento urbano. Isto incentivou, até a década de 40, a cobertura do solo preferencialmente por residências. A proximidade com a área central, considerada a principal foco das atividades comerciais, associada ao relevo irregular também contribuíram, desde o início da urbanização, para consolidar a uso residencial do solo (ANEXO B). Entre 1980 e 1991, a taxa anual de crescimento de domicílios foi de aproximadamente 35% (IBGE, 1991), impulsionada pela construção da rodovia dos Imigrantes considerada um eixo viário de atração industrial e melhoramento da acessibilidade. O término das obras da linha norte-sul do metrô, em 1979, também foi um fator importante para a densificação da ocupação urbana (SÃO PAULO, 1979).

Após a década de 70, ocorreu a expansão deste setor restringida pelas áreas de proteção de mananciais (Lei 1172/76) (ANEXO A), que associada à área da represa Billings impediu o assentamento urbano na direção sudeste.

8.2.6. Setor Santo Amaro/Interlagos

O setor Santo Amaro/Interlagos (Tabela 8.10 e Figura 8.15) apresentou uma expansão da área construída que partiu de 10 km em 1905 e alcançou 48 km em 2001, sendo esta expansão mais significativa em 1930, quando a área urbanizada expandiu 11 km, em 1952, 1972 e 1996 cresceu, respectivamente 5 km, 14 km e 8 km.

A densidade de ocupação em 1905, apresenta-se fragmentada desde os raios intermediários com valores de D_d máximos e mínimos de 2,0 e 1,666. Em 1914, o menor valor de D_d é 1,820 no raio limítrofe de 9 km, demonstrando uma ocupação

homogênea do espaço. Nas datas de 1930 e 1940, as diferenças entre os valores mínimos e máximos é ampla (2,0 a 1,606). No entanto, os valores mínimos são mais observados em áreas intermediárias entre o centro e a periferia urbana, sendo os valores de D_d para os raios limítrofes, de 21 km, de 1,867 e 1,870, respectivamente. Isto representa uma ocupação heterogênea ao longo dos raios e com uma maior fragmentação nas áreas intermediárias.

Apesar da pequena expansão em 1952, as áreas intermediárias apresentam uma maior densidade de ocupação, tornando o preenchimento mais homogêneo entre as áreas centrais e intermediárias. Porém, os valores de D_d para as áreas limítrofes denotam uma ocupação mais fragmentada do espaço em relação a data anterior. A expansão observadas nas datas de 1962 e 1996 apresentam em comum valores de D_d que retratam um ocupação menos fragmentada em raios cada vez mais distantes das áreas centrais. No entanto, as áreas de 1962 e 1972 apresentam próximo às áreas limítrofes, vazios urbanos, que são preenchidos apenas 1996. Na data de 1972, os raios intermediários mostram D_d que representam uma densidade de ocupação maior que em 1962, porém a forma de ocupação nas áreas centrais e limítrofes são idênticas nestas duas datas. Em 2001, as áreas centrais possuem ocupação idêntica a 1996, mas as área intermediárias e periféricas apresentam valores de D_d que retratam maior preenchimento do espaço em 2001. Os valores de D_d para os raios limítrofes denotam um preenchimento do espaço novamente semelhante nestas duas datas.

O desenvolvimento urbano deste setor esteve restrito até a conclusão das obras de retificação do rio Pinheiros e controle dos alagamentos nas áreas de várzeas. Assim, a partir de 1940, intensifica-se o processo de ocupação da margem direita do rio com uso predominantemente misto (residencial/comercial) do solo, e inicia-se a ocupação da margem esquerda por residências e indústrias, sendo que o setor industrial concentrou-se ao longo das rodovias Reges Bittencourt e Raposo Tavares.

A partir da década de 50, com a ampliação do parque industrial, intensifica-se a ocupação, que adquiri grande proporções nas décadas de 60 e 70 com a construção de grandes avenidas que viabilizam o acesso da área central com a marginal Pinheiros.

Tabela 8.10: Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor VI Santo Amaro/Interlagos, no período de 1905 a 2001.

Setor VI Santo Amaro/ Interlagos									
Dimensão fractal temporal									
R (Km)	1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001
1	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
2	1,944	1,944	1,944	1,944	1,944	1,944	1,944	1,944	1,944
3	1,861	1,946	1,946	1,946	1,946	1,946	1,946	1,946	1,946
4	1,850	1,974	1,974	1,974	1,974	1,974	1,974	1,974	1,974
5	1,745	1,993	1,993	1,993	1,993	1,993	1,993	1,993	1,993
6	1,655	1,990	1,990	1,994	1,994	1,994	1,994	1,994	1,994
7	1,668	1,990	1,995	1,996	1,999	1,999	1,999	1,999	1,999
8	1,743	1,833	1,857	1,877	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962
9	1,800	1,820	1,832	1,843	1,917	1,917	1,917	1,917	1,917
10	1,666		1,746	1,746	1,903	1,911	1,911	1,911	1,911
11			1,606	1,606	1,884	1,915	1,915	1,915	1,915
12			1,606	1,606	1,884	1,900	1,900	1,900	1,900
13			1,606	1,606	1,890	1,926	1,926	1,926	1,926
14			1,606	1,606	1,842	1,926	1,926	1,926	1,926
15			1,606	1,606	1,810	1,901	1,901	1,901	1,901
16			1,606	1,606	1,828	1,940	1,940	1,940	1,940
17			1,812	1,814	1,868	1,935	1,936	1,938	1,939
18			1,821	1,822	1,834	1,957	1,957	1,963	1,967
19			1,828	1,828	1,840	1,957	1,960	1,972	1,979
20			1,821	1,825	1,849	1,936	1,942	1,960	1,969
21			1,867	1,870	1,884	1,946	1,959	1,974	1,980
22					1,868	1,927	1,940	1,962	1,969
23					1,868	1,867	1,887	1,932	1,949
24					1,868	1,835	1,853	1,911	1,933
25					1,736	1,741	1,765	1,894	1,909
26					1,782	1,792	1,810	1,900	1,913
27						1,772	1,814	1,894	1,906
28						1,768	1,776	1,869	1,886
29						1,743	1,760	1,856	1,867
30						1,712	1,729	1,841	1,856
31						1,738	1,757	1,822	1,835
32						1,698	1,780	1,822	1,786
33						1,565	1,565	1,744	1,754
34						0	0	1,745	1,745
35						0	0	1,743	1,757
36						0	0	1,770	1,779
37						0	0	1,809	1,814
38						0	0	1,798	1,809
39						1,565	1,565	1,840	1,845
40						1,595	1,595	1,813	1,818
41								1,783	1,784
42								1,700	1,726
43								1,753	1,754
44								1,662	1,754
45								1,633	1,754
46								1,663	1,664
47								1,686	1,686
48								1,544	1,544
Média	1,793	1,943	1,812	1,815	1,891	1,826	1,899	1,861	1,870

Apesar da extensa área de proteção mananciais (ANEXO A) e pela restrição topográfica, devido as áreas de elevadas altitudes e fortes declividades das vertentes, ocuparem toda porção periférica deste setor, o aglomerado urbano se expandiu com alto valor médio de D_d nos raios centrais e intermediários, contribuindo para densificação da ocupação e gerando crescimento anual de domicílios de aproximadamente 40% (IBGE, 1991). Porém, os valores baixos D_d nas áreas periféricas indicam uma ocupação fragmentada ao longo das rodovias que acessam núcleos urbanos situados nas áreas de proteção ambiental.

8.2.7. Setor Castelo Branco/Anhanguera

O setor Castelo Branco/Anhanguera (Tabela 8.11 e Figura 8.16) apresentou uma expansão da área construída que partiu de 10 km em 1905 e alcançou 43 km em 2001, sendo esta expansão mais significativa em 1930 e em 1952, quando a área urbanizada expandiu 10 km, para cada data. Em 1972 e 1996 o crescimento foi de 5 km em cada data.

Neste setor a heterogeneidade na ocupação do espaço é observada em 1905 com valores de D_d centrais e periféricos entre 2,0 e 1,785. Em 1914, a ocupação do espaço apresenta um preenchimento com diferenças mínimas de D_d entre as regiões centrais e periférica (2,0 e 1,907), retratando densificação da ocupação ao longo dos raios. Este comportamento fractal, apesar das diferenças do crescimento urbano, permanece nas datas 1930, 1940, 1952 e 1962, com exceção do raio limítrofe desta última data, que apresenta valor de D_d de 1,782, indicando uma fragmentação da ocupação no limite do aglomerado. Em 1972, as diferenças entre as áreas centrais e periféricas aumentam, apresentando valores de D_d entre 2,0 e 1,550.

O comportamento observado em 1972 se repete nas datas de 1996 e 2001, apresentando valores de D_d , em ambas datas, entre 2,0 e 1,421. Os valores que representam um preenchimento fragmentado do espaço são encontrados apenas nos raios periféricos das datas de 1972, 1996 e 2001. Enquanto que as áreas centrais e intermediárias destas datas apresentam valores de D_d representativos de uma ocupação homogênea do espaço urbano.

A expansão do aglomerado urbano deste setor teve como fatores influentes, entre 1905 e 1930, a ferrovia (com grande extensão a oeste) e o relevo (caracterizado por áreas de baixa variação altimétrica, menores de 750m) ao longo do curso do rio Tietê e da confluência deste com o rio Pinheiros (SÃO PAULO, 1979).

Tabela 8.11: Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor VII Castelo Branco/Anhanguera, no período de 1905 a 2001.

Setor VII Castelo Branco/ Anhanguera									
Dimensão fractal temporal									
R (Km)	1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001
1	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
2	1,992	1,992	1,992	1,992	1,992	1,992	1,992	1,992	1,992
3	1,901	1,946	1,946	1,946	1,946	1,946	1,946	1,946	1,946
4	1,890	1,958	1,959	1,959	1,966	1,974	1,974	1,974	1,974
5	1,839	1,950	1,955	1,955	1,957	1,975	1,975	1,975	1,975
6	1,769	1,930	1,948	1,955	1,959	1,968	1,968	1,968	1,968
7	1,778	1,909	1,931	1,938	1,940	1,964	1,964	1,964	1,964
8	1,801	1,896	1,913	1,920	1,951	1,957	1,957	1,957	1,957
9	1,738	1,907	1,910	1,920	1,968	1,972	1,972	1,972	1,972
10	1,785		1,921	1,921	1,970	1,973	1,973	1,973	1,973
11			1,873	1,875	1,946	1,961	1,961	1,961	1,961
12			1,857	1,860	1,925	1,963	1,963	1,963	1,963
13			1,888	1,900	1,936	1,976	1,976	1,976	1,980
14			1,866	1,876	1,936	1,970	1,970	1,971	1,981
15			1,894	1,895	1,938	1,979	1,979	1,980	1,985
16			1,870	1,874	1,927	1,964	1,964	1,969	1,980
17			1,878	1,886	1,929	1,947	1,948	1,953	1,978
18			1,832	1,835	1,867	1,931	1,931	1,934	1,985
19			1,871	1,879	1,888	1,940	1,947	1,952	1,989
20			1,857	1,870	1,875	1,912	1,915	1,937	1,971
21					1,874	1,886	1,902	1,929	1,967
22					1,895	1,904	1,935	1,941	1,969
23					1,891	1,897	1,924	1,928	1,964
24					1,849	1,853	1,880	1,922	1,963
25					1,817	1,820	1,849	1,910	1,949
26					1,822	1,826	1,831	1,914	1,942
27					1,849	1,861	1,861	1,920	1,940
28					1,854	1,873	1,873	1,908	1,947
29					1,857	1,872	1,872	1,903	1,957
30					1,852	1,861	1,862	1,914	1,951
31					1,824	1,830	1,835	1,904	1,945
32						1,782	1,789	1,864	1,914
33							1,784	1,834	1,882
34							1,747	1,823	1,861
35							1,690	1,802	1,845
36							1,569	1,724	1,794
37							1,547	1,697	1,749
38							1,550	1,745	1,749
39								1,658	1,658
40								1,566	1,566
41								1,668	1,668
42								1,664	1,664
43								1,421	1,421
Média	1,849	1,943	1,908	1,913	1,910	1,923	1,884	1,880	1,901

A partir da década 50, o término das obras de retificação e urbanização das marginais dos rios Tietê e Pinheiros e controle das áreas de alagamento incentivaram a instalação de indústrias, que promoveram o crescimento residencial e comercial. A rodovia Castelo Branco e a ausência de restrições ambientais (ANEXO A) foram atrativos para a instalação e concentração industrial ao longo deste eixo viário, e a conseqüente expansão territorial do aglomerado.

Nas décadas de 70 e 80, as legislações de controle de uso do solo na área metropolitana e de proteção de mananciais implantaram uma política urbana de preservação das represas Billings, Guarapiranga e do sistema Cantareira e estimularam a expansão na direção leste e oeste, através da conclusão da linha leste-oeste do metrô, da extensão da rede de transporte coletivo e das obras de construção e conservação de avenidas, facilitando o acesso das áreas centrais do aglomerado (Lapa, Perdizes, Pinheiros, Barra Funda) às áreas periféricas (Butantã, Osasco, Carapicuíba). Estes fatores contribuíram para o crescimento anual de domicílio, entre 1980 a 1991, de aproximadamente 40% (IBGE,1991).

8.2.8. Setor Anhanguera/Bandeirantes

O setor Anhanguera/Bandeirantes (Tabela 8.12 e Figura 8.17) apresentou uma expansão da área construída que partiu de 8 km em 1905 e alcançou 44 km em 2001, sendo esta expansão mais significativa em 1930, quando a área urbanizada expandiu 14 km. Em 1952 e 2001 ocorreram crescimentos de 9 km em cada data e expandiu 4 km em 1962.

Em 1905, há oscilações no preenchimento do espaço nas áreas abrangidas pelos raios intermediários, o que não altera a diferença entre os valores de D_d para os raios centrais e periféricos (2,0 a 1,614), indicando um preenchimento heterogêneo o espaço. A oscilação verificada em 1914 ocorre nos raios limítrofes do aglomerado urbano, tornando as diferenças entre os valores de D_d para as áreas centrais e periféricas (2,0 a 1,791) menores que as de 1905. As oscilações observadas em 1930 e 1940 são mais freqüentes, apresentando vazios urbanos (entre 8 a 10 km) e alternando o preenchimento do espaço entre áreas densificadas e fragmentadas. Estas alterações iniciam-se sempre com espaços densificados (áreas centrais) e terminam

com espaços fragmentados (áreas limítrofes). Esta tendência de comportamento persiste em 1952, 1962, 1972, 1996 e 2001.

A data de 1952 evidencia o preenchimento dos vazios urbanos verificados nas datas anteriores e apresentam a menor diferença entre os valores centrais e limítrofes (2,0 a 1,823), apesar das oscilações freqüentes entre os valores de D_d que indicam áreas mais ou menos densificadas entre as áreas centrais e periféricas. Em 1962, 1972 e 1996 as áreas limítrofes apresentam valores de D_d que mostram um preenchimento mais fragmentado do espaço urbano em relação as datas anteriores. Nestas datas, as oscilações dos valores de D_d entre as áreas centrais e periféricas continuam freqüentes. Em 2001, apesar do valor de D_d nas áreas periféricas denotarem um preenchimento ainda mais fragmentado do espaço urbano, as oscilações entre os valores são menos amplas nas áreas centrais e intermediárias, tornado-se maiores apenas nos três últimos raios.

Antes de 1930, a ocupação deste setor ficou concentrada nas áreas situadas à esquerda do rio Tietê, devido às restrições impostas pela escassez de acesso à margem direita e a transposição das áreas de várzea. A partir da retificação do rio Tietê permitiu a intensificação da ocupação ao longo das áreas da via marginal, bem como da ferrovia e da antiga estrada que ligavam a capital à cidade de Campinas. Esta ocupação predominantemente industrial incentivou a ocupação residencial para áreas mais distantes do centro do aglomerado.

Após a década de 70, mesmo com o sistema Anhanguera/Bandeirantes constituindo-se em um eixo viário de ligação entre a capital e as regiões de grande importância econômica do interior do estado, a instalação de indústrias e de ocupação residencial e comercial foram limitadas pelas leis de proteção ambiental e criação de parques e reservas estaduais (Jaraguá e Anhanguera) (ANEXO A). Estes fatores configuraram uma intensa ocupação nos raios centrais e o desenvolvimento de núcleos urbanos nas proximidades das rodovias e da ferrovia nas áreas periféricas do setor situadas após as áreas protegidas pelas leis ambientais, como as cidades de Franco da Rocha, Francisco Morato, Caieiras e Perus, que apresentam ocupação industrial e comercial e um crescimento anual de domicílios de aproximadamente 14% (IBGE, 1991). Este setor mostra uma tendência de ocupação industrial observada nas décadas de 80 e 90 pela maioria das indústrias instaladas no estado, concentrando-se em raios

de até 50 km do centro da cidade de São Paulo por priorizar áreas que associavam acessibilidade e baixo custo do terreno sem se afastar do pólo econômico representado pela RMSP.

Tabela 8.12: Valores de dimensão fractal (D_d) para o Setor VIII Anhanguera/Bandeirantes, no período de 1905 a 2001.

Setor VIII Anhanguera/Bandeirantes									
Dimensão fractal temporal									
R (Km)	1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001
1	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
2	1,999	1,999	1,999	1,999	1,999	1,999	1,999	1,999	1,999
3	1,913	1,988	1,988	1,988	1,988	1,988	1,988	1,988	1,988
4	1,776	1,874	1,977	1,977	1,977	1,999	1,999	1,999	1,999
5	1,742	1,803	1,816	1,902	1,913	1,929	1,929	1,929	1,929
6	1,801	1,923	1,935	1,953	1,988	1,988	1,988	1,988	1,988
7	1,773	1,791	1,829	1,953	1,999	1,999	1,999	1,999	1,999
8	1,614		0	0	1,975	1,975	1,975	1,975	1,975
9			0	0	1,877	1,877	1,877	1,877	1,877
10			0	0	1,845	1,845	1,845	1,845	1,845
11			1,807	1,807	1,924	1,928	1,928	1,928	1,934
12			1,821	1,821	1,875	1,911	1,911	1,911	1,983
13			1,787	1,787	1,797	1,865	1,865	1,865	2,000
14			1,775	1,775	1,775	1,818	1,818	1,818	1,994
15			1,833	1,833	1,833	1,834	1,834	1,834	1,963
16			1,784	1,784	1,784	1,794	1,794	1,805	1,934
17			1,631	1,631	1,631	1,631	1,631	1,734	1,887
18			1,802	1,802	1,802	1,802	1,804	1,820	1,908
19			1,847	1,847	1,847	1,847	1,847	1,862	1,920
20			1,828	1,828	1,831	1,843	1,843	1,893	1,922
21			1,764	1,764	1,583	1,735	1,735	1,823	1,863
22			1,689		1,689	1,725	1,725	1,760	1,843
23					1,772	1,772	1,772	1,822	1,887
24					1,744	1,744	1,754	1,843	1,906
25					1,804	1,816	1,875	1,939	1,951
26					1,778	1,779	1,845	1,948	1,950
27					1,830	1,848	1,865	1,935	1,939
28					1,831	1,880	1,887	1,928	1,933
29					1,759	1,761	1,802	1,910	1,920
30					1,778	1,778	1,778	1,902	1,911
31					1,823	1,823	1,823	1,877	1,878
32						1,847	1,847	1,890	1,912
33						1,822	1,822	1,888	1,906
34						1,710	1,710	1,843	1,897
35						1,612	1,612	1,671	1,871
36									1,889
37									1,862
38									1,868
39									1,841
40									1,789
41									1,717
42									1,564
43									1,610
44									1,512
Média	1,827	1,911	1,836	1,872	1,840	1,844	1,849	1,887	1,892

8.2.9. Comportamento fractal temporal direcional por setor de crescimento

A Figura 8.18 apresenta a variação dos valores médios de D_d para cada setor direcional no período analisado. O setor Cantareira (I), setor Zona Leste (II), setor Billings (V), setor Santo Amaro/Interlagos (VI), setor Castelo Branco/Anhanguera (VII) e o setor Anhanguera/Bandeirantes (VIII) apresentaram no início do período analisado densidade de ocupação semelhantes, com valor de D_d de 1,8. O setor Mauá (III) e o setor Ipiranga (IV) apresentaram, por outro lado, valores de D_d de 1,7 no mesmo período. Todos os setores mostraram ao final do período analisado valores de D_d superiores a 1,9, indicando que ao longo do período analisado todos os setores apresentaram ao final aumento da densidade de ocupação.

Entretanto, o comportamento dos valores médios de D_d para cada data analisada variou bastante entre os setores. Todos os setores apresentaram um primeiro pico de densificação em 1914, com exceção do setor Billings que apresentou pico em 1930. Após este primeiro pico, os valores médios de D_d tendem a mostrar diminuição e aumento freqüentes, até o ano de 2001. Estas oscilações são menos freqüentes nos setores Zona Leste, Castelo Branco/Anhanguera e Anhanguera/Bandeirantes, o que demonstra uma densificação uniforme e constante ao longo do período analisado.

Os valores de médios D_d para os setores Cantareira e Ipiranga apresentam uma redução que reflete uma fragmentação da ocupação do espaço a partir de 1914. Os valores baixos de D_d se mantêm na maioria das datas analisadas e apenas voltam a apresentar um aumento no valor de D_d , representativo de uma ocupação densa do espaço, na última data analisada.

As oscilações nos valores médios de D_d para os setores Mauá, Billings e Santo Amaro/Interlagos refletem uma ampla alteração na forma de ocupação ao longo das datas analisadas. Estas oscilações denotam que estes setores experimentaram uma forma de ocupação freqüentemente alternada entre elevados picos de densificação e de fragmentação, terminando, em uma forma densificada de ocupação.

O crescimento do aglomerado urbano da região metropolitana de São Paulo para cada setor direcional pode ser comparado em cada data analisada pelas Figuras 8.19 a 8.27.

8.2.10. Comportamento fractal direcional em 1905

Todos os setores direcionais apresentaram em 1905 (Figura 8.19) crescimento da extensão do aglomerado urbano com pequenas diferenças de distâncias (até 2 km), ocupando áreas com raios de 8 e 10 km. A forma de ocupação evidencia em todos setores áreas centrais mais densificadas que as áreas limítrofes. As áreas intermediárias apresentam um comportamento distinto em cada setor. O setores Cantareira, Zona Leste e Mauá, mostram áreas intermediárias com picos de fragmentação com valores de D_d inferiores aos das áreas limítrofes. Os picos de densificação com valores de D_d próximos das áreas centrais são observados nos setores Mauá e Ipiranga. As oscilações dos valores D_d nas áreas intermediárias são menos discrepantes em relação às áreas limítrofes nos setores Billings, Santo Amaro/Interlagos, Castelo Branco/Anhanguera e Anhanguera/Bandeirantes.

O comportamento fractal de todos os setores em 1905 retratam uma ocupação heterogênea do preenchimento do espaço quando se compara as áreas centrais e periféricas. No entanto, a maioria dos setores apresentam oscilações pequenas entre fragmentação e densificação apenas nas áreas limítrofes. Apenas os setores Mauá e Ipiranga apresentam mais amplas oscilações em áreas próximas ao centro urbano, cujo comportamento se estende até os raios do limite urbano. Os fatores que contribuíram para essa fragmentação na forma de preenchimento do espaço foram principalmente a existência marcante de canais fluviais e áreas de várzea. Os setores que mostraram esta restrição para a densificação ocupação nas áreas periféricas foram os Cantareira e Zona Leste, devido aos canais dos rios Tietê, Tamanduateí e seus afluentes. Nos setores Mauá e Ipiranga, a variação do relevo entre áreas de colinas e as planícies fluviais associada à pouca densificação das vias de acesso, tornaram o preenchimento das áreas intermediárias e periféricas fragmentado e alternado, com áreas de densificação. Para os setores Billings, Santo Amaro/Interlagos, Castelo Branco/Anhanguera e Anhanguera/Bandeirantes o rio Pinheiros e suas áreas de várzea contribuíram para a limitação da ocupação urbana, com exceção do setor, Castelo Branco/Anhanguera, cuja a ocupação periférica foi possível pelo acesso da rede rodoviária.

8.2.11. Comportamento fractal direcional em 1914

O crescimento do aglomerado urbano na data de 1914 (Figura 8.20) atingiu, a partir do centro urbano, a extensão de 9 km para todos os setores direcionais, com exceção do setor Anhanguera/Bandeirantes, cuja extensão de crescimento foi de 7 km.

Em 1914, as diferenças entre os valores D_d centrais e periféricos continuam, porém em menor magnitude que a observada em 1905. A maior diferença é observada apenas para o setor Ipiranga. Outra característica importante é a maior densidade de ocupação e entre as áreas intermediárias, atenuando as oscilações observadas nestas áreas em 1905, com exceção dos setores Mauá, Billings e Anhanguera/Bandeirantes que ainda revelam oscilações, mas com diferenças suaves entre os picos de fragmentação e densificação. Nos demais setores, valores baixos de D_d são observados apenas na áreas limítrofes, mantendo uma homogeneidade no preenchimento do espaço nas áreas centrais e intermediárias.

Esta homogeneização do preenchimento do espaço ocorreu devido aos investimentos de expansão da rede ferroviária e a instalação de indústrias têxtil, alimentícia e química. Os setores que se desenvolveram a partir desta infra-estrutura foram Cantareira, Zona Leste, Mauá, Ipiranga, Billings, Santo Amaro/Interlagos e Castelo Branco/Anhanguera, que ainda passaram por investimentos do setor público, com a reestruturação das vias urbanas, construções de viadutos e pontes, principalmente, nos bairros do Brás, Móoca, Belenzinho, Bexiga e Bela Vista. No setor Cantareira, com exceção do bairro de Santana não houve um desenvolvimento urbano nos demais núcleos apesar da proximidade com o centro do aglomerado. Atribuiu-se este fato à topografia irregular das áreas às margens do rio Tietê.

O setor e Anhanguera/Bandeirantes apresentou pouco desenvolvimento urbano nesta época devido dificuldade de acesso para transposição da confluência dos rios Tietê e Pinheiros.

8.2.12. Comportamento fractal direcional em 1930 e 1940

Em 1930 e 1940 os setores direcionais apresentam características de densificação distintas. A expansão do aglomerado urbano em cada setor direcional, nestas datas, atingiu raios de diferentes distâncias, variando entre 20 a 22 km (Figuras 8.21 e 8.22).

A diferença dos valores de D_d entre o centro e a periferia é grande apenas nos setores Cantareira e Anhanguera/Bandeirantes. Nos demais setores, apesar da intensa oscilação dos valores de D_d nas áreas intermediárias, a diferença entre as áreas centrais e periféricas é baixa, quanto os valores de D_d . Exceção ao setor Castelo Branco/Anhanguera que não apresenta oscilações dos valores intermediários de D_d .

A forma de ocupação observada em 1930 e 1940, para os setores direcionais, retrata uma ocupação heterogênea do espaço entre o centro e a periferia para os setores Cantareira e Anhanguera/Bandeirantes. Oscilações entre áreas densificadas e fragmentadas ocorrem nestes dois setores, porém de forma suave nas áreas próximas ao centro e com magnitude um pouca mais elevadas nas áreas periféricas.

Os setores Zona Leste e Castelo Branco/Anhanguera apresentam densificação homogênea do aglomerado urbano entre as áreas centrais e periféricas, além de baixa oscilação entre áreas fragmentadas e densificadas ao longo dos raios.

Os setores Mauá, Ipiranga, Billings, Santo Amaro/Interlagos apresentam áreas intermediárias bastantes fragmentadas em sua forma de preenchimento do espaço, enquanto que nas áreas centrais o preenchimento é homogêneo. Exceção deve ser feita ao setor Billings que apresenta oscilação entre preenchimento fragmentado e densificado desde as áreas centrais até as áreas periféricas, sendo as oscilação nas áreas intermediárias menores, porém com baixos valores de D_d .

Neste período, os rios Tietê e Pinheiros e seus afluentes situam-se entre as áreas intermediárias e periféricas do aglomerado, tornando estas áreas fragmentadas nos setores Cantareira, Zona Leste, Mauá, Castelo Branco/Anhanguera e Anhanguera/Bandeirantes. O início das obras de retificação e canalização destes canais fluviais permitiu o avanço da ocupação urbana nos trechos concluídos, gerando variação entre áreas densificadas e fragmentadas ao longo dos raios.

A rede de transporte rodoviário implementada nas áreas centrais e sua menos distribuição nas áreas intermediárias e periféricas influenciou a forma de ocupação e preenchimento dos setores Ipiranga, Billings e Santo Amaro/Interlagos, cuja a densificação é maior nas áreas centrais e os espaços intermediários mais fragmentados que os limítrofes. A influência das redes ferroviária e rodoviária, que forneceram acesso ao litoral, favoreceram o surgimento de núcleos de ocupação nas áreas periféricas do aglomerado.

8.2.13. Comportamento fractal direcional em 1952

A expansão dos setores direcionais em 1952 atingiu a distâncias de 31 km na maioria dos setores, com exceção dos setores Billings e Santo Amaro/Interlagos, cuja o crescimento chegou até o raio de 25 km (Figura 8.23).

As maiores diferenças dos valores de D_d entre as áreas centrais e periféricas são observadas nos setores Cantareira e Ipiranga. Nos demais setores, as diferenças são menores, indicando um preenchimento do espaço mais homogêneo entre as áreas centrais e periféricas. No entanto essa homogeneização é observada ao longo dos raios apenas para os setores Zona Leste e Castelo Branco/Anhanguera. Os setores Mauá e Santo Amaro/Interlagos apresentaram oscilações suaves entre fragmentação e densificação que se acentuam nas áreas limítrofes, apesar da pouca variação dos valores centrais e periféricos de D_d . O setor Billings apresentou grandes oscilações nas áreas centrais, enquanto o setor Anhanguera/Bandeirantes apresentou grandes oscilações nas áreas intermediárias, apesar de ambos apresentarem baixos valores de D_d entre as áreas centrais e periféricas.

A heterogeneidade na forma de preenchimento do espaço do setor Cantareira ocorre pela diminuição dos valores de D_d a partir das áreas intermediárias até as áreas limítrofes. No setor Ipiranga a heterogeneidade ocorre pela queda dos valores de D_d apenas nas áreas limítrofes, assim, ambos os setores apresentam valores elevados de D_d nas áreas centrais.

A conclusão das obras de retificação e canalização dos rios Tietê e Pinheiros (SANTOS, 1958) e afluentes permitiram a expansão do aglomerado, ocupando as áreas da margem do rio Tietê que gerou a fragmentação das áreas periféricas dos setores Cantareira e Anhanguera/Bandeirantes. Apesar das obras no rio Pinheiros, os setores Santo Amaro/Interlagos e Castelo Branco/Anhanguera ainda não apresentavam uma densificação nas áreas situadas à margem esquerda deste rio. O setor Castelo Branco/Anhanguera apresentou um preenchimento de ocupação mais homogênea intensificação da rede rodo-ferroviária neste setor. Esta intensificação das vias acesso contribuiu para uma homogeneização do preenchimento das áreas centrais e intermediárias dos setores Zona Leste, Mauá, Ipiranga e Billings. A valorização da terra nas áreas centrais impulsionou a ocupação nas áreas periféricas, expandindo o aglomerado urbano com a incorporação de núcleos mais distantes como Diadema, Mauá e Guarulhos (GONÇALVES, 1994).

8.2.14. Comportamento fractal direcional em 1962

Em 1962, as maiores expansões do aglomerado urbano em relação a 1952 são observadas nos setores Zona Leste, que atingiu 53 km; Santo Amaro/Interlagos, 40 km; e Anhanguera/Bandeirantes, 35 km de extensão. Os demais setores permaneceram estáveis ou cresceram no máximo 1 km (Figura 8.24).

A forma de ocupação do aglomerado urbano sofreu alterações em relação à observada em 1952, apenas nos setores que apresentaram crescimento. Os setores Zona Leste, Santo Amaro/Interlagos e Anhanguera/Bandeirantes passaram a exibir valores de D_d com grandes diferenças entre as áreas centrais e periféricas. Assim, estes setores demonstraram uma forma de preenchimento heterogênea do espaço. Além da heterogeneidade, o setor Anhanguera/Bandeirantes continuou a apresentar oscilações entre a fragmentação e a densificação no preenchimento do espaço, que em 1952 eram apenas observadas nas áreas intermediárias e que, em 1962, se estendem às áreas periféricas. O setor Cantareira, apesar do pouco crescimento, tornou-se ainda mais fragmentado.

Os investimentos em urbanização das vias de acesso pela intensificação do transporte coletivo e da indústria automobilística, permitiu a densificação do preenchimento dos raios centrais e intermediários dos setores Zona Leste, Ipiranga, Santo Amaro/Interlagos, Castelo Branco/Anhanguera. No entanto, as áreas periféricas nestes setores, bem como dos setores Cantareira e Anhanguera/Bandeirantes, se expandem e se tornam mais fragmentadas, em relação a 1952, devido a maior irradiação das vias de acesso. Os setores Ipiranga e Billings não apresentaram aumento na extensão do aglomerado e do preenchimento de ocupação nas áreas periféricas e próximas da rodovia Anchieta, devido a topografia irregular caracterizada por vertentes com elevada inclinação (AB'SABER, 1975).

8.2.15. Comportamento fractal direcional em 1972

Em 1972, os setores Mauá, Billings e Castelo Branco/Anhanguera que não apresentaram crescimento significativo entre 1952 e 1962, já mostram uma extensão do aglomerado até o raio de 42 km, no setor Mauá; até 37 km para o setor Billings; e até 38 km para o setor Castelo Branco/Anhanguera. Os demais setores não manifestaram expansão urbana, em relação a data anterior, digna de ser analisada sob o ponto de vista fractal (Figura 8.25).

O preenchimento do aglomerado urbano teve sua forma alterada para os setores que apresentaram expansão. Nos setores Mauá, Billings e Castelo Branco/Anhanguera aumentaram as diferenças entre os valores de D_d das áreas centrais e periféricas. A diferença é maior nos setores Mauá e Billings, que também apresentam oscilações entre o preenchimento urbano fragmentado e densificado, principalmente nas áreas periféricas. Isto reflete uma ocupação bastante heterogênea na forma de preenchimento do espaço. No setor Billings, esta heterogeneidade é menor nas áreas intermediárias que apresenta valores semelhantes de D_d e baixa oscilação entre a fragmentação e densificação do aglomerado. Para o setor Mauá, entretanto, a heterogeneidade e as oscilações são observadas apenas nos raios periféricos. O setor Castelo Branco/Anhanguera apresentou uma queda acentuada nos valores de D_d apenas nas áreas limítrofes, mantendo uma ocupação homogênea e de pequenas oscilações nas áreas centrais.

Nos setores Cantareira, Ipiranga, Zona Leste e Anhanguera/Bandeirantes apresentaram densificação do preenchimento apenas nas áreas centrais e periféricas, sem alterar a extensão do aglomerado urbano.

A conclusão das obras do sistema de radiais e perimetrais possibilitou um maior preenchimento das áreas marginais aos rios Pinheiros e Tietê, como também facilitou o acesso para áreas extremas do aglomerado urbano, o que permitiu a intensificação da ocupação ao longo das radiais e expandiu a ocupação nas áreas periféricas. Estas alterações foram apresentadas pelos setores Cantareira, Santo Amaro/Interlagos, Ipiranga, Billings, Castelo Branco/Anhanguera e Anhanguera/Bandeirantes. A densificação de ocupação das áreas centrais e intermediárias dos setores Zona Leste e Mauá, não foi influenciada, tanto quanto a fragmentação da área periférica, pela expansão das vias de transporte.

8.2.16. Comportamento fractal direcional em 1996

Em 1996, a maioria dos setores atingiram o crescimento máximo do aglomerado. O setor Cantareira apresentou um pequeno crescimento de 2 km, atingindo o raio de 34 km. O setor Zona Leste apresentou um crescimento de 3 km, atingindo o raio de 55 km, que foi considerado o limite máximo de crescimento do aglomerado urbano da RMSP. O setor Mauá também atingiu um crescimento até o raio de 54 km, porém exibindo vazios urbanos nas áreas periféricas. Os setores Ipiranga e Anhanguera/Bandeirantes não expressaram crescimento do aglomerado em relação a 1972. Os setores Billings, Santo Amaro/Interlagos e Castelo Branco/Anhanguera atingiram, respectivamente, um crescimento até os raios de 44, 48 e 43 km, que foi considerado o crescimento máximo para estes três setores (Figura 8.26).

O comportamento fractal para todos os setores direcionais mostra uma diferença entre os valores de D_d das áreas centrais e periféricas. Esta redução no valor de D_d é observada em maior magnitude nos raios limítrofes. Os setores Zona leste e Castelo Branco/Anhanguera apresentam esta fragmentação das áreas limítrofes sem oscilações dos valores de D_d nas áreas centrais e intermediárias, indicando uma densificação homogênea do espaço nestas áreas. Os setores Mauá, Ipiranga e Santo Amaro/Interlagos demonstraram oscilações ao longo de todos os raios de crescimento,

sendo estas mais suaves nas áreas centrais e intermediárias e mais acentuadas nas áreas limítrofes. Isto retrata uma alternância constante entre a fragmentação e densificação do aglomerado, que demonstram grandes contrastes nas áreas limítrofes.

As oscilações entre áreas fragmentadas e densificadas são observadas com grande contraste nos setores Cantareira, Billings e Anhanguera/Bandeirantes. No setor Cantareira, a alternância entre a forma de ocupação mostrou um contraste dos valores de D_d nas áreas intermediárias e limítrofes, acentuando-se nesta última. Nas áreas centrais deste setor, os valores elevados e homogêneos de dimensão fractal revelam uma forma de ocupação densificada. O setor Billings apresentou alternância entre valores elevados e baixos de D_d nas áreas centrais e limítrofes, atenuando o contraste nas áreas intermediárias. A oscilação entre áreas fragmentadas e densificadas ocorre ao longo de todos os raios de crescimento, tornando a forma de preenchimento bastante heterogênea. O setor Anhanguera/Bandeirantes apresenta oscilações entre áreas fragmentadas e densificadas com pequena diferença nas áreas centrais entre o maior e o menor valor de D_d . Esta diferença acentuou-se nas áreas intermediárias e limítrofes, apresentando baixos valores no raio do limite urbano, que retrata um menor preenchimento do espaço nas áreas expandidas.

A intensificação da ocupação do espaço iniciada na década de 70 com os programas de habitacionais, como a autoconstrução e com os loteamentos populares, conduziu à expansão do aglomerado urbano ao limite máximo observado atualmente. Também contribuíram para a expansão, intensificação e a expansão das principais vias de transporte. O preenchimento das áreas centrais é percebido em todos os setores direcionais e o preenchimento das áreas intermediárias é percebido principalmente nos setores Zona Leste, Mauá, Ipiranga, Santo Amaro/Interlagos e Castelo Branco/Anhanguera. Os setores Cantareira, Billings e Anhanguera/Bandeirantes apresentam fragmentação que se iniciam nas áreas intermediárias e aumentam nas áreas periféricas, devido a expansão apresentada nas áreas situadas além a Serra da Cantareira, ao longo dos sistemas de rodovias Imigrantes/Anchieta e Anhanguera/Bandeirantes.

8.2.17. Comportamento fractal direcional em 2001

Em 2001, o setor Anhanguera/Bandeirantes apresentou expansão do aglomerado urbano, atingindo o raio de 44 km, considerado o crescimento máximo para este setor. O setor Ipiranga evidenciou um crescimento de 1 km e os demais setores não alteraram sua extensão em relação a data anterior (Figura 8.27).

O setor Cantareira mostrou uma grande redução na oscilação dos valores de D_d ao longo dos raios, mas a diferença entre os valores centrais e periféricos de D_d continuam em menor magnitude. Isto demonstra um preenchimento do aglomerado heterogêneo entre as áreas centrais e periféricas, no entanto, os valores de D_d declinam a partir dos raios periféricos, o que demonstra uma ocupação homogênea do espaço nas áreas intermediárias. O setor Zona Leste reduziu bastante as diferenças de D_d entre as áreas centrais e periférica, tornando o preenchimento do espaço homogeneamente densificado ao longo dos raios de distância. O setor Anhanguera/Bandeirantes também manifestou diferenças em relação a data anterior, reduzindo as oscilações entre áreas fragmentadas e densificadas nos raios intermediários e limítrofes. No entanto, a diferença entre os valores D_d entre as áreas centrais e periféricas aumentou, mostrando-se acentuada apenas nos raios limítrofes. Os demais setores não apresentaram diferenças em relação nos valores de D_d em relação a data anterior. A diferença observada nos valores de D_d nas áreas periféricas do setor Mauá ocorreu pela variação do uso do solo, devido principalmente aos programas de reurbanização.

A saturação urbana ocorrida na década anterior influenciou as políticas de estímulo ao deslocamento das indústrias pesadas para áreas do interior paulista e para outros estados, ao mesmo tempo que promoveu a descentralização do núcleo central urbano e surgimento de subcentros auto-suficientes, o que promoveu a densificação das áreas periféricas diminuindo as diferenças de ocupação entre as regiões centrais e periféricas. As áreas intermediárias também são beneficiadas e passam apresentar um padrão de ocupação semelhante ao das áreas centrais. Esta forma de ocupação é observada principalmente nos setores Zona Leste, Ipiranga, Santo Amaro/Interlagos. Os setores Cantareira, Mauá, Billings e Anhanguera/Bandeirantes apresentam núcleos de ocupação afastados da área central do aglomerado, como: Francisco Morato, Ribeirão Pires, Riacho Grande, Parelheiros e Cajamar.

8.3. Comportamento Fractal Direcional no Período 1905-2001

A Tabela 8.13 apresenta os valores médios da dimensão fractal, utilizando a associação dos métodos de contagem de células e de círculos concêntricos, obtidos pela relação de densidade de ocupação para o período de 1905 a 2001 ($Dd_{1905-2001}$) e o coeficiente de variação desta dimensão neste mesmo período (*Coef. Variação*₁₉₀₅₋₂₀₀₁ (%)), em todos os setores direcionais de crescimento propostos para a análise e para o aglomerado da região metropolitana de São Paulo.

Tabela 8.13: Valores médios de dimensão fractal e de coeficiente de variação desta dimensão no período 1905-2001, para o aglomerado da RMSP e para os setores direcionais de crescimento.

Setor	$Dd_{1905-2001}$	<i>Coef. Variação</i>₁₉₀₅₋₂₀₀₁ (%)
Cantareira (I)	1,8296	8,4027
Zona Leste (II)	1,8980	4,7439
Mauá (III)	1,8482	9,2646
Ipiranga (IV)	1,8519	9,8782
Billings (V)	1,8588	7,7889
Santo Amaro/Interlagos (VI)	1,8487	7,0162
Castelo Branco/Anhanguera (VII)	1,8997	5,2400
Anhanguera/Bandeirantes (VIII)	1,8627	5,4820
RMSP	1,8635	7,4124

O dendograma de agrupamento dos setores quanto às suas características fractais de crescimento está representado na Figura 8.28.

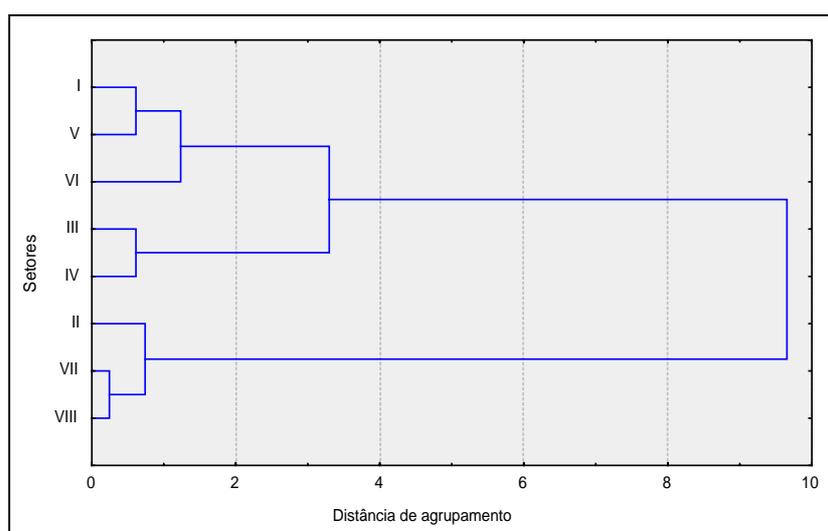


Figura 8.28: Dendrograma de classificação por agrupamento de acordo com as características fractais dos setores direcionais de crescimento.

Na classificação efetuada pelas características fractais de crescimento (Tabela 8.13 e Figuras 8.28 e 8.30), os valores do coeficiente de variação parecem exercer uma influência mais forte que os valores de densidade de ocupação na discriminação dos conjuntos. Observa-se pelo dendograma (Figura 8.28) a formação estatística de três conjuntos, cujos coeficientes de variação dos setores estão distribuídos em torno (setores Cantareira (I), Billings (V) e Santo Amaro/Interlagos (VI)), acima (setores Mauá (III) e Ipiranga (IV)) e abaixo (setores Zona Leste (II), Castelo Branco/Anhanguera (VII) e Anhanguera/Bandeirantes (VIII)) do coeficiente de variação de todo o aglomerado.

Os setores Cantareira, Billings e Santo Amaro/Interlagos situam-se, respectivamente, nas regiões norte, sul e sudoeste do aglomerado metropolitano, cuja variação entre densificação e fragmentação da ocupação durante o processo de crescimento não difere significativamente da variação média apresentada pelo aglomerado no período 1905-2001. Em comum, esses setores evidenciam restrições ao crescimento em suas periferias, seja devido ao relevo ou a existência de áreas de proteção ambiental, mas que não foram suficientes para conter a expansão de porções destes setores situados em áreas periféricas, principalmente aqueles próximos aos eixos rodoviários e/ou ferroviários, fazendo com que estes setores tenham valores elevados de preenchimento do espaço nas áreas centrais e fragmentação nas áreas periféricas, em todo o período analisado.

Os setores Mauá e Ipiranga situam-se a sudeste da região metropolitana, demonstram ampla variação entre densificação e fragmentação da ocupação durante o processo de crescimento, quando comparados à variação média apresentada pelo aglomerado no período 1905-2001. Estes setores evidenciam uma forma de preenchimento do espaço que oscila ao longo do tempo entre alta densificação e fragmentação, desde as áreas centrais, até as periféricas. Esta característica é observada quando o crescimento urbano apresenta fortes atrativos socioeconômicos (emprego, habitação e transporte) concentrados nas áreas centrais e intermediárias e restrições físicas e ambientais nas áreas periféricas do aglomerado.

Os setores Zona Leste, Castelo Branco/Anhanguera e Anhanguera/Bandeirantes situam-se, respectivamente, nas regiões leste, oeste e noroeste do aglomerado metropolitano e apresentaram variação na forma de ocupação

abaixo da variação média apresentada pelo aglomerado no período 1905-2001. Isto caracteriza uma maior uniformidade no processo de ocupação, seja o preenchimento densificado ou fragmentado. A expansão urbana com reduzida variação do preenchimento, desde as áreas centrais às áreas periféricas, foi favorecido pelas pequenas ou inexistentes restrições físicas (topografia e hidrografia) e ambientais (áreas de proteção de mananciais, parques e reservas); bem como, de políticas de implantação de infra-estrutura (saneamento básico, transporte e habitação) e geração de empregos pela instalação de indústrias atraídas por importantes eixos viários (rodovia Presidente Dutra, a leste; rodovia Castelo Branco, a oeste; e o sistema Anhanguera/Bandeirantes, a noroeste).

O diagrama da relação entre o grau de preenchimento espacial e de sua variação ao longo do tempo é apresentado na Figura 8.29.

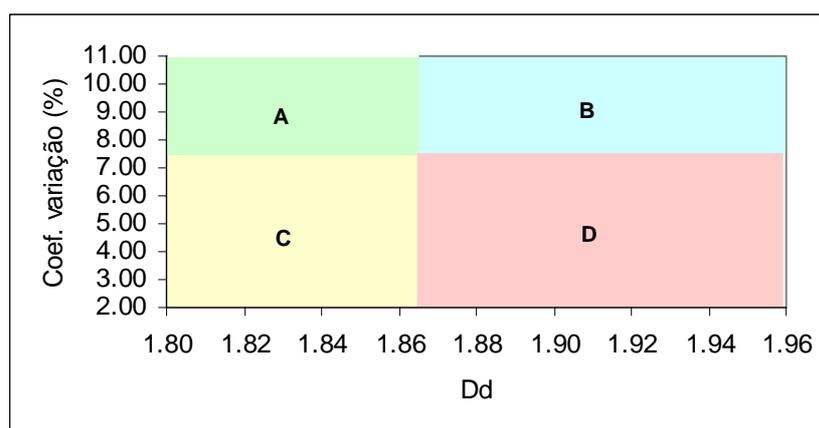


Figura 8.29: Diagrama de classificação por área em torno dos valores médios de $D_d_{1905-2001}$ e do *Coef. Variação*₁₉₀₅₋₂₀₀₁ do aglomerado urbano da RMSP.

Os quadrantes destacados na Figura 8.29, representam a variabilidade da forma de preenchimento durante a expansão, tendo por parâmetro de comparação o ponto médio de D_d e do *coeficiente de variação* de todo o aglomerado. O quadrante **A** particulariza uma área urbana com ampla variabilidade do preenchimento, enfatizando uma forma fragmentada do espaço. O quadrante **B** caracteriza uma área urbana, cuja a ampla variabilidade do preenchimento não interfere na forma de densificação do espaço. O quadrante **C** particulariza uma área urbana uniformemente fragmentada na

forma de preenchimento do espaço. O quadrante *D* caracteriza uma área urbana uniformemente densificada na forma de preenchimento do espaço.

Estes quadrantes identificam as características de preenchimento do espaço urbano ao longo do processo de expansão temporal de cada setor no plano que relaciona a média dos valores de dimensão fractal (um indicativo da forma de ocupação mais ou menos fragmentada) ao seu respectivo coeficiente de variação (um indicativo da alternância ou uniformidade da forma de ocupação). Possibilita a comparação, quando pontos relativos a cada setor urbano é posicionado no plano pela relação da média dos valores de dimensão fractal e coeficiente de variação estimados para todo o aglomerado metropolitano.

A Figura 8.30 permite observar a distribuição dos pontos de média e coeficiente de variação de cada setor em torno do ponto de média e coeficiente de variação para todo o aglomerado urbano da metrópole.

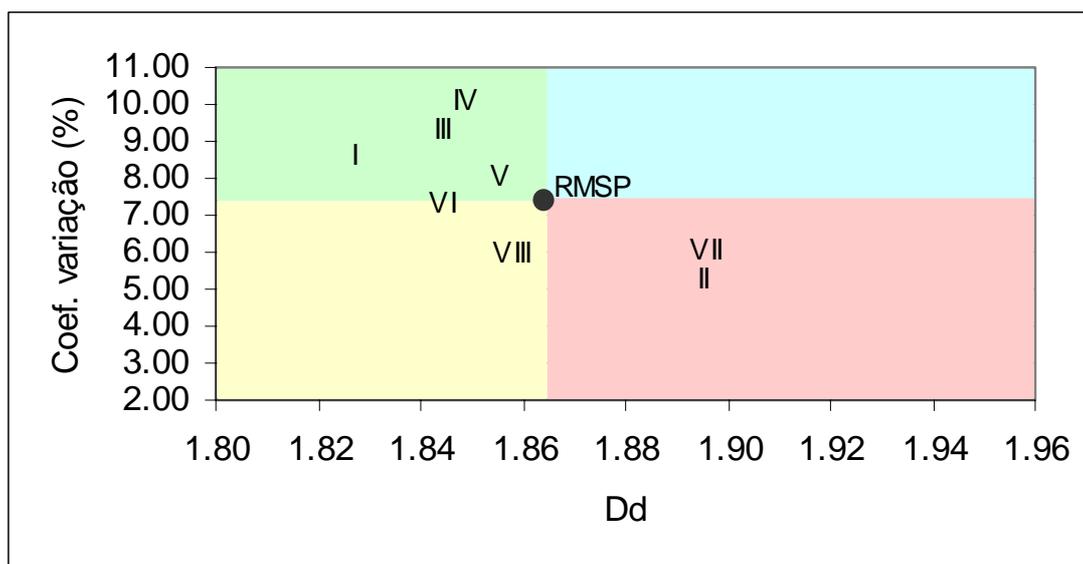


Figura 8.30: Diagrama com a distribuição dos pontos relativos aos setores direcionais de crescimento, e os valores de média e de coeficiente de variação para todo o aglomerado urbano da região metropolitana (RMSP).

A interpretação da distribuição dos pontos no diagrama (Figura 8.30), permite um ajuste no agrupamento dos setores direcionais de crescimento, em relação a proposta elaborada a partir do dendograma (Figura 8.28), melhorando a regionalização dos setores por enfatizar suas características de densificação. Assim,

analisados pela distribuição em torno dos valores médios de dimensão fractal e de coeficiente de variação para o aglomerado metropolitano, os setores passam a ser discriminados pela variação dos valores médios de D_d , que indicam o preenchimento do espaço e favorecem uma interpretação mais coerente da realidade da ocupação do espaço urbano ao longo do período analisado, à medida em que, permite visualizar em que faixa de dimensão fractal ocorre variação ou uniformidade do processo de ocupação.

A Figura 8.30 mostra a agregação dos setores em cinco grupos, isolando os setores Cantareira (I) e Anhanguera/Bandeirantes (VIII) dos respectivos agrupamentos propostos pela Figura 8.28, mas mantendo agrupado os setores Zona Leste (II) e Castelo Branco/Anhanguera (VII), Mauá (III) e Ipiranga (IV), e também Billings (V) e Santo Amaro/Interlagos (VI).

Esta figura permite identificar características fractais distintas para os setores Cantareira, Billings e Santo Amaro/Interlagos, agrupados pela proposta anterior. Esta distinção separa o setor Cantareira dos demais setores pela média inferior de dimensão fractal que este apresenta. O valor mostrado de D_d para o setor Cantareira é o mais baixo em relação aos demais setores, que caracteriza o crescimento deste setor ao longo do período analisado, evidenciando maior tendência ao preenchimento dos espaços, de forma fragmentada; porém, com oscilação entre a densificação e a fragmentação da ocupação. Essa característica fractal revela as restrições impostas pelo relevo e pelas áreas de proteção de mananciais como fatores de grande influência na forma fragmentada de ocupação do espaço urbano no processo de crescimento.

Ao comparar os setores quanto às suas respectivas $Dd_{1905-2001}$ e os desvios destas em relação a média dos valores estimados para o aglomerado, um grupo pode ser formado pelos setores Mauá, Ipiranga, Billings, Santo Amaro/Interlagos e Anhanguera/Bandeirantes, que apresentam em comum restrições a ocupação uniforme nas áreas periféricas pelas leis ambientais (protegendo áreas de mananciais e criando parques, reservas e reservatórios de abastecimento de água), apesar da facilidade de acesso às áreas periféricas, sejam por eixos rodoviários e ferroviários, ou pela rede de transporte coletivo. Contudo, a capacidade diferenciada de promoverem a ocupação

das áreas periféricas e também das áreas centrais, gerou variações entre os setores quanto a forma de preenchimento do espaço.

Verifica-se, analisando estas variações na Tabela 8.13 e Figura 8.30 que, estes setores, compõem três grupos distintos. O primeiro grupo é formado pelos setores Mauá e Ipiranga, que evidenciam grande diferença nos valores de dimensão fractal para a ocupação das áreas centrais e intermediárias em relação às periféricas, gerando um coeficiente de variação mais elevado e refletindo a característica de forte atração para o preenchimento do espaço urbano central em detrimento do periférico, ao longo do processo de crescimento, no período analisado.

O segundo grupo, constituído pelos setores Billings e Santo Amaro/Interlagos apresenta, em comparação com os demais setores, valores médios de dimensão fractal para a ocupação das áreas centrais e intermediárias, em relação aos valores estimados nas áreas periféricas. Isto reflete um preenchimento dos espaços de forma menos diferenciada ao longo do processo de crescimento urbano, seja pela capacidade de se expandir aproveitando os eixos rodo-ferroviários ou pela menor abrangência das áreas de proteção ambiental.

O setor Anhanguera/Bandeirantes compõe o terceiro grupo, o que mostrou juntamente com o setor Zona Leste e Castelo Branco/Anhanguera, a menor variação na forma de ocupação do espaço urbano em relação aos demais setores. Este preenchimento mais uniforme das áreas centrais e periféricas é uma característica atribuída ao setor pela capacidade de aproveitar a intensa rede viária na promoção de uma ocupação menos fragmentada ao longo do tempo.

Nos setores Zona Leste e Castelo Branco/Anhanguera, os valores de dimensão fractal indicam uma forma de preenchimento com o mais elevado valor de densificação de ocupação do espaço, em relação aos demais setores e à média do aglomerado metropolitano. Esta elevada densificação observada ao longo do processo de crescimento, é acompanhada dos menores valores do coeficiente de variação, indicando que, com o processo de crescimento urbano, as áreas centrais e periféricas foram ocupadas de maneira mais uniforme. Dentre os fatores influentes na tendência de ocupação menos fragmentada do espaço, destacam-se os incentivos públicos à habitação (conjuntos habitacionais, autoconstrução e saneamento básico), ao desenvolvimento da rede de transporte (rodovias, ferrovias, transporte urbano coletivo

ferroviário e rodoviário), à instalação de indústrias, bem como, à ausência de restrições ambientais.

O Quadro 8.1, destaca as principais características de crescimento e os fatores determinantes do processo de expansão de cada setor no período analisado, fornecendo uma síntese dos resultados obtidos e da discussão realizada para estudo da evolução espacial pela dimensão fractal do aglomerado da região metropolitana de São Paulo.

Quadro 8.1: Síntese da dinâmica da ocupação e fragmentação de cada setor direcional de crescimento urbano da RMSP e sua relação com a dimensão fractal no período 1905-2001.

Setores	Características da evolução da dimensão fractal
Cantareira (I)	Fragmentação das áreas periféricas, com ampla diferença entre os valores de D_d em relação as áreas centrais. Ocorreram variações do preenchimento até 2001, quando esta variação diminui e evidencia o maior preenchimento de ocupação de áreas periféricas. O setor situa-se em áreas com grande restrições topográficas e ambientais e no início do período analisado havia a dificuldade de transposição do rio Tietê. Foram estimados valores de $Dd_{1905-2001}=1,8296$ e de $Coef. Variação_{1905-2001}=8,4\%$.
Zona Leste (II)	Setor que apresentou maior expansão em extensão e maior densificação de áreas intermediárias. Apesar da fragmentação das áreas periféricas, demonstrou uma forma homogênea de preenchimento do espaço. Nas áreas centrais, houve desde do início do período analisado uma ocupação industrial que, posteriormente, se expandiu ao longo das vias rodo-ferroviárias. Este setor recebeu grande incentivo público e não apresentou restrições físicas e ambientais. Foram estimados valores de $Dd_{1905-2001}=1,8980$ e de $Coef. Variação_{1905-2001}=4,7\%$.
Mauá (III)	Observou-se grandes oscilações de D_d entre as áreas centrais e periféricas, que evidenciam heterogeneidade na ocupação do espaço. Nas áreas centrais e intermediárias ocorreu concentração industrialização e nas áreas periféricas apresenta restrições ambientais e irregularidade da topografia que restringem a expansão do aglomerado. Foram estimados valores de $Dd_{1905-2001}=1,8482$ e de $Coef. Variação_{1905-2001}=9,2\%$.
Ipiranga (IV)	Verificou-se oscilações de D_d entre as áreas centrais e periféricas, promovendo a heterogeneidade no preenchimento do espaço. Houve concentração de indústrias na área central e na região do ABC (área intermediária). As áreas de proteção de mananciais e da represa Billings restringiram a expansão do aglomerado, incentivando a densificação das áreas periféricas e tornando-as menos fragmentadas em relação as datas anteriores. Foram estimados valores e de $Dd_{1905-2001}=1,8519$ e de $Coef. Variação_{1905-2001}=9,8\%$.
Billings (V)	As oscilações de D_d entre as áreas centrais e periféricas ocorreram no início do período analisado e foram atenuadas a partir de 1952 com a intensificação do processo de industrialização ao longo dos eixos viários, incentivando a ocupação e a acessibilidade às áreas intermediárias. Foram estimados valores de $Dd_{1905-2001}=1,8588$ e de $Coef. Variação_{1905-2001}=7,7\%$.
Santo Amaro/ Interlagos (VI)	Intensa fragmentação das áreas intermediárias foi observada nas décadas de 30 e 40. O preenchimento das áreas centrais intermediárias ocorreu a partir da década de 50 com a intensificação da industrialização, mas as áreas periféricas continuaram sem estímulo a densificação. No final do período, os raios periféricos apresentaram uma densificação da ocupação maior que nas datas anteriores. Foram estimados valores de $Dd_{1905-2001}=1,8487$ e de $Coef. Variação_{1905-2001}=7,0\%$.
Castelo Branco/ Anhanguera (VII)	No início do período analisado a densificação limitou-se nas áreas centrais pela restrição da confluência dos rios Tietê e Pinheiros. Entre 1930 e 1962 evidenciou-se um crescimento espacial associado a forma densificada de preenchimento, com exceção dos raios limitrofes. A partir da década de 70, ocorreu a ocupação das áreas periféricas, mas de forma fragmentada. Os incentivos públicos e a concentração industrial, principalmente ao longo do eixos viários e a ausência de restrições ambientais possibilitaram uma maior densificação apenas das áreas centrais e intermediárias. Foram estimados valores de $Dd_{1905-2001}=1,8997$ e de $Coef. Variação_{1905-2001}=5,2\%$.
Anhanguera/ Bandeirantes (VIII)	As oscilações de D_d entre as áreas centrais e periféricas ocorreram durante todo o período analisado, apresentando diferença entre áreas centrais e periféricas e retratando uma ocupação heterogênea. A transposição do rio Tietê aumentou a concentração de áreas industriais e estimulou a expansão nos raios periféricos. A partir de 1952 as oscilações permanecem, mas o setor se expande ao longo dos eixos viários formando núcleos urbanos distribuídos nas áreas periféricas. Estes núcleos se densificam, mas as áreas periféricas continuam fragmentadas, devido ao crescimento urbano ocorrido em 2001. Foram estimados valores de $Dd_{1905-2001}=1,8635$ e de $Coef. Variação_{1905-2001}=7,4\%$.

CAPÍTULO IX

CONCLUSÃO

A geometria fractal, um modelo de descrição da realidade espacial, sob o ponto de vista geométrico, e uma alternativa muito interessante, dada as limitações da geometria euclidiana em representar fenômenos geográficos complexos como o fato urbano, por exemplo, para a interpretação da constituição e organização da estrutura nos sistemas espaciais.

A representação do espaço pela geometria fractal possibilita estudar, nas áreas urbanas, questões relacionadas ao preenchimento dos espaços vazios, às dimensões espaciais dos limites urbanos, à dinâmica interna do aglomerado e, assim, quantificar em termos cartográficos, o crescimento das cidades. Esta análise contribuiu para a formulação de teorias urbanas mais apropriadas à realidade, sob a luz da cartografia e da análise espacial dos fatores econômicos, político-sociais e de planejamento urbano.

A análise fractal do espaço urbano, bem como de outros sistemas geográficos complexos, fornece subsídios para uma interpretação das questões espaciais urbanas, de forma simplista. Há argumentos de que a geometria fractal é capaz de fornecer uma visão diferenciada de todos os objetos, que alteraria a percepção das certezas estabelecidas, ou a forma de análise, fornecendo associações mais conclusivas entre a forma física, a ação humana e os processos históricos pertinentes ao desenvolvimento das cidades.

A morfologia urbana, analisada pelo uso da terra, forma e densidade de ocupação, pôde ser constatada pelo contorno, estrutura e padrão de organização urbano. A dimensão fractal fornece informações sobre estas propriedades da morfologia urbana e suas variações em datas isoladas ou em períodos de tempo, apresentando as irregularidades ou os contrastes internos da área urbana em sua expansão espacial. As direções e as proporções desta expansão podem ser, com maior

ou menor validade, a constatação descritas por outros métodos de representação e quantificação.

Os resultados obtidos para região metropolitana de São Paulo, no período 1905-2001, mostraram valores de dimensão fractal que permitiram observar as variações da densidade de ocupação, a área e o contorno do aglomerado urbano. O valor de dimensão fractal fornecido pela relação de densidade de ocupação por área construída, confirma a tendência de maior preenchimento do espaço nas áreas centrais do aglomerado urbano e a diluição desta ocupação nas áreas periféricas do aglomerado. A caracterização da expansão urbana é manifestada por um padrão de ocupação orientado pelo processo de densificação de áreas periféricas como fator determinante do crescimento do aglomerado para áreas ainda mais distantes.

A dimensão fractal estimada pela relação perímetro-área fornece parâmetros que caracterizam o processo de expansão pela sinuosidade do perímetro urbano, a medida em que as áreas tendem a ser ocupadas de modo mais ou menos homogêneo. Os valores de dimensão fractal obtidos por esta relação mostram que a região metropolitana de São Paulo, durante o período analisado, apresentou alternância na homogeneidade da distribuição espacial, sendo mais frequentes os valores de D_{PA} que indicam a fragmentação da área. Esta relação também manifesta o padrão de expansão do aglomerado, verificando que a melhor distribuição da ocupação espacial é um fator prévio e determinante da ocupação de novas áreas, as quais apresentarão áreas fragmentadas e contornos sinuosos ao se expandirem, mas tornarão a reduzir a sinuosidade do contorno para repetir o processo.

A distribuição das estruturas urbanas na região metropolitana de São Paulo, analisada pela relação perímetro-resolução, demonstrou grande efeito da resolução sobre a rugosidade do perímetro urbano, indicando pouca organização na distribuição espacial das estruturas no aglomerado urbano.

A aplicação da dimensão fractal na análise do processo de expansão do aglomerado urbano de São Paulo, apresentou-se adequada para a identificação do comportamento espacial do aglomerado pela quantificação dos fatores espaciais representativos deste processo, como área, tamanho e forma urbana.

A setorização do aglomerado foi importante para evidenciar características de dimensão fractal diferenciadas para regiões do aglomerado urbano

no processo de expansão. O aglomerado urbano foi dividido em oito setores direcionais de crescimento, de acordo a semelhança da amplitude de frequência de área construída, criando os setores Cantareira (norte), Zona Leste (leste), Mauá (sudeste), Ipiranga (sudeste), Billings (sul), Santo Amaro/Interlagos (sudoeste), Castelo Branco/Anhanguera (oeste) e Anhanguera/Bandeirantes (noroeste).

O setor Cantareira expandiu até raio de 34 km, durante o período analisado e exibiu fragmentação das áreas periféricas com ampla diferença entre os valores de D_d em relação as áreas centrais. As áreas centrais passaram a evidenciar elevada densificação e uniformidade da ocupação apenas a partir de 1952. As áreas intermediárias e periféricas apresentaram oscilações e fragmentação da ocupação até 1996. Em 2001, as áreas intermediárias passam a mostrar densificação e uniformidade da ocupação semelhante das áreas centrais, mas as áreas periféricas continuaram apresentando uma ocupação fragmentada. As restrições impostas a este setor foram a dificuldade de transposição do rio Tietê, no início do período analisado, e as áreas com grande restrições topográficas e ambientais, principalmente após a década de 70.

No setor Zona Leste ocorreu a maior expansão em extensão (atingindo o raio de 55 km) e uma das maiores densificações de áreas intermediárias e periféricas ($D_d=1,820$ no raio de 50 km). A fragmentação das áreas periféricas foi observada apenas nas datas de 1905, 1962, 1972 e 1996, que foram as datas em que o setor apresentou expansão do aglomerado. Isto demonstra uma forma homogênea de preenchimento do espaço nas datas restante do período analisado. Nas áreas centrais, houve desde do início do período analisado uma ocupação industrial que, posteriormente, se expandiu ao longo das vias rodo-ferroviárias. Este setor recebeu grande incentivo público e não apresentou restrições físicas e ambientais. Todos estes fatores influenciaram uma forma de ocupação com pequenas oscilações nas áreas centrais e intermediárias e oscilações médias nas áreas periféricas.

Observou-se no setor Mauá, grandes oscilações de D_d entre as áreas centrais e periféricas, que evidenciam heterogeneidade na ocupação do espaço durante todo o período analisado, cuja expansão atingiu o raio de 54 km. Nas áreas centrais e intermediárias deste setor houve a concentração industrial, desde a década de 1930, e nas áreas periféricas ocorreram restrições ao crescimento pela implantação de leis de proteção ambiental a partir da década de 70. A irregularidade da topografia foi um

fator determinante das oscilações na forma de preenchimento das áreas centrais, intermediárias e periféricas deste setor.

O setor Billings expandiu até o raio de 32 km, exibindo amplas oscilações de D_d entre as áreas centrais, intermediárias e periféricas prevalecendo a forma fragmentada e não uniforme do preenchimento do espaço até 1940. A partir de 1952 as áreas centrais e intermediárias passaram a apresentar uniformidade nos valores de D_d , enquanto nas áreas periféricas expandidas, o preenchimento foi ainda mais fragmentado. A concentração industrial nas áreas centrais e na região do ABC (áreas intermediárias) viabilizou, desde a década de 50, o preenchimento mais uniforme destas áreas. As áreas de proteção de mananciais e da represa Billings restringiram a expansão do aglomerado, mas incentivaram a densificação das áreas periféricas anteriormente fragmentadas.

As oscilações de D_d entre as áreas centrais e periféricas do setor Santo Amaro /Interlagos, ocorreram no início do período analisado, conduzindo a uma intensa fragmentação das áreas intermediárias nas décadas de 30 e 40, que foram atenuadas a partir de 1952 com a intensificação do processo de industrialização ao longo dos eixos viários. Isto incentivou a ocupação e a acessibilidade às áreas intermediárias, mas as áreas periféricas continuaram sem estímulo a densificação. No final do período, este setor atingiu o raio de 48 km, exibindo uma maior densificação da ocupação das áreas periféricas em relação as datas anteriores.

No início do período analisado, o setor Castelo Branco/Anhanguera apresentou densificação limitada nas áreas centrais, devido a restrição da confluência dos rios Tietê e Pinheiros. Entre 1930 e 1962, evidenciou-se um crescimento espacial associado à forma densificada e uniforme de preenchimento, com exceção dos raios limítrofes. A partir da década de 70, ocorreu a ocupação das áreas periféricas, mas de forma fragmentada. Os incentivos públicos e a concentração industrial, principalmente ao longo do eixos viários e, a ausência de restrições ambientais, possibilitaram uma maior densificação apenas das áreas centrais e intermediárias, fazendo com que o setor atingisse o raio 43 km em 2001.

O setor Anhanguera/Bandeirantes evidenciou oscilações de D_d entre as áreas centrais e periféricas durante todo o período analisado, apresentando diferença entre áreas centrais e periféricas que retrata uma forma de ocupação heterogênea. A

transposição do rio Tietê aumentou a concentração de áreas industriais e estimulou a expansão nos raios periféricos, porém aumentou a oscilação na forma de ocupação no raios intermediários e periféricos. A partir de 1952, as oscilações permanecem, mas o setor se expande ao longo dos eixos viários formando núcleos urbanos distribuídos nas áreas periféricas. Estes núcleos se densificam, até a década de 90, tornando as áreas periféricas mais preenchidas que as áreas intermediárias. Com o crescimento urbano ocorrido em 2001, que atingiu o raio de 44 km, as áreas periféricas voltaram apresentar uma forma fragmentada de preenchimento do espaço.

A análise das características de dimensão fractal destes setores permitiu agrupá-los de acordo com a semelhanças nas tendências de preenchimento do espaço. Foram determinados três grupos quando analisados pelo coeficiente de variação da dimensão fractal e pela dimensão fractal média.

As regiões leste, oeste e noroeste, onde situam-se os setores Zona Leste (II), Castelo Branco/Anhanguera (VII) e Anhanguera/Bandeirantes (VIII), apresentaram baixo coeficiente de variação, indicando um processo de crescimento associado à uma forma de ocupação uniforme das áreas centrais e periféricas contidas nestes setores. As regiões norte, sul e sudoeste, onde localizam-se os setores Cantareira (I), Billings (V) e Santo Amaro/Interlagos (VI), evidenciaram valores de coeficiente de variação médios em relação aos demais setores, indicando um processo de crescimento associado à oscilações entre densificação e fragmentação na forma de ocupação das áreas centrais e periféricas contidas nestes setores. A região sudeste, onde situam-se os setores Mauá (III) e Ipiranga (IV), demonstraram alto coeficiente de variação, retratando um processo de crescimento associado à ampla oscilação entre a forma densificada e fragmentada de ocupação das áreas centrais e periféricas contidas nestes setores.

Para identificar se a uniformidade da variação de dimensão fractal representa áreas com ocupação densificada ou fragmentada, os setores foram reclassificados em grupos com médias semelhantes de dimensão fractal e, assim, enfatizando a interpretação pela forma de preenchimento do espaço, o que permitiu uma discriminação da realidade mais coerente do processo de ocupação urbana no período analisado. Nesta proposta foram formação cinco grupos.

O setor Cantareira (I) foi isolado por apresentar menor valor médio de dimensão fractal, demonstrando que as oscilações no processo de crescimento ficaram restritas a uma forma de preenchimento mais fragmentada.

Os setores Mauá (III), Ipiranga (IV), Billings (V), Santo Amaro/Interlagos (VI) formam um conjunto se comparados à média de dimensão fractal apresentada no preenchimento do espaço urbano durante o processo de crescimento. No entanto, a diferença entre estes setores quanto ao coeficiente de variação da dimensão fractal e os valores de média de D_d , possibilitou dividi-los em três grupos. O grupo formado pelos setores Mauá (III) e Ipiranga (IV) associou valores médios de D_d a valores considerados altos de coeficiente de variação desta dimensão fractal, o que caracterizou um processo de ocupação com ampla oscilação entre a forma desificada e fragmentada de preenchimento do espaço. Os setores Billings (V) e Santo Amaro/Interlagos (VI) formaram outro grupo, por associarem valores médios de D_d com valores médios de coeficiente de variação desta dimensão, caracterizando um processo de ocupação com oscilações atenuadas entre a densificação e a fragmentação, que implica em uma forma de preenchimento do espaço tendendo a uma densificação uniforme.

O setor Anhanguera/Bandeirantes (VIII) ficou isolado por associar valores médios de D_d a valores baixos de coeficiente de variação desta dimensão, assim, caracterizando um processo e ocupação com uma forma uniformemente densificada do preenchimento do espaço.

No grupo formado pelos setores Zona Leste (II) e Castelo Branco/Anhanguera (VII), o valor médio de D_d foi o mais alto entre os setores analisados e associou também o menor valor de coeficiente de variação da dimensão, caracterizando um processo de ocupação com baixa oscilação no preenchimento do espaço, o que representou a forma de crescimento mais uniforme e com maior densificação dentre os setores do aglomerado da RMSP analisados no período 1905-2001.

Os fatores que influenciaram o comportamento fractal e sua variação no processo de ocupação ao longo do período analisado foram a topografia, a hidrografia, as restrições ambientais, os investimentos públicos em infra-estrutura urbana, a concentração industrial e comercial. A topografia e as variações de relevo - como as

áreas com altas altitudes e acentuada declividade e as áreas de várzea - constituíram-se em restrições a ocupação estimulando o preenchimento fragmentado, principalmente nos setores Cantareira (I), Mauá (III), Ipiranga (IV), Santo Amaro/Interlagos (VI) Anhanguera/Bandeirantes (VIII). As restrições ambientais (áreas de proteção de mananciais e ambiental, parques estaduais, parque ecológico, áreas de tombamento e reservas florestais) também foram fatores que contribuíram na fragmentação da ocupação do espaço, porém limitaram a ocupação em áreas intermediárias e periféricas dos setores Cantareira (I), Mauá (III), Ipiranga (IV), Billings (V), Santo Amaro/Interlagos (VI) e Anhanguera/Bandeirantes (VIII).

Os incentivos públicos a infra-estrutura, como saneamento básico, programas de habitação, vias de transporte e transporte coletivo foram fatores viabilizaram uma forma de preenchimento densificada do espaço. A atração que estes fatores exerceram na instalação e concentração de áreas industriais e comerciais também influenciou a forma densificada de preenchimento do espaço. As regiões leste e oeste (setores Zona Leste (II) e Castelo Branco/Anhanguera (VII)) foram as que mais se beneficiaram com da influência deste conjunto de fatores. Os setores Mauá (III), Ipiranga (IV), Billings (V), Santo Amaro/Interlagos (VI) e Anhanguera/Bandeirantes (VIII) apresentaram a densificação da ocupação de áreas centrais, intermediárias ou periféricas pela influência da industrialização.

A perspectiva de crescimento da ocupação do aglomerado é fundamentada na acessibilidade, na densidade de ocupação e na ausência de restrições físicas e ambientais que favorecem a expansão dos setores Zona Leste (II) e Castelo Branco/Anhanguera (VII). Os setores Cantareira (I), Mauá (III), Ipiranga (IV), Billings (V) e Anhanguera/Bandeirantes (VIII) possuem áreas urbanas expandidas ao limite das áreas de restrições físicas e ambientais, impedindo a expansão destes setores, mas favorecendo a densificação do preenchimento do aglomerado.

O estudo da evolução do aglomerado urbano pela análise fractal permitiu identificar aspectos do crescimento relacionados à forma e contorno urbano, aos tipos e as formas de ocupação, bem como as características distribuição e dinamismo espacial. Associação de valores de dimensão fractal com dados socioeconômicos, históricos, físicos e legislações vigentes contribuíram para determinar a influência dos fatores físicos e antrópicos sobre a estruturação e crescimento do aglomerado urbano.

Em análises multitemporais, os dados cartográficos e as imagens orbitais podem se constituir em fonte de limitação na aquisição da informação, devido as diferenças na interpretação de dados de uso e ocupação do solo e dados topográficos, assim como as diferenças de dados orbitais produzidas pelo avanço da tecnologia de aquisição, interferindo na resolução da imagem e interpretação dos objetos da superfície terrestre. Para futuras pesquisas, a base de dados deve apresentar maior resolução espacial, melhorando a interpretação dos objetos urbanos e avaliando a sensibilidade da estimativa da dimensão fractal.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo. *Geografia*, São Paulo. n. 12, p. 144-162, 1957.

ALMEIDA, C. M.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G.; SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L.; BATTY, M. Empiricism and Stochastics in cellular automaton modeling of urban land use dynamics. *Center for Advanced Spatial Analysis. Working Paper Series*, 2002. 38 p.

ALMEIDA, F. F. M. O planalto paulistano. In: AZEVEDO, A. A cidade de São Paulo: estudos de Geografia Urbana. v.1. São Paulo: Nacional, 1958. p. 113-167.

ANSELIN, L.; HUDAK, S.; DODSON, R. *Spatial data analysis and GIS: interfacing GIS and econometric software*. Santa Barbara: NCGIA- Universidade da Califórnia, 1993. 105 p.

ARAÚJO, M. F. I. Os cem últimos anos na história da cidade e a formação da Grande São Paulo. In: *Cenários da urbanização paulista: a região administrativa da Grande São Paulo*. São Paulo: SEADE. p. 15-51, 1992.

ARAÚJO, M. F. I. & PACHECO, C. A. A trajetória econômica e demográfica da metrópole nas décadas de 70-80. Os cem últimos anos na história da cidade e a formação da Grande São Paulo. In: *Cenários da urbanização paulista: a região administrativa da Grande São Paulo*. São Paulo: SEADE. p. 53-92, 1992.

ARLINGHAUS, S. L. Central place fractals: theoretical geography in an urban setting. In: LAM, N. S. & DE COLA, L. *Fractals in Geography*. Nova Jersey: Prentice Hall, 1993. p. 213- 227.

AUTODESK INC Autocad release 14. Sausalito, Califórnia, USA, 1995.

BATTY, M & LONGLEY, P. The fractal simulation of urban structure. *Environment and Planning*. v. 18, p. 1143-1179, 1986.

BATTY, M & LONGLEY, P. The morphology of urban land use. *Environment and Planning B*. v. 15,p. 461-488, 1988.

BATTY, M & LONGLEY, P. *Fractal cities*. San Diego: Academic Press Inc, 1994. 394 p.

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.; FOTHERINGHAM, A. S. Urban growth and form: scaling, fractal geometry, and diffusion-limited aggregation. *Environment and Planning*. v. 21, p. 1447-1472, 1989.

BEDÊ, L. C.; WEBER, M.; RESENDE, S.; PIPER, W.;SCHULTE, W. *Manual para Mapeamento de Biótopos no Brasil: base para um planejamento ambiental eficiente*. Belo Horizonte: Brandt Meio Ambiente, 1994. 99 p.

BERRY, B. J. L. *City classification handbook: methods and applications*. Nova Jersey: Prentice Hall, 1972.

BULLOCK, N.; DICKENS, P.; STEADMAN, P. The use of models in planning and the architectural design process. In: MARTIN, L. & MARCH, L. *Urban Space and Structures*. Londres: Cambridge University,1972. cap.4, p.97-112.

BURROUGH, P. A. Fractals and geostatistical methods in landscape studies. In: LAM, N. S. & DE COLA, L. *Fractals in Geography*. Nova Jersey: Prentice Hall,1993. p. 87- 121.

BURROUGH, P. A. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford: Clarendon Press, 1996. 194 p.

CABRAL, E. *Tendências e variabilidade do fenômeno pluvial na região metropolitana de São Paulo e possíveis vinculações com o processo de urbanização*. São Paulo, FFLCH - USP, 2002. p. 1-44. (Tese de Doutorado).

CARLOS, A. F. A. *A (re)produção do espaço urbano*. São Paulo: Edusp, 1994.

CARTER, H. *El Estudio de la Geografía Urbana*. 2 ed. Madri: Faresco, 1987. 578p.

- CASTELLS, M. *La question urbana*. Cidade do México: Siglo Veintiuno, 1976.
- CHUVIECO, E. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. 1 ed. Madrid: Rialp, 1990. 453 p.
- COLBY, C. C. Centrifugal and centripetal forces in urban geography. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 23(11),1993.
- COWELL, R. N. *Manual of remote sensing*. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1993.
- CORRÊA, R. L. *Trajetórias Geográficas*. 2 ed. Rio de Janeiro: Bestand Brasil, 2001. 304 p.
- COSTA, M. A. *Expansão urbana e organização espacial*. Recife: Ed. Universitária, 1982. 248 p.
- COSTA, S. M. F. *Metodologia Alternativa para o Estudo do Espaço Urbano, Integrando as Tecnologias de SIG e Sensoriamento Remoto - Aplicação à Área Metropolitana de Belo Horizonte*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996. (Tese de Doutorado).
- CRISTOFOLETTI, A. L. H. *Análise fractal e multifractal da estrutura de estações chuvosas em localidades do estado de São Paulo*. Rio Claro: IGCE/UNESP, 1997. (Tese de doutorado).
- CROWTHER, D. & ECHENIQUE, M. Development of model of Urban Spatial Structure. In: MARTIN, L. & MARCH, L. *Urban Space and Structures*. Londres: Cambridge University, 1972. cap. 8, p.175-218.
- DE COLA, L. & LAM, N. S. *Fractals in Geography*. Nova Jersey: Prentice Hall, 1993, 308p.
- DEL RIO, V. *Introdução ao Desenho Urbano no Processo de Planejamento*. São Paulo: Editora Pini, 1990.
- EASTMAN, J. R. *IDRISI - Versão 4.1*. Worcester, Massachusetts: Clark University, 1992. 2v. 391 p., (manual do usuário).

EASTMAN, J. R. - *IDRISI32*. Worcester, Massachusetts: Clark University, 1999. Licença no 1456 – Pós-graduação em Geografia.

EMPLASA (Estado). Secretaria de Negócios Metropolitanos. *A grande São Paulo hoje*. São Paulo, 1982.

EMPLASA (Estado). Secretaria de Negócios Metropolitanos. Plano metropolitano da grande São Paulo 1994/2010. São Paulo: EMLASA, 1994. 228p.

EMPLASA (Estado). Secretaria de Negócios Metropolitanos. Dados demográficos e estatísticos. <<http://www.emplasa.gov.br>>, 2004.

FERNANDES, A.; KAWAI, C.; GURDOS, C.; CARREGA, D.L.; SILVA; F. N.; VILLROTHER, F.; BEUTTENMULLER, G.; TAKIYA, H.; MENEGASSE, L.; BARROS, L.; OLIVEIRA, M. A.; MOTTA, M.; DINIZ, M.; LANDGRAF JR., O.; PRADO, O.; SEPE, P. M.; NISHIMOTO, V.; NEWERLA, V. Detalhamento da Carta Geotécnica do município de São Paulo. In: Prefeitura do município de São Paulo, Secretária do Verde e do Meio Ambiente. *A questão ambiental urbana: cidade de São Paulo*. 1993. p. 381-388.

FERRARI; C. *Usos do solo urbano e as formas espaciais urbanas*. In: _____ *Curso de planejamento municipal integrado: Urbanismo*. São Paulo, 1977. p. 311-345.

FORESTI, C.; CECCATO, V. A. Aspectos da gestão urbana e qualidade de vida analisados com utilização de sensoriamento remoto. *Análise Ambiental: Estratégias e Ações*. São Paulo: Queiroz, 1995. p.217-220.

FORSTER, B. Can examination of some problems and solutions in monitoring urban areas from satellite platforms. *International Journal Remote Sensing*. v. 6, n. 1, p.139-151, 1985.

FOTHERINGHAM, A. S. & O'KELLY, M. E. Spatial interaction models: formulation and applications. *Studies in operational regional science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1989.

FOTHERINGHAM, A.S.; BATTY, M.; LONGLEY, P.A. Diffusion-limited aggregation and the fractal nature of urban growth. *Regional Science Association*. 67, 1989, p. 55-69.

FRANKHAUSER, P. *Fractal properties of settlement structures*. Proceedings of the 1st International Seminary on Structural Morphology, Montpellier, 1992.

- FRANKHAUSER, P. *La fractalité des structures urbaines*. Paris: Anthropos, 1994. 291 p.
- GARNER, B.J. *Modelo de geografia urbana e localização de povoações*. In: CHORLEY, R.J. *Modelos integrados em Geografia*. Rio de Janeiro: USP, 1975. p.124-174.
- GONÇALVES, M. F. Novas configurações no desenvolvimento urbano paulista. *Espaço & Debates*. Campinas, n. 38, p. 54-61, 1994.
- GONÇALVES, C. W. P. Formação sócio-espacial e a questão ambiental no Brasil. In: *Geografia e meio ambiente no Brasil*. Rio de Janeiro: HUCITEC, 1995. p. 309-333.
- GOODCHILD, M. Fractals and the accuracy of geographical measures. *Mathematical Geology*. v. 12(2), p. 85-98, 1980.
- GOODCHILD, M. F. & MARK, D. M. The fractal nature of geographic phenomemo. *Anais: Association of American Geographers*, 77(2),. p. 265-278, 1987.
- GOODCHILD, M.; HAINING, R.; WISE, S. Integrating GIS and spatial data analysis: problems and possibilities. *International Journal Geographical Information Systems*, v. 6, n. 5, p.407-423, 1992.
- GOODCHILD, M. F. & KLINKENBERG, B. Statistics of channel networks on fractional Brownian surfaces. In: LAM, N. S. & DE COLA, L. *Fractals in Geography*. Nova Jersey: Prentice Hall, 1993. p. 122- 141.
- HOYT, H. Recent distortions of the classical models of urban struture. *Land Economics*. v. 40, 1964.
- HOYT, H. *The struture and growth of residential neighbourhoods in american cities*. Chicago: Housing Association, 1939.
- IBGE Instituto Brasileiro Geográfico e Estatístico. Censo demográfico. Rio de Janeiro: IBGE, 1975.
- IBGE Instituto Brasileiro Geográfico e Estatístico. Censo demográfico. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

IBGE (Brasil). Instituto Brasileiro Geográfico e Estatístico. <<http://www.ibge.gov.br>>, 2000.

INTERSAT – Imagens de Satélite. São José dos Campos. <<http://www.intersat.com.br>>, 2004.

JENSEN, J. R. Urban/Suburban Land Use and Analysis. In: COWELL, R. N. *Manual of Remote Sensing*. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1983. cap.30, v. 2, p.1571-1666.

JENSEN, J. R. *Introduction digital image processing: a remote sensing perspective*. Nova Jersey: Prentice Hall, 1996. 291 p.

KIVELL, P. *Land and the city: Patterns and processes of urban change*. Londres e Nova York: Routledge, 1993. 223 p.

KLINKENBERG, B.; GOODCHILD, M. F. The fractal properties of topography: a comparison of methods. *Earth Surface Processes and Landforms*. v. 17, p.217-234, 1992.

LAM, N.S. Description and measurement of Landsat TM images using fractals. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. v. 56(2), p. 187-195, 1990.

LAM, N.S. et. al. The role patterns of cancer mortality in China. *Social Science and Medicine*. v. 23(3), p. 241-247, 1990.

LAM, N. S.; DE COLA, L. *Fractals in Geography*. Nova Jersey: Prentice Hall, 1993. 308 p.

LECIONI, S. Reestruturação urbano-industrial no Estado de São Paulo: a região da metrópole desconcentrada. *Espaço & Debates*. Campinas, n. 38, p. 54-61, 1994.

LOMBARDO, M. A. *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: HUCITEC, 1985. 244 p.

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

LONGLEY, P & MESEV, V. On the measurement and generalisation of urban form. *Center for Advanced Spatial Analysis. Working Paper Series*, 2000. 26 p.

LONGLEY, P & MESEV, V. Measuring urban morphology using remotely-sensed imagery. In: DONNAY, J. P. *Remote sensing and urban analysis*. Nova York: Taylor Francis, 2001. p. 163-183.

MACEDO, L. V. Problemas ambientais urbanos causados pelo trânsito na região metropolitana de São Paulo (RMSP). *Impactos ambientais urbanos no Brasil*. São Paulo, p. 305-346, 2000.

MATIAS, L. F. Aplicação de novas tecnologias em Geografia física - Geoprocessamento na gestão sustentável do meio Ambiente. *VII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. 1997. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, p.69-78, 1997.

MARTIN, L. & MARCH, L. Urban Systems. In: _____ *Urban Space and Structures*. Londres: Cambridge University, 1972. cap. 3, p.159-163.

MAYER, H. M. Perspectiva da Geografia urbana. In: HAUSER, P. & SCHNORE, L. F. *Estudos de Urbanização*. Tradução: COSTA, E. R. São Paulo: Pioneira, 1976. p. 75-104.

NEGRI, B.; PACHECO, A. Mudança tecnológica e desenvolvimento regional nos anos 90: a nova dimensão espacial da indústria paulista. *Espaço e Debates*. Campinas, n. 38, p. 62-78, 1994.

PELOGGIA, A. *O homem e o ambiente geológico* – Geologia, sociedade e ocupação urbana no município de São Paulo. São Paulo: Xamã, 1998. 270 p.

PHILLIPS, J. D. Interpreting the fractal dimension of river networks. In: LAM, N. S. & DE COLA, L. *Fractals in Geography*. Nova Jersey: Prentice Hall, 1993. p. 142-157.

PASTOR, J.O. Aplicación de los SIG a la evaluación de impacto ambiental. *17th Conference and 10th General Assembly of the International Cartographic Association (ICA)*. 1995. Madrid: Ciudad Universitaria, 1995. p. 135-146.

PRATES, R. C. Reestruturação da metrópole paulista: o processo de descentralização industrial. São Paulo: FFLCH-USP, 2001. p. 6-135. (Dissertação de Mestrado).

SANTOS, E. O. Tietê, o rio de São Paulo. In: AZEVEDO, A. A cidade de São Paulo: estudos de Geografia Urbana. v.1. São Paulo: Nacional, 1958. p. 45-67.

SANTOS, M. *A urbanização brasileira*. São Paulo: HUCITEC, 1983. 157 p.

SANTOS, M. *Metrópole corporativa fragmentada: o caso de São Paulo*. São Paulo: Nobel, 1990. 117 p.

SÃO PAULO (Cidade). *A cidade, o habitante e a administração: 1975-1979*. Prefeitura de São Paulo. São Paulo: Brasiliense, 1979.

SÃO PAULO (Cidade). *São Paulo: crise e mudança*. Prefeitura de São Paulo. São Paulo: Brasiliense, 1990.

SÃO PAULO (Município). *Atlas ambiental do Município de São Paulo*. <<http://www.atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br>>, 2002.

SEADE (Estado). *Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados*. São Paulo. <<http://www.seade.gov.br>>, 2000.

SILVA NETO, M.L. *Extensores urbanos: o caso da cidade de São Paulo*. São Paulo: FAU-USP, 1990. 205 p. (Dissertação de Mestrado)

SIMONETT, D. S. The development and principles of remote sensing. In: COWELL, R. N. *Manual of remote sensing*. Falls Church: American Scity of Photogrammetry, 1983. p. 1-35.

SERRA, G. *O Espaço Natural e a Forma Urbana*. São Paulo: Nobel, 1987. 211 p.

SOUZA, M. L. *O desafio metropolitano. Um estudo sobre a problemática sócio-espacial nas metrópoles brasileiras*. São Paulo: Bertand Brasil, 1999. 366 p.

TEIXEIRA, A. L. A.; GERARDI, L. H. O.; FERREIRA, M. C. Sistemas de informação geográfica: revisão e comentários. *Boletim de Geografia Teórica*, Rio Claro, v. 41, n. 21, p.135-147, 1991.

TINOCO, A. C. Integração ou fragmentação. O impasse gerado pelo feitichismo da desconcentração. *Espaço & Debates*. Campinas, n. 41, p. 46-65, 2001.

TOLEDO, B. L. *Prestes Maia e as origens do urbanismo em São Paulo*. São Paulo: Empresa das Artes, 1996. 317 p.

TOMLIN, C.D. *Geographic information systems and cartographic modeling*. Londres: Prentice Hall, 1990. 249 p.

TORRENS, P.M. How land-use-transportation models work. *Center for Advanced Spatial Analysis*. Working Paper Series, Paper 20, 2000. 75 p.

TORRENS, P.M. Can Geocomputation save urban simulation Throw some agents into the mixture, simmer, and wait... *Center for Advanced Spatial Analysis*. Working Paper Series, Paper 32, 2001. 37 p.

UNWIN, D. Fractals and the geosciences: Introduction. *Computers & Geosciences*. v. 15(2), p. 163-165, 1989.

VILLAÇA, F. *A estrutura territorial da Metrópole sul brasileira*. São Paulo: USP-FFLCH Departamento de Geografia, 1978. 230 p.

VILLAÇA, F. *Espaço intra-urbano no Brasil*. São Paulo: Studio Nobel, 1998. 373 p.

XAVIER-DA-SILVA, J.; SOUZA, M. J. L. *Análise Ambiental*. Rio de Janeiro: ed. UFRJ, 1988. 196 p.

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

APÊNDICE A - Valores de área do aglomerado urbano para o Setor Cantareira (I), no período 1905-2001.

Raio (Km)	Área do raio (Km ²)	Área do aglomerado urbano do Setor Cantareira (I)								
		1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001
1	235,77	229,47	229,47	229,47	229,47	229,47	229,47	229,47	229,47	229,47
2	1231,05	885,49	945,78	945,78	945,78	945,78	945,78	945,78	945,78	945,78
3	2271,32	995,28	2027,45	2027,45	2027,45	2027,45	2027,45	2027,45	2027,45	2027,45
4	3325,08	1701,69	2527,78	3169,40	3224,30	3224,30	3224,30	3224,30	3224,30	3224,30
5	4358,15	2057,14	2729,36	3811,02	3902,81	3902,81	3902,81	3902,81	3902,81	3902,81
6	5402,02	792,80	3888,41	4130,48	4174,58	4797,30	4797,30	4797,30	4797,30	4797,30
7	6471,09	193,48	2662,77	2759,95	2759,95	6332,51	6332,51	6332,51	6332,51	6332,51
8	7501,46	443,64	1781,78	1933,86	1933,86	6970,53	6970,53	6970,53	6970,53	6970,53
9	8520,13	451,74	2094,04	2641,17	3043,42	6789,65	6789,65	6789,65	6789,65	6789,65
10	9598,20	745,11		3084,81	3372,78	5597,30	5597,30	5597,30	5597,30	5597,30
11	10597,08			2353,20	2689,76	5979,75	5979,75	6004,95	6004,95	6312,71
12	11636,45			2159,73	2877,84	6224,52	6224,52	6334,31	6334,31	7500,56
13	12719,91			2320,81	2654,67	5002,47	5002,47	5002,47	5050,17	8855,79
14	13733,18			1545,11	1545,11	4298,76	4298,76	4298,76	4298,76	9314,74
15	14767,15			1945,56	1945,56	4121,48	4121,48	4121,48	4136,78	6894,94
16	15830,82			1534,31	1534,31	2043,64	2043,64	2043,64	2100,34	5569,40
17	16858,49			595,73	595,73	608,32	608,32	608,32	608,32	5377,73
18	17906,86			939,48	939,48	1190,55	1190,55	1190,55	1190,55	5767,38
19	18985,83			1416,42	1416,42	2011,25	2011,25	2011,25	2203,82	5813,27
20	19984,70			2498,09	2498,09	2566,48	2566,48	2566,48	3832,62	5680,09
21	21014,17			828,80	828,80	866,59	866,59	866,59	5096,06	6822,05
22	22094,94			620,02		904,39	904,39	986,28	1543,31	3748,03
23	23101,91					347,36	347,36	1176,15	2238,92	3367,38
24	24141,28					769,40	769,40	1234,65	4325,76	6403,60
25	25231,95					638,92	638,92	1618,90	4401,35	6896,74
26	26214,62					620,02	620,02	2600,67	4551,63	5788,08
27	27253,99					1214,85	1214,85	1636,90	3327,78	3756,13
28	28341,96					0	0	0	207,87	2678,97
29	29366,93					0	0	0	607,42	2524,18
30	30416,20					0	0	0	52,19	1510,91
31	31478,06					107,09	107,09	107,09	963,78	1393,93
32	32488,64						2,70	2,70	1506,41	2323,51
33	33502,81								929,58	941,28
34	34583,58								277,17	277,17

APÊNDICE E - Valores de área do aglomerado urbano para o Setor Billings (V), no período 1905-2001.

Raio (Km)	Área do raio (Km ²)	Área do aglomerado urbano do setor Billings (V)								
		1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001
1	689,31	664,12	664,12	664,12	6641,17	664,12	664,12	664,12	664,12	664,12
2	1107,76	726,21	726,21	726,21	7262,09	726,21	726,21	726,21	726,21	726,21
3	1626,10	535,43	624,52	713,61	7136,11	713,61	713,61	713,61	713,61	713,61
4	2166,93	238,47	238,47	238,47	2384,70	238,47	238,47	238,47	238,47	238,47
5	2667,27	368,95	2107,54	3846,12	38461,19	3846,12	3846,12	3846,12	3846,12	3846,12
6	3177,50	322,16	2495,39	4668,62	46686,16	4668,62	4668,62	4668,62	4668,62	4668,62
7	3716,54	595,73	1191,45	1787,18	17871,77	2317,21	2317,21	2317,21	2317,21	2317,21
8	4215,97	916,99	2017,55	3118,11	31181,10	5316,54	5316,54	5316,54	5316,54	5316,54
9	4746,01	623,62	1227,45	1831,27	18384,70	4344,66	4344,66	4344,66	4344,66	4344,66
10	5301,24			0	0	2467,49	2467,49	2467,49	2467,49	2467,49
11	5775,48			215,97	3158,61	4258,27	4338,36	4418,45	4498,54	4578,63
12	6277,62			641,62	8611,92	4401,35	4808,10	5214,85	5621,60	6028,35
13	6822,95			553,43	6047,24	3598,65	4555,23	5511,81	6468,39	7424,97
14	7350,28			665,02	6686,16	3546,46	4346,46	5146,46	5946,46	6746,46
15	7865,92			510,24	5102,36	2678,07	3058,72	3439,37	3820,02	4200,67
16	8406,75			110,69	1106,86	1789,88	3178,40	4566,93	5955,46	7343,98
17	8886,39			260,97	3131,61	2054,44	3477,17	4899,89	6322,61	7745,33
18	9394,83			2547,58	30956,13	4195,28	6280,31	7025,42	7917,21	7922,61
19	9962,65			2784,25	29003,37	2983,13	4794,60	5968,05	6862,54	7228,80
20	10461,19			2308,21	23082,11	2339,71	3611,25	4183,58	4518,34	4941,28
21	10971,43			1046,57	11608,55	1268,84	1737,68	2157,93	2492,69	3140,61
22	11526,66			1661,19		1730,48	2446,79	2707,76	4459,84	4961,98
23	11990,10					0	4137,68	4161,08	5310,24	6474,69
24	12525,53					2236,22	4494,94	4651,52	5079,86	6875,14
25	13084,36					2737,46	2887,74	2890,44	5026,77	5748,48
26	13567,60							3635,55	5288,64	6336,11
27	14077,84							2974,13	4388,75	6518,79
28	14641,17							950,28	2180,43	17406,44
29	15124,41							156,58	2001,35	2673,57
30	15639,14							107,09	1185,15	1350,73
31	16186,28							195,28	1051,97	1249,94
32	16691,11							28,80	1427,22	1816,87
33	17191,45							0	1869,97	2550,28
34	17770,08							354,56	783,80	1550,51
35	18248,82							102,59	1718,79	1820,47
36	18740,16							36,00	71,99	657,82
37	19305,29							2,70	273,57	1248,14
38	19793,03								702,81	1591,90
39	20326,66								1338,13	1402,02
40	20894,49								416,65	416,65
41	21337,23								0	0
42	21859,17								0	0
43	22423,40								768,50	768,50
44	22926,43								170,08	170,08

APÊNDICE F - Valores de área do aglomerado urbano para o Setor Santo Amaro/Interlagos (VI), no período 1905-2001.

Raio (Km)	Área do raio (Km ²)	Área do aglomerado urbano do Setor Santo Amaro/Interlagos (VI)									
		1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001	
1	1009,67	1009,80	1009,80	1009,80	1009,80	1009,80	1009,80	1009,80	1009,80	1009,80	
2	2064,34	1352,70	1352,70	1352,70	1352,70	1352,70	1352,70	1352,70	1352,70	1352,70	
3	3106,41	1019,70	2019,60	2019,60	2019,60	2019,60	2019,60	2019,60	2019,60	2019,60	
4	4136,78	1192,50	3327,30	3327,30	3327,30	3327,30	3327,30	3327,30	3327,30	3327,30	
5	5172,55	589,50	4890,60	4890,60	4890,60	4890,60	4890,60	4890,60	4890,60	4890,60	
6	6227,22	308,70	5728,50	5728,50	5898,60	5898,60	5898,60	5898,60	5898,60	5898,60	
7	7283,69	384,30	6686,10	6986,70	7021,80	7234,20	7234,20	7234,20	7234,20	7234,20	
8	8368,95	833,40	1862,10	2320,20	2769,30	5958,00	5958,00	5958,00	5958,00	5958,00	
9	9380,43	1518,30	1822,50	2030,40	2240,10	4392,90	4392,90	4392,90	4392,90	4392,90	
10	10434,20	479,70		1009,80	1009,80	4287,60	4599,00	4599,00	4599,00	4599,00	
11	11473,57			292,50	292,50	3906,00	5220,90	5220,90	5220,90	5220,90	
12	12542,63			0	0	4204,80	4888,80	4888,80	4888,80	4888,80	
13	13566,70			0	0	4801,50	6723,00	6723,00	6723,00	6723,00	
14	14615,07			0	0	3231,90	7231,50	7231,50	7231,50	7231,50	
15	15690,44			0	0	2526,30	6079,50	6079,50	6079,50	6079,50	
16	16737,01			0	0	3153,60	9351,90	9351,90	9351,90	9351,90	
17	17791,68			2860,20	2907,90	4932,00	9486,90	9568,80	9689,40	9837,00	
18	18827,45			3252,60	3290,40	3701,70	12297,60	12378,60	13135,50	13666,50	
19	19860,52			3645,90	3645,90	4098,60	13046,40	13407,30	15003,90	16075,80	
20	20905,29			3561,30	3708,00	4684,50	11142,00	11756,70	14009,40	15388,20	
21	21966,25			5818,50	6048,00	6921,00	12825,90	14645,70	16879,50	18076,50	
22	23020,02					6137,10	11092,50	12618,90	15672,60	16849,80	
23	24103,49					0	6327,90	7736,40	12164,40	14405,40	
24	25101,46					0	4746,60	5673,60	10203,30	12755,70	
25	26168,73					1814,40	1899,00	2416,50	8989,20	10457,10	
26	27204,50					2974,50	3285,90	3930,30	9845,10	11241,90	
27	28278,96						2752,20	4231,80	9627,30	10803,60	
28	29313,84						2724,30	2948,40	7628,40	9129,60	
29	30339,71						2167,20	2581,20	6919,20	7728,30	
30	31424,07						1616,40	1913,40	6094,80	7141,50	
31	32458,94						2170,80	2630,70	5154,30	5911,20	
32	33527,11						1467,00	3410,10	3410,10	3630,60	
33	34549,38						373,50	373,50	2407,50	2665,80	
34	35609,45						0	0	2487,60	2488,50	
35	36622,72						0	0	2487,60	2889,00	
36	37717,88						0	0	3360,60	3711,60	
37	38752,76						0	0	5191,20	5456,70	
38	39824,52						0	0	4717,80	5292,90	
39	40842,29							411,30	411,30	7551,90	7894,80
40	41896,06							576,00	576,00	5789,70	6063,30
41	42941,73									4281,30	4333,50
42	44003,60									1797,30	2387,70
43	45064,57									3236,40	3270,60
44	46056,24									1238,40	1238,40
45	47161,30									921,60	921,60
46	48188,98									1293,30	1302,30
47	49258,04									1467,00	1690,20
48	50292,91									367,20	367,20

APÊNDICE G - Valores de área do aglomerado urbano para o Setor Castelo Branco/Anhanguera (VII), no período 1905-2001.

Raio (Km)	Área do raio (Km ²)	Área do aglomerado urbano do Setor Castelo Branco/Anhanguera (VII)								
		1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001
1	426,55	426,60	426,60	426,60	426,60	426,60	426,60	426,60	426,60	426,60
2	1538,81	1447,20	1447,20	1447,20	1447,20	1447,20	1447,20	1447,20	1447,20	1447,20
3	2629,47	1194,30	1703,70	1703,70	1703,70	1703,70	1703,70	1703,70	1703,70	1703,70
4	3685,94	1482,30	2602,80	2619,00	2621,70	2782,80	2959,20	2959,20	2959,20	2959,20
5	4736,11	1202,40	3093,30	3229,20	3230,10	3274,20	3841,20	3841,20	3841,20	3841,20
6	5800,67	776,70	3159,00	3681,90	3923,10	4048,20	4379,40	4379,40	4379,40	4379,40
7	6828,35	954,00	3062,70	3716,10	3930,30	4025,70	4974,30	4974,30	4974,30	4974,30
8	7880,31	1314,90	3100,50	3597,30	3839,40	5066,10	5374,80	5374,80	5374,80	5374,80
9	8920,58	822,60	3817,80	3937,50	4293,90	6635,70	6898,50	6898,50	6898,50	6898,50
10	9992,35	1376,10		4830,30	4830,30	7567,20	7791,30	7791,30	7791,30	7791,30
11	11027,22			3397,50	3458,70	6702,30	7674,30	7674,30	7674,30	7674,30
12	12093,59			3158,10	3260,70	5959,80	8582,40	8582,40	8582,40	8582,40
13	13147,36			4532,40	5111,10	7155,90	10499,40	10499,40	10499,40	10906,20
14	14198,43			3952,80	4341,60	7697,70	10706,40	10706,40	10744,20	11849,40
15	15257,59			5517,00	5565,60	8422,20	12429,90	12429,90	12559,50	13196,70
16	16314,06			4654,80	4804,20	8082,00	11470,50	11470,50	12044,70	13455,90
17	17342,63			5299,20	5716,80	8707,50	10329,30	10463,40	10926,00	13988,70
18	18409,00			3552,30	3664,80	5013,90	9382,50	9384,30	9638,10	15873,30
19	19462,77			5474,70	5882,40	6429,60	10803,60	11535,30	12175,20	17379,90
20	20512,94			4967,10	5636,70	5976,00	8618,40	8824,50	11039,40	15407,10
21	21588,30					6130,80	6936,30	8122,50	10642,50	15606,90
22	22605,17					7916,40	8699,40	11763,90	12563,10	16593,30
23	23658,94					7919,10	8412,30	10995,30	11464,20	16409,70
24	24702,81					5413,50	5580,90	7380,90	11195,10	17007,30
25	25769,18					4025,70	4151,70	5595,30	10394,10	15349,50
26	26813,05					4381,20	4586,40	4829,40	11151,00	14858,10
27	27898,31					5986,80	6786,90	6786,90	12324,60	15201,00
28	28951,18					6483,60	7854,30	7854,30	11324,70	16778,70
29	29990,55					6883,20	8028,90	8028,90	11014,20	19246,50
30	31035,32					6740,10	7368,30	7471,80	12738,60	18688,50
31	32074,69					5210,10	5545,80	5811,30	11829,60	18069,30
32	33135,66						3452,40	3700,80	8086,50	13635,90
33	34181,33							3596,40	6075,00	10039,50
34	35240,49							2516,40	5549,40	8289,00
35	36276,27							1421,10	4589,10	7167,60
36	37373,23							406,80	2056,50	4320,90
37	38409,90							325,80	1578,60	2734,20
38	39430,37							342,90	2674,80	2780,10
39	40518,33								1092,60	1092,60
40	41559,50								420,30	420,30
41	42589,88								1247,40	1247,40
42	43692,24								1222,20	1222,20
43	44728,01								92,70	92,70

ANEXO A – Unidades de Conservação da
Região Metropolitana de São Paulo – 1993

EMPLASA (Estado). Secretaria de Negócios Metropolitanos. Plano metropolitano da grande São Paulo 1994/2010. São Paulo: EEMPLASA, 1994. 228p.

ANEXO B - Uso do solo da Região
Metropolitanade São Paulo - 1993

EMPLASA (Estado). Secretaria de Negócios Metropolitanos. Plano metropolitano da grande São Paulo 1994/2010. São Paulo: EEMPLASA, 1994. 228p.