

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Faculdade de Arquitetura
PROPUR - Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional

Tese de Doutorado

ANÁLISE CONFIGURACIONAL DA FORMA URBANA E SUA ESTRUTURA COGNITIVA

Ana Paula Neto de Faria
Orientador: Romulo Krafta, PhD.

Porto Alegre
Novembro de 2010

Título do trabalho:
ANÁLISE CONFIGURACIONAL DA FORMA URBANA
E SUA ESTRUTURA COGNITIVA

Autora:
Ana Paula Neto de Faria

Orientador:
Romulo Krafta, PhD

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional - PROPUR, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Planejamento Urbano e Regional.

Porto Alegre, novembro de 2010

DEDICATÓRIA

Para meu filho, Juliano de Faria Rodrigues.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial ao Prof. Romulo Krafta, orientador deste trabalho, pelo conhecimento transmitido e pelo apoio, incentivo e confiança depositada.

A elaboração do trabalho contou com a colaboração de pessoas às quais
destacadamente agradeço:

Cleber Lima Rodrigues, quem escreveu o programa de computador que permitiu a
realização deste trabalho.

Arq. Rodrigo Estrella,

Prof. Philip J. Ethington da University of Southern California,

Micheal Siegel do Rutgers Cartography Lab

e Lambert M. Giessinger do Los Angeles Department of City Planning,

pela ajuda na aquisição dos mapas antigos de Los Angeles e Jersey City.

Albert-László Barabási e, de modo especial, Mark Newman, pelos esclarecimentos e
ajuda recebida.

Sérgio Kato, Jandyra Maria Guimarães Fachel e Markus Chagas Stein, pela
consultoria na área estatística.

Aos colegas, amigos e familiares pelo apoio e os mais variados tipos de ajuda:
Ana Lúcia Costa Oliveira, Ana Paula Polidori Zeclinski, Fernando Gonçalves Duarte,
Julian Marco "*Baiano*" Barbosa Shorto, Juliano de Faria Rodrigues,
Marta Ribeiro Galvão, Maurício Couto Polidori, Natália Naoumova, Niara Palma,
Pedro Neto de Faria, Teresa Neto de Faria, Wane Vaz do Amaral.

Agradeço, ainda, aos colegas, professores e funcionários:
PROPUR, Grupo de pesquisa Sistemas Configuracionais Urbanos / UFRGS,
Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo -
FAUrb / UFPel, Laboratório de Urbanismo - LabUrb / UFPel.

*... the city goes soft; it awaits the imprint of an identity. For better or worse,
it invites you to remake it, to consolidate it into a shape you can live in.
You, too. Decide who you are, and the city will again assume a fixed form
round you.*

*The city as we imagine it, the soft city of illusion, myth, aspiration, nightmare,
is as real, maybe more real, than the hard city one can locate on maps....*

Jonathan Raban, 1974 - Soft City

RESUMO

O presente trabalho investiga as características configuracionais que o sistema urbano adquire ao ser mentalmente organizado pelos indivíduos. A estrutura de conhecimento amplamente compartilhada, definida na literatura como "imagem pública", é abordada enquanto parte integrante e indissociável do sistema urbano. A temática é tratada dentro de uma abordagem sistêmica, com o auxílio de modelagem computacional e métodos de análise de redes. Os modelos de simulação foram capazes de replicar muitos dos entendimentos constantes dos trabalhos da área cognitiva, validando, deste modo, a metodologia empregada.

A análise das características configuracionais do sistema urbano, composto por seus espaços físicos penetráveis e as informações cognitivamente estruturadas, apontou diversas propriedades estruturais como importantes para o entendimento do funcionamento da cognição ambiental e do papel desempenhado pelos diversos tipos de informações ambientais. Muitos dos resultados obtidos se mostraram comuns entre as cidades analisadas, sugerindo a universalidade de algumas características configuracionais e uma possível influência de aspectos funcionais da cognição ambiental. Foi possível também descrever o papel desempenhado pela configuração morfológica do espaço urbano nas características qualitativas do sistema urbano cognitivamente estruturado.

Palavras chave: Cognição ambiental, imagem pública, análise configuracional.

ABSTRACT

This study investigates the configurational properties acquired by urban systems when mentally organized by individuals. The widely shared knowledge structures, described in literature as "public image", are addressed as an integral and inseparable part of the urban system. The subject is treated within a systemic framework, uses computer modeling and network analysis methods. Simulation models were capable of replicating many of the understandings from environmental cognition studies, thus, validating the employed methodology.

The analysis of the configurational characteristics present in the urban system, defined by public spaces and cognitively structured information, pointed several structural properties as important for the understanding of environmental cognition and the role played by the different types of environmental information. Many of the obtained results were common to all cities examined, suggesting the universality of some configurational properties and a possible influence of the functional aspects of environmental cognition. It was also possible to describe the role played by the morphological configuration of urban space in the qualitative differentiation of the cognitively structured urban system.

Key-words: Environmental cognition, public image, configurational analysis.

SUMÁRIO

RESUMO	V
ABSTRACT	VI
Lista de Figuras	XII
Lista de Tabelas	XVI
Lista de Equações	XX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema teórico de pesquisa: a informação ambiental como componente urbano... 1	
1.1.1 O componente informativo.....	1
1.1.2 Imagem pública, ordem simbólica e unidades de informação	2
1.1.3 Delimitação do problema teórico	6
1.2 O problema metodológico de pesquisa: a análise conjunta dos aspectos físicos e cognitivos do sistema urbano	8
1.2.1 A adoção do enfoque sistêmico	8
1.2.2 O uso de modelos de representação da realidade	9
1.2.3 Modelos baseados em grafos e técnicas de análise de redes.....	11
1.2.4 Delimitação do problema metodológico.....	13
1.3 Definição do objeto de estudo	13
1.4 Contribuição e justificativas do estudo	19
1.5 Estrutura do trabalho	21
PARTE I - Fundamentação teórica	24
2. TEORIA DOS GRAFOS E ANÁLISE DE REDES	25
2.1 Teoria dos grafos.....	25
2.1.1 Vértices e vizinhança.....	26
2.1.2 Percorso ou itinerário.....	27
2.1.3 Distância	27
2.1.4 Descrição geral do grafo.....	28
2.1.5 Grafos conexos e desconexos	29
2.1.6 Atingibilidade e conexidade	29
2.1.7 Grafos com configurações especiais	31
2.1.8 Níveis de regularidade na estrutura dos grafos	32
2.1.9 Grafos valorados e não-valorados.....	32
2.1.10 Subestruturas em grafos	33
2.2 Redes	34
2.2.1 Concepções e propriedades gerais das redes	35

2.2.1.1	As conexões entre elementos	35
2.2.1.2	Padrões de distribuição do grau.....	37
2.2.1.3	Transitividade	40
2.2.1.4	Modularidade.....	41
2.2.1.5	Subgrafos recorrentes ou Motifs	42
2.2.1.6	<i>Small-worlds</i>	43
2.2.1.7	Robusteza	44
2.2.2	Características estruturais e modelos de simulação	45
2.2.2.1	Modelos randômicos.....	46
2.2.2.2	Modelo <i>Small-Worlds</i>	48
2.2.2.3	Modelos de crescimento	51
2.3	Redes espaciais	56
2.3.1	Dimensão do sistema e dimensão do grafo de representação	60
2.3.2	Definição dos elementos e relações na representação do espaço urbano	61
2.3.3	Procedimentos na descrição de redes urbanas	66
2.3.4	Medidas e resultados na descrição das redes urbanas.....	67
2.3.4.1	Medidas de descrição topológica.....	67
2.3.4.2	Medidas baseadas na conectividade indireta entre elementos	70
2.3.4.3	Medidas de descrição da funcionalidade da rede.....	73
2.3.5	Correlações entre aspectos geométricos e topológicos em redes urbanas	75
3.	COGNIÇÃO AMBIENTAL URBANA E ORDEM SIMBÓLICA	78
3.1	Teorias da cognição e o processamento da informação ambiental	78
3.1.1	Abordagens centradas nos processos de interação ecológica com o ambiente	80
3.1.2	Abordagens centradas no processamento seqüencial das informações ambientais	81
3.1.3	Abordagens centradas em processamentos múltiplos da informação ambiental.....	82
3.2	Os aspectos cognitivos envolvidos na organização das informações ambientais	85
3.2.1	A seleção das informações ambientais	85
3.2.2	As implicações das estratégias funcionais.....	86
3.2.3	As implicações dos processos de economia cognitiva	87
3.2.4	As implicações do armazenamento da informação	88
3.3	As estruturas de informação relevantes para a ordem simbólica	89
3.3.1	As representações mentais	89
3.3.2	As unidades de informação	95
3.3.3	A imagem pública	99

3.4 As influências do ambiente na organização das informações	101
3.4.1 Legibilidade	102
3.4.2 Imageabilidade	103
3.5 Cognição ambiental, modelagem e redes	104
3.5.1 IRN - <i>Inter-Representation Networks</i>	105
3.5.2 Contribuições dos estudos de redes	107
3.6 Entendimentos sobre a ordem simbólica.....	111
PARTE II - A construção do modelo de simulação	114
4. MEDIDAS DE DESCRIÇÃO DAS REDES	115
4.1 Medidas que definem as características dos componentes do sistema.....	115
4.1.1 Medidas que descrevem as características de conectividade local	116
4.1.2 Medidas que descrevem a interconectividade do sistema.....	118
4.1.3 Medidas que descrevem as distâncias entre componentes	118
4.1.4 Medidas que descrevem distâncias a partir de componentes específicos	121
4.1.5 Medidas que descrevem a conectividade indireta entre componentes.....	121
4.1.6 Medidas que descrevem a interferência no comportamento da rede	127
4.2 Medidas que definem as características globais do sistema.....	128
4.2.1 Medidas que descrevem as características de conexidade	128
4.2.2 Medidas que descrevem o padrão global de transitividade	129
4.2.3 Medidas que descrevem as características de dimensão e atingibilidade	129
4.2.4 Medidas que descrevem o padrão global de conectividade.....	130
5. A ORDEM SIMBÓLICA COMO UM GRAFO	132
5.1 Os componentes do sistema	132
5.1.1 O ambiente urbano e sua estrutura	133
5.1.2 As unidades de informação e sua representação	135
5.2 A análise das hipóteses de representação da ordem simbólica.....	143
5.2.1 Os critérios de validação das hipóteses de representação	144
5.2.2 Descrição topológica da rede urbana e das hipóteses de representação	146
5.2.2.1 Grau do Vértice e seu padrão distributivo	146
5.2.2.2 Coeficiente de Agrupamento	149
5.2.2.3 Distância entre vértices e dimensões do grafo	152
5.2.3 Resumo da análise comparativa entre hipóteses	155
5.3 Implicações para a cognição ambiental urbana	157
PARTE III - Estudos empíricos.....	160
6. ESTUDO DE CASO	161

6.1 As três cidades e suas imagens públicas.....	162
6.1.1 Boston.....	162
6.1.2 Jersey City.....	163
6.1.3 Los Angeles.....	164
6.2 Definição dos componentes da ordem simbólica.....	166
6.3 A estrutura física das cidades e a representação da ordem simbólica.....	170
7. AS QUALIDADES CONFIGURACIONAIS DA ORDEM SIMBÓLICA.....	174
7.1 A transformação das características configuracionais do espaço urbano.....	175
7.1.1 Alterações nas características de disponibilidade informacional da rede.....	176
7.1.2 Compressão espacial e acessibilidade cognitiva.....	181
7.1.3 Mudanças no comportamento da rede.....	187
7.1.3.1 Estabilidade da rede.....	190
7.1.3.2 Dependência nos <i>hubs</i> limitados.....	191
7.1.3.3 Hierarquização do sistema.....	192
7.1.4 Alterações na navegabilidade da rede.....	199
7.2 As características configuracionais da supra-estrutura cognitiva.....	205
7.2.1 Nível de fragmentação e fragilidade da estrutura.....	205
7.2.2 Nível de redundância nas associações.....	207
7.2.3 Estruturação interna.....	209
7.2.4 Modularidade.....	210
7.2.5 Padrões recorrentes de associação.....	216
7.3 Considerações sobre as características configuracionais da ordem simbólica.....	220
8. AS CARACTERÍSTICAS CONFIGURACIONAIS DAS UNIDADES DE INFORMAÇÃO.....	226
8.1 A participação das unidades de informação na ordem simbólica.....	228
8.2 As características de conectividade local.....	229
8.3 As características de localização e acessibilidade cognitiva.....	235
8.4 As características da conectividade indireta entre os componentes.....	241
8.6 Relações com a redundância na supra-estrutura.....	250
8.7 Relações entre características configuracionais e frequência de citação.....	255
9. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	264
9.1 Contribuições para a compreensão da ordem simbólica.....	265
9.1.1 As características gerais da ordem simbólica.....	266
9.1.2 As particularidades na estrutura da ordem simbólica.....	271
9.2 Contribuições para a compreensão das unidades de informação.....	273
9.2.1 As características gerais das unidades de informação.....	274

9.2.2 As particularidades nas características das unidades de informação	276
9.3 A validade das hipóteses levantadas	276
9.4 As potencialidades e limitações do método proposto.....	280
9.5 Continuidade e sugestões para desenvolvimentos futuros	283
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	286

Lista de Figuras

- Figura 01 – Diagramas representando exemplos de grafos não-direcionados, direcionados e orientados. Os vértices são representados por pontos e as ligações por linhas ou setas. 25
- Figura 02 – Grafos e exemplos de seus subgrafos. Os subgrafos mostrados não são necessariamente os únicos subgrafos possíveis. 34
- Figura 03 – Exemplo de conexões de longo e curto alcance e sua versão na sociologia como conexões fortes e fracas. 36
- Figura 04 – Histogramas de frequência e os correspondentes gráficos da distribuição das probabilidades acumuladas para os três tipos mais comuns de padrões distributivos do grau do vértice: a) distribuição Gaussiana; b) decaimento exponencial; c) leis de potência. 38
- Figura 05 – Exemplificação do processo de evolução do grafo gerado pelo modelo randômico de Erdős-Rényi. Fonte: adaptado de Albert e Barabási (2002; 55). 46
- Figura 06 – A ordem dos componentes de grafo randômico Erdős-Rényi em função do Grau médio dos vértices $\langle k \rangle$. A linha tracejada descreve a ordem do componente gigante e a linha cheia descreve a ordem média dos demais componentes. Fonte: adaptado de Newman (2003; 21). 47
- Figura 07 – Exemplificação do processo de evolução do grafo gerado pelo modelo *Small-Worlds* de Watts e Strogatz. Fonte: Adaptado de Watts e Strogatz (1998; 441). 49
- Figura 08 – Comportamento da distância média entre vértices e da transitividade em função da probabilidade p . A área demarcada destaca o regime onde a propriedade *small-worlds* se manifesta associada a um alto nível de transitividade. Fonte: Adaptado de Watts e Strogatz (1998; 441). 50
- Figura 09 – Exemplificação do processo de evolução do grafo gerado pelo modelo *Scale-Free* de Barabási e Albert. Fonte: Adaptado de Barabási *et al.* (1999; 179). 52
- Figura 10 – Exemplos de redes geradas com o modelo de estruturas espaciais de Gastner e Newman variando o critério de minimização das distâncias entre um conjunto de vértices distribuídos aleatoriamente. Fonte: adaptado de Gastner e Newman (2006a; 251). 59
- Figura 11 – Um mesmo sistema urbano representado segundo o critério de: (a) manutenção do caráter geográfico; (b) unidades morfológicas máximas definidas por linhas axiais; (c) unidades morfológicas mínimas considerando a continuidade da linha de visão. 63
- Figura 12 – A estruturação das informações ambientais através de diversos filtros. Adaptado de Rapoport (1977; 38) e Kintsch *et al.* (1997). 84
- Figura 13 – A representação da noção de IRN conforme figura em Portugali (1996; 12). 106
- Figura 14 - Gráficos de dispersão em escala log-log comparando os valores atribuídos por vértice nas medidas Centralidade por Perpasse, Centralidade por Campo de Tensões e Centralidade Freeman-Krafta. 126
- Figura 15 – Gráfico comparativo da distribuição de valores das medidas Centralidade por Perpasse (azul), Centralidade por Campo de Tensões (laranja) e Centralidade Freeman-Krafta (verde), onde as

medidas estão em escala logarítmica. Os valores foram ordenados de forma crescente para cada medida de modo independente.....	127
Figura 16 - (a) Mapa do espaço físico e a demarcação das unidades de informação. (b) Representação das unidades de informação e da ordem simbólica na forma de um grafo conforme a hipótese de representação I.....	138
Figura 17 - (a) Mapa do espaço físico e a demarcação das unidades de informação. (b) Representação das unidades de informação e da ordem simbólica na forma de um grafo conforme a hipótese de representação II.....	140
Figura 18 - (a) Mapa do espaço físico e a demarcação das unidades de informação. (b) Representação das unidades de informação e da ordem simbólica na forma de um grafo conforme a hipótese de representação III.....	141
Figura 19 - (a) Mapa do espaço físico e a demarcação das unidades de informação. (b) Representação das unidades de informação e da ordem simbólica na forma de um grafo conforme a hipótese de representação IV.....	142
Figura 20 - (a) Mapa do espaço físico e a demarcação das unidades de informação. (b) Representação das unidades de informação e da ordem simbólica na forma de um grafo conforme a hipótese de representação V.....	143
Figura 21 - Histogramas de frequências do Grau do Vértice para o espaço físico e hipóteses de representação da ordem simbólica. O espaço físico e a hipótese IV apresentam as linhas de ajuste para uma distribuição Gaussiana e os respectivos valores de média, mediana e desvio padrão.	147
Figura 22 - Gráficos log-log da probabilidade acumulada para as hipóteses II, III e IV de representação da ordem simbólica com as respectivas linhas de ajuste e valores do R^2 ajustado, da probabilidade $>F$ para a Anova e do teste AIC.....	148
Figura 23 - Mapeamento das unidades de informação consensuais para a área central de Boston montado a partir das entrevistas verbais, conforme Lynch (1960: 146).....	162
Figura 24 - Mapeamento das unidades de informação consensuais para a área central de Jersey City montado a partir das entrevistas verbais, conforme Lynch (1960: 148).....	164
Figura 25 - Mapeamento das unidades de informação consensuais para a área central de Los Angeles montado a partir das entrevistas verbais, conforme Lynch (1960: 150).....	165
Figura 26 - As unidades de informação que compõem a ordem simbólica de Boston definidas por tipo.....	168
Figura 27 - As unidades de informação que compõem a ordem simbólica de Jersey City definidas por tipo.....	169
Figura 28 - As unidades de informação que compõem a ordem simbólica de Los Angeles definidas por tipo.....	169
Figura 29 - Exemplos das imagens de Los Angeles utilizadas para definir a área de visualização dos marcos referenciais arquitetônicos. Na esquerda, de cima para baixo, os prédios da Bullock's, The Times, Grand Central Market e Philharmonic Auditorium. No centro, em cima: a rua Broadway com o	

prédio da Bullock's, prédio da Barker Brothers e vista aérea da região do City Hall. No centro, abaixo, quatro fotografias de aspectos gerais da área em estudo. Na direita, de cima para baixo: Court House; Statler Hotel, vista geral com o prédio da Atlantic Richfield Oil Corporation e Union Oil Corporation. Fonte: sites diversos, citação na bibliografia..... 171

Figura 30 – Grafos representando a ordem simbólica em termos de sua estrutura base e supra-estrutura cognitiva para a cidade de Boston. Ambos os grafos encontram-se na mesma escala. Na supra-estrutura os vértices foram posicionados aproximadamente no centro da unidade de informação..... 172

Figura 31 – Grafos representando a ordem simbólica em termos de sua estrutura base e supra-estrutura cognitiva para Jersey City. Ambos os grafos encontram-se na mesma escala. Na supra-estrutura os vértices foram posicionados aproximadamente no centro da unidade de informação... 173

Figura 32 – Grafos representando a ordem simbólica em termos de sua estrutura base e supra-estrutura cognitiva para a cidade de Los Angeles. Ambos os grafos encontram-se na mesma escala. Na supra-estrutura os vértices foram posicionados aproximadamente no centro da unidade de informação..... 173

Figura 33 – Comparativo das freqüências de distribuição para a Excentricidade na rede urbana (verde) e ordem simbólica (azul). Linhas vermelhas verticais indicam os valores médios das redes. Dados para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles..... 184

Figura 34 – Comparativo das freqüências de distribuição para a Acessibilidade na rede urbana (verde) e ordem simbólica (azul). Linhas vermelhas verticais indicam os valores médios das redes. Dados para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles..... 184

Figura 35 – Alterações no padrão espacial da medida de Acessibilidade. Diagrama de dispersão por vértice referente aos valores da rede urbana x ordem simbólica, coeficiente de correlação de Pearson: 0,184. Dados de Boston. 185

Figura 36 – Alterações no padrão espacial da medida de Acessibilidade. Diagrama de dispersão por vértice referente aos valores da rede urbana x ordem simbólica, coeficiente de correlação de Pearson: 0,531. Dados de Jersey City. 185

Figura 37 – Alterações no padrão espacial da medida de Acessibilidade. Diagrama de dispersão por vértice referente aos valores da rede urbana x ordem simbólica, coeficiente de correlação de Pearson: 0,647. Dados de Los Angeles..... 186

Figura 38 - Mapas da espacialização da medida Centralidade Freeman-Krafta nas redes referentes ao espaço físico urbano e ordem simbólica. Dados para Boston..... 196

Figura 39 - Mapas da espacialização da medida Centralidade Freeman-Krafta nas redes referentes ao espaço físico urbano e ordem simbólica. Dados para Jersey City. 197

Figura 40 - Mapas da espacialização da medida Centralidade Freeman-Krafta nas redes referentes ao espaço físico urbano e ordem simbólica. Dados para Los Angeles. 197

Figura 41 - Histogramas de freqüências, expressos em porcentagem, para a Profundidade Direcionada da rede em relação as unidades de informação. Dados para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles..... 200

Figura 42 - Padrão espacial da Profundidade Direcionada da rede com relação às unidades de informação em Boston.....	201
Figura 43 - Padrão espacial da Profundidade Direcionada da rede com relação às unidades de informação em Jersey City.....	201
Figura 44 - Padrão espacial da Profundidade Direcionada da rede com relação às unidades de informação em Los Angeles.....	202
Figura 45 - Dendograma e espacialização da melhor subdivisão em módulos para Boston. No mapa os vértices que representam as unidades de informação centrais de cada módulo foram destacados.	212
Figura 46 - Dendograma e espacialização da melhor subdivisão em módulos para Jersey City. No dendograma foram destacados os vértices pertencentes às duas regiões comentadas por Lynch (1960: 29) e os componentes responsáveis pela ligação entre ambas. No mapa os vértices que representam as unidades de informação centrais de cada módulo foram destacados.....	212
Figura 47 - Dendograma e espacialização da melhor subdivisão em módulos para Los Angeles. No mapa os vértices que representam as unidades de informação centrais de cada módulo foram destacados.	213
Figura 48 - Tipos de padrões de associação entre as unidades de informação na supra-estrutura cognitiva, onde x, y e z representam os cinco tipos diferentes de unidades de informação.	216
Figura 49 - Freqüência dos padrões de associação díades na supra-estrutura cognitiva definidas em porcentagem, onde: A - unidades de informação tipo área; B – unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares. Dados para as cidades de Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).	217
Figura 50 - Freqüência dos padrões de associação tríades fechados na supra-estrutura cognitiva definidas em porcentagem, onde: A - unidades de informação tipo área; B – unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares. Dados para as cidades de Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).	217
Figura 51 - Freqüência dos padrões de associação tríades abertos na supra-estrutura cognitiva definidas em porcentagem, onde: A - unidades de informação tipo área; B – unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares. Dados para as cidades de Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).	218
Figura 52 - Comparativo da participação, em porcentagem, dos diferentes tipos de unidades de informação na ordem simbólica. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).	228
Figura 53 - Supra-estrutura de Boston com o somatório de ciclos por vértice.	253
Figura 54 - Supra-estrutura de Jersey City com o somatório de ciclos por vértice.	253
Figura 55 - Supra-estrutura de Los Angeles com o somatório de ciclos por vértice.	254

Lista de Tabelas

Tabela 01 – Comparativo dos valores do Grau do Vértice entre o espaço físico e as hipóteses de representação da ordem simbólica.	146
Tabela 02 – Comparativo dos valores do Coeficiente de Agrupamento entre o espaço físico e as hipóteses de representação da ordem simbólica. Como valores de referência a medida foi computada para grafos k -regulares de diversos Graus e para redes aleatórias de mesma ordem.....	150
Tabela 03 – Comparativo dos valores do Coeficiente de Gini calculados para a distribuição do Coeficiente de Agrupamento com vizinhanças de um e dois passos topológicos para o espaço físico e as diferentes hipóteses de representação da ordem simbólica.	151
Tabela 04 – Intervalo de valores absolutos e normalizados para a Distância Média, Modo da Distância e Excentricidade dos vértices para o espaço físico e as hipóteses de representação da ordem simbólica. A média e o desvio padrão são referentes aos valores absolutos.	153
Tabela 05 – Comparativo das medidas globais da distância e dimensões dos grafos para o espaço físico e as hipóteses de representação da ordem simbólica. Como valores de referência, a ordem e o tamanho das redes e os valores do Caminho Mínimo Característico para redes aleatórias e para redes regulares em grelha de duas e três dimensões.	154
Tabela 06 – Quadro de reclassificação das unidades de informação.	168
Tabela 07 – Quadro descritivo das mudanças nas características da disponibilidade informacional na rede urbana com a ordem simbólica. Valores computados a partir do tamanho do grafo ($ EG $), ordem do grafo ($ VG $), Grau do Vértice (k), Coeficiente de Agrupamento (γ) e Eficiência Global (E_G). Dados para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles.	179
Tabela 08 – Quadro resumo da análise da compressão espacial descrita pelo Diâmetro (D), Raio (R) e Caminho Mínimo Característico (L). Dados para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles.	182
Tabela 09 – Quadro resumo da análise da acessibilidade cognitiva pelo padrão de distribuição estatístico das medidas de Excentricidade (E) e Acessibilidade (A). Dados para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles.	183
Tabela 10 – Quadro resumo das medidas que descrevem a forma topológica da rede: Grau do Vértice (k); Coeficiente de Agrupamento (γ); Caminho Mínimo Característico (L). Dados de Boston, Jersey City e Los Angeles.	188
Tabela 11 – Descrição da composição dos 10 vértices de maior Grau do Vértice (k) por tipo de unidade de informação nas cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles.	190
Tabela 12 – Quadro resumo do comportamento da medida normalizada de Centralidade por Informação (C_I) na rede urbana e na ordem simbólica. Onde o expoente α é o parâmetro escalar estimado das caudas das distribuições. Dados para Boston, Jersey City e Los Angeles.	192
Tabela 13 – Quadro resumo do comportamento das medidas normalizadas de Centralidade por Perpasso (C_P), Centralidade por Campo de Tensões (C_T) e Centralidade Freeman-Krafta (C_{FK}) na rede urbana e na ordem simbólica. Onde o expoente α é o parâmetro escalar estimado das caudas das distribuições. Dados para Boston, Jersey City e Los Angeles.	193

Tabela 14 - Padrão distributivo do Grau do Vértice na ordem simbólica e a Profundidade Direcionada da rede em relação às unidades de informação. Dados para Boston, Jersey City e Los Angeles. ... 199

Tabela 15 – Quadro resumo das características do grafo que descrevem o nível de fragmentação e fragilidade da supra-estrutura da ordem simbólica. Dados para Boston, Jersey City e Los Angeles. 206

Tabela 16 – Número de ciclos da rede com comprimentos de 3 a 9 dividido pelo número de vértices na supra-estrutura cognitiva, para Boston, Jersey City e Los Angeles. Gráfico do comparativo do padrão de frequências dos ciclos por comprimento, onde as frequências estão em escala logarítmica. Em verde Boston, em azul Jersey City e em laranja Los Angeles..... 207

Tabela 17 - Comparativo entre o Coeficiente de Agrupamento médio da supra-estrutura cognitiva e uma rede aleatória equivalente para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles. 209

Tabela 18 - Padrões de associação dominantes na supra-estrutura cognitiva comuns às três cidades estudadas. Onde: A - unidades de informação tipo área; B – unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares. 219

Tabela 19 - Gráficos de dispersão e as análises estatísticas da diferenciação entre unidades de informação para as medidas que descrevem a conectividade local na rede da ordem simbólica. Nos gráficos de dispersão estão salientados os intervalos interquartílicos para a medida Grau do Vértice e os mínimos, máximos, média e desvio padrão para as medidas Coeficiente de Agrupamento e Eficiência Local. Dados para o conjunto das cidades analisadas, onde: A - unidades de informação tipo área; B - unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares. 230

Tabela 20 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base na mediana do Grau do Vértice e média harmônica do Coeficiente de Agrupamento e Eficiência Local na rede da ordem simbólica. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde). 231

Tabela 21 - Análise da supra-estrutura cognitiva. Gráficos de dispersão com indicação da média harmônica e desvio padrão para o Grau do Vértice, Coeficiente de Agrupamento e Eficiência Local por tipo de unidade de informação. Dados para o conjunto de cidades analisadas..... 232

Tabela 22 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base na média do Grau do Vértice, Coeficiente de Agrupamento e Eficiência Local na rede da supra-estrutura cognitiva. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde). 234

Tabela 23 - Gráficos de dispersão com indicação da média, desvio padrão e valores extremos. Análise estatística da diferenciação entre unidades de informação para as medidas Excentricidade e Acessibilidade normalizadas na rede da ordem simbólica. Dados para o conjunto das três cidades analisadas, onde: A - unidades de informação tipo área; B - unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares. 236

Tabela 24 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base nas médias da Excentricidade e Acessibilidade normalizadas na rede da ordem simbólica. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde). 237

Tabela 25 - Análise da supra-estrutura cognitiva. Gráficos de dispersão com indicação da média, desvio padrão e valores extremos para as medidas Excentricidade e Acessibilidade normalizadas por tipo de unidade de informação. Dados para o conjunto de cidades analisadas..... 239

Tabela 26 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base nas médias da Excentricidade e Acessibilidade normalizadas na rede da supra-estrutura cognitiva. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde)..... 240

Tabela 27 - Gráficos de dispersão com intervalos interquartílicos e a análise estatística da diferenciação entre unidades de informação para as medidas Centralidade por Perpasse, Centralidade por Campo de Tensões e Centralidade Freeman-Krafta. Dados para o conjunto das cidades analisadas, onde: A - unidades de informação tipo área; B - unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares..... 241

Tabela 28 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base nas medianas da Centralidade por Perpasse, Centralidade por Campo de Tensões e Centralidade Freeman-Krafta normalizadas na rede da ordem simbólica. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde). 242

Tabela 29 - Análise da supra-estrutura cognitiva. Gráficos de dispersão com intervalos interquartílicos e a análise estatística da diferenciação entre unidades de informação para as medidas Centralidade por Perpasse, Centralidade por Campo de Tensões e Centralidade Freeman-Krafta. Dados para o conjunto das cidades analisadas, onde: A - unidades de informação tipo área; B - unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares. 243

Tabela 30 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base nas medianas das medidas Centralidade por Perpasse, Centralidade por Campo de Tensões e Centralidade Freeman-Krafta normalizadas na rede da supra-estrutura cognitiva. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde). 244

Tabela 31 - Gráfico de dispersão com intervalos interquartílicos e a análise estatística da diferenciação entre unidades de informação para a medida Centralidade por Informação. Dados para o conjunto das cidades analisadas, onde: A - unidades de informação tipo área; B - unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares. 246

Tabela 32 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base na mediana da Centralidade por Informação normalizada na rede da supra-estrutura cognitiva. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde). 247

Tabela 33 - Análise da supra-estrutura cognitiva. Gráfico de dispersão com intervalos interquartílicos e análise estatística da diferenciação entre unidades de informação para a medida Centralidade por Informação. Dados para o conjunto das cidades analisadas, onde: A - unidades de informação tipo área; B - unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares. 248

Tabela 34 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base na mediana da Centralidade por Informação normalizada na rede da supra-estrutura cognitiva. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde). 249

Tabela 35 - Gráficos das medianas do Número de Ciclos e a análise estatística da diferenciação entre as unidades de informação com base no Número de Ciclos de diferentes comprimentos. Dados para o conjunto das cidades analisadas, onde: A - unidades de informação tipo área; B - unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares. 251

Tabela 36 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base nas medianas do Número de Ciclos de diferentes comprimentos. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde). 252

Tabela 37- Análise estatística e gráficos de dispersão com a indicação das medianas do Grau do Vértice e médias do Coeficiente de Agrupamento e Eficiência Local para as relações relevantes com a frequência de citação. Dados para o conjunto das três cidades analisadas. 257

Lista de Equações

Equação 1 – Distribuição da probabilidade acumulada do Grau do Vértice.....	116
Equação 2 – Coeficiente de Agrupamento de um vértice.....	117
Equação 3 – Eficiência Local de um vértice.....	117
Equação 4 – Distância média de um vértice.....	119
Equação 5 – Acessibilidade de um vértice.....	120
Equação 6 – Acessibilidade normalizada.....	120
Equação 7 – Participação nos caminhos mínimos para a Centralidade por Perpasse.....	122
Equação 8 – Centralidade por Perpasse.....	123
Equação 9 – Centralidade por Perpasse normalizada.....	123
Equação 10 – Intensidade do campo de tensões num vértice.....	124
Equação 11 – Centralidade por Campo de Tensões.....	124
Equação 12 – Centralidade por Campo de Tensões normalizada.....	124
Equação 13 – Intensidade da tensão entre um par de vértices.....	125
Equação 14 – Participação nos caminhos mínimos para a Centralidade Freeman-Krafta.....	125
Equação 15 – Centralidade Freeman-Krafta.....	125
Equação 16 – Centralidade Freeman-Krafta normalizada.....	126
Equação 17 – Centralidade por Informação.....	128
Equação 18 – Centralidade por Informação normalizada.....	128
Equação 19 – Coeficiente de Agrupamento da rede.....	129
Equação 20 – Caminho Mínimo Característico.....	130
Equação 21 – Eficiência Global.....	131
Equação 22 – Coeficiente de Agrupamento médio para redes aleatórias.....	209
Equação 23 – Modularidade.....	211

1. INTRODUÇÃO

1.1 O problema teórico de pesquisa: a informação ambiental como componente urbano

1.1.1 O componente informativo

As cidades são compostas fisicamente por estoques construídos conectados por espaços e infra-estrutura, cuja finalidade funcional é dar suporte aos processos econômicos, sociais, culturais e ambientais. Na construção e reconstrução da cidade, os indivíduos, por meio de suas práticas sociais, acabam por depositar “mensagens” nos estoques edificados e espaços urbanos, revelando aspectos importantes das atividades e processos que ali ocorrem. Este procedimento, intencional ou não, facilita o próprio funcionamento do sistema urbano, possibilitando o acesso a informações sobre as atividades e as características sociais, econômicas e culturais relacionadas àquele ambiente específico. Baseado neste entendimento pode-se dizer que o sistema urbano depende de certos padrões de ocorrências físicas para desempenhar suas funcionalidades, mas, ao mesmo tempo, depende de padrões informacionais capazes de atender a quesitos sociais e simbólicos na comunicação de determinados conteúdos e significados socialmente relevantes. Assim, a cidade também é composta por um componente informativo.

O componente informativo é um dos resultados dos processos sócio-espaciais e, em grande medida, encontra-se expresso nos componentes físicos da cidade. Sendo, portanto, construído e permanentemente reconstruído por meio das micro-intervenções na estrutura física. Normalmente assume um caráter fragmentado e diacrônico, com resultados de macro escala dificilmente previstos nas intervenções individuais dos agentes urbanos.

Para que o componente informativo seja efetivo, ele depende de como a mente humana acessa e processa cognitivamente as informações disponíveis. Deste modo, podemos dizer que o componente informativo possui um caráter dual - está parcialmente determinado pelo ambiente urbano e parcialmente pela mente humana. O ambiente urbano é responsável pela veiculação das informações através das características observáveis da realidade tais como: as características das

edificações; a configuração morfológica e relacional do espaço; e o tipo e intensidade das atividades e presença social presentes. Por outro lado, a mente humana é responsável pelos processos perceptivos e cognitivos de apreensão e estruturação dessas informações, além da atribuição de significados às mesmas.

O caráter dual do componente informativo faz com que sua existência possa ser inferida a partir dos eventos no tempo e no espaço, mas não possa ser “vista” objetivamente neles. O componente informativo é um elemento “abstrato”, cuja existência pode ser deduzida através das interpretações feitas pelos indivíduos e suas conseqüentes ações. Enquanto a interpretação é dependente dos objetivos e do contexto histórico e cultural do indivíduo que interpreta, os padrões genéricos de informação¹ percebida não o são – estes estão no ambiente urbano em si e nas regras cognitivas de processamento da informação – que independem do indivíduo e de suas interpretações e motivações específicas.

Podemos dizer que o sistema urbano é dotado de propriedades informacionais intrínsecas, resultantes de seus componentes e de sua configuração espacial e morfológica. Estas propriedades geram e, de certo modo, coordenam as interpretações individuais aparentemente dispersas, convertendo esta coletividade de interpretações em algo que se assemelha a um sistema ordenado e significativo de macro-escala.

1.1.2 Imagem pública, ordem simbólica e unidades de informação

Ao longo das sucessivas interações com o ambiente os indivíduos “lêem” seu componente informativo e organizam as informações disponíveis, selecionando as informações potencialmente úteis para as interações futuras com o ambiente físico e social. A seleção e organização das informações ambientais pressupõe a identificação de porções discretas do sistema urbano, percebidas como algo compreensível e diferenciável do restante do sistema. Assim, quando são estabelecidas referências entre porções discretas do ambiente e algum tipo de significado, ambiente e significado se fundem naquilo que chamamos de unidades

¹ Chamamos de “padrão genérico de informação” à informação visual advinda da reflexão ou emissão de luz nos objetos e eventos do ambiente.

de informação². Este procedimento implica numa certa legibilidade das informações disponíveis e no enquadramento dessas dentro de uma concepção mais ampla, onde são anexadas outras informações por inferência.

O objetivo de formar estas unidades informacionais de mais alta ordem³ é o de melhorar a capacidade de memória e processamento das informações (Kintsch, 1970). Podemos colocar que o componente informativo do sistema urbano se manifesta nestas unidades de informação que, de alguma forma, expressam a convergência entre mente e ambiente.

As unidades de informações, ao serem consideradas relevantes para as interações com o meio, passam a ser incorporadas num arranjo estruturado de conhecimento, formando o que pode ser chamado de uma representação mental do ambiente. As representações mentais servem como um quadro de referência para as interações com o ambiente urbano (Kaplan e Kaplan, 1982 e 1989) e são postas como exercendo três funções básicas: a) simplificar o mundo, reduzindo as informações necessárias para agir nele; b) dar significado às coisas, tornando o ambiente compreensível, e; c) formar um arcabouço para a comunicação de grupo, permitindo a troca de informações entre indivíduos (Moore, 1984).

Muitas das unidades de informação incorporadas nas representações mentais são amplamente compartilhadas pelos indivíduos, definindo o que Lynch (1960; 7) denomina de imagem pública. As concordâncias nas escolhas das unidades de informação são consideradas como decorrentes de quatro aspectos: a) da interação com uma mesma realidade física ambiental; b) de uma natureza neurológica e psicológica básica; c) dos fatores de natureza social envolvidos na cognição ambiental⁴; d) e de uma cultura comum entre indivíduos (Lynch, 1960: 7; Vygostsky,

² O termo unidades de informação (*information units*) é amplamente empregado nas ciências cognitivas para designar conjuntos de informação estruturada, e aparece em Wilson e Keil (2001; 134).

³ O termo "mais alta ordem" é utilizado no sentido de elaborado, construído a partir de diversos componentes, ou seja, uma nova entidade formada pelo condensamento de diversas informações mais elementares num único "objeto" de conhecimento.

⁴ O termo cognição ambiental é referente ao processo de interação do indivíduo com o seu ambiente, englobando a experiência sensorial, a organização, processamento e estocagem das informações. O termo cognição, portanto, é adotado conforme aparece em Arnheim (1969) e Altman e Chemers (1989; 44) onde seu significado é estendido para incluir a percepção. O reconhecimento de que o termo cognição ambiental é mais correto que o termo usual "percepção ambiental" aparece em Downs e Stea (1973; 13-140 e Rapoport (1977; 31). Ambos trabalhos defendem que o termo percepção ambiental deve ser guardado para se referir apenas à experiência sensorial direta do ambiente.

1984; Purcell, 1986; Mark e Frank 1996; Donald, 1991; Tuan, 1980; entre outros). Desta forma, nem o indivíduo nem o ambiente determinam sozinhos o que é percebido – a estruturação dada à informação ambiental depende da interação entre ambos (Portugali, 1996).

O conjunto de unidades de informação que compõem a imagem pública de um dado ambiente urbano constitui a base de conhecimento comum, contida nas representações mentais individuais. De certa forma, este conjunto de unidades de informação pode ser visto como inerente e inseparável dos demais aspectos urbanos e, em assim sendo, passa a fazer parte do próprio sistema urbano.

Dentro desta premissa podemos dizer que estas unidades de informação interagem com os demais componentes do sistema urbano e - por meio das relações cognitivamente geradas - o re-organizam através do estabelecimento de novas associações entre seus componentes físicos. Definem, assim, uma estrutura relacional que cria hierarquias e interdependências anteriormente inexistentes. Portanto, as unidades de informação são capazes de definir uma estrutura configuracional para o sistema urbano distinto daquele ditado exclusivamente por seus componentes físicos.

É a este conjunto de relações que se estabelece no sistema urbano - a partir das interferências geradas pelas unidades de informação contidas na imagem pública - que chamamos de ordem simbólica.

A ordem simbólica pode ser definida sucintamente como uma propriedade do sistema urbano simultaneamente referente ao componente informativo e aos aspectos cognitivos envolvidos na estruturação das informações ambientais, sintetizando a convergência entre forma urbana e cognição. Apresenta, portanto, elementos localizados no espaço físico e elementos contidos na mente dos indivíduos. O conceito de ordem simbólica se distingue do conceito de imagem pública por considerar que os componentes físicos e mentais formam um único sistema, e que os mesmos são passíveis de serem representados e analisados de modo conjunto. A abordagem da ordem simbólica pressupõe o entrelaçamento das unidades de informação com a estrutura física da cidade. É, portanto, referente ao estado configuracional do sistema urbano cognitivamente estruturado.

A ordem simbólica é entendida como parte indissociável dos demais aspectos urbanos: dependente dos mesmos para sua formação e capaz de interferir nas características e no funcionamento geral do sistema. Este reconhecimento da causalidade mútua entre ambiente e mente comparece nos trabalhos da área cognitiva (veja Lynch, 1960; Barker, 1963; Ittelson *et al.* 1976; Kaplan e Kaplan, 1982) e suas análises interpretativas. Porém, o modo como a imagem pública é geralmente tratada faz pensar um *layer* semi-independente contendo uma síntese de "leitura cognitiva" da cidade.

No trabalho de Lynch (1960: 8) a imagem pública é posta como sendo passível de análise sob três aspectos:

a) sua identidade – referente às características que levam à identificação das unidades de informação enquanto identidades separáveis, individualizadas, distintas dentro do sistema urbano. Diz respeito às características do ambiente urbano que levam à individualização e destaque de um padrão de informação em detrimento de outros;

b) seu significado – toda unidade de informação possui um significado, que pode ser prático (servir para algum propósito dentro da interação entre o indivíduo e o meio ambiente) ou referencial (ser representativo de valores ou concepções social ou culturalmente importantes). Está centrado no entendimento do conteúdo semântico associado aos componentes da imagem pública;

c) sua estrutura – diz respeito ao sistema de relações estruturais ou espaciais que se estabelece entre os componentes físicos do sistema urbano e destes com o próprio observador.

Os dois primeiros aspectos são referentes ao conteúdo interpretativo ou significante da imagem pública, enquanto o terceiro diz respeito às suas características de configuração sintática.

De modo análogo pode-se colocar que a ordem simbólica também é passível de análise sob esses três aspectos. Mas, para tanto, é necessário redefinir o que vem a ser a questão da estrutura, já que a abordagem da ordem simbólica parte de premissas não contempladas no conceito de imagem pública.

Assim, para a ordem simbólica, o aspecto estrutural diz respeito ao sistema de relações que se estabelece entre os componentes físicos do sistema urbano e as

unidades de informação. Trata das características sintáticas e morfológicas que o sistema urbano adquire com essas relações. Aborda a descrição das interações entre os componentes físicos e cognitivos do sistema, assim como as propriedades associadas aos diversos componentes e as características globais do sistema urbano daí decorrentes.

Embora seja necessária cada uma das partes para definir plenamente a ordem simbólica, para fins de estudo, as mesmas são passíveis de investigação de forma independente. Esta possibilidade é interessante, pois permite um melhor entendimento de quais características são decorrentes das propriedades configuracionais do sistema e quais estão relacionadas com o conteúdo significativo.

1.1.3 Delimitação do problema teórico

A partir deste entendimento da relação entre cognição ambiental e sistema urbano, o problema de pesquisa a ser tratado no presente estudo refere-se, especificamente, à descrição da estrutura configuracional da ordem simbólica, buscando outros meios para entender o modo como a cognição ambiental organiza e estrutura o sistema urbano.

Disciplinarmente, a abordagem a ser adotada está inserida no campo da morfologia urbana, no qual as questões cognitivas são sempre remetidas a suas relações com a estrutura física da cidade. Encontra-se alocada no campo dos estudos configuracionais, interessado em investigar os aspectos estruturais das relações mantidas entre espaço urbano e cognição ambiental. Tem como foco central da investigação a definição das propriedades e características que o sistema urbano assume com a ordem simbólica.

Estudos configuracionais estão centrados nas interdependências existentes entre os componentes do sistema. Neste aspecto, a ordem simbólica tem como particularidade uma certa complexidade nas interdependências entre suas partes constituintes, o que gera uma estrutura relacional que não se encontra restrita às relações geográficas de adjacências e proximidade, normalmente abordadas nos estudos configuracionais urbanos. Na ordem simbólica, os elementos produzem efeitos que se propagam em dois planos: o espacial, através das adjacências entre os espaços públicos e; o a-espacial, através das relações cognitivamente criadas.

Abordar a questão da ordem simbólica pressupõe a aceitação de que o componente informativo e a cognição ambiental são partes integrantes de um mesmo fenómeno urbano. O reconhecimento de que mente e ambiente interagem num processo de causalidade cíclico não é novo (veja Barker, 1963; Ittelson *et al.* 1976; Rapoport 1977 e Ittelson, 1978). Porém, faltam abordagens que reconheçam que a causalidade cíclica implica tratar o assunto de forma integrada. A maior parte dos estudos está centrada num dos dois aspectos e utiliza o outro como complemento explicativo. A integração dos aspectos internos e externos envolvidos na cognição sugere a necessidade de mudanças metodológicas na abordagem do problema.

As implicações metodológicas associadas à temática abordada ficam mais evidentes quando se analisam os trabalhos que tratam da estrutura urbana oriunda da cognição ambiental. A questão estrutural é poucas vezes alvo de uma investigação efetiva, e os resultados nesta área são bastante insatisfatórios. Aparecem descrições sucintas das inter-relações espaciais entre os componentes empiricamente detectados (Lynch, 1960), observações sobre a forma que as representações mentais externalizadas assumem (Appleyard, 1970a) e tentativas de tratar a questão estatisticamente (Banai, 1999). Aqui, merece destaque a abordagem de Portugali (1996) que traça um novo enfoque teórico-metodológico, integrando os aspectos internos e externos da cognição ambiental, mas não avança no sentido de descrever as propriedades estruturais do sistema urbano daí decorrentes. As dificuldades encontradas em abordar os aspectos relativos à estrutura na cognição ambiental devem-se, em parte, a um descompasso teórico-metodológico.

Atualmente, os avanços nos estudos configuracionais - tanto na área urbana quanto em outras áreas do conhecimento - permitem que o assunto da cognição ambiental seja revisto dentro de uma outra abordagem. Numa abordagem configuracional os aspectos internos e externos da cognição são passíveis de representação de forma conjunta, e o enfoque pode ser direcionado para a descrição das propriedades globais do sistema urbano e no papel desempenhado por cada componente, em vez de se limitar a uma mera observação e descrição das externalidades capturáveis por meio de estudos empíricos.

Portanto, o tema aqui focado apresenta implicações metodológicas importantes, que necessitam ser explicitadas enquanto parte do problema de pesquisa.

1.2 O problema metodológico de pesquisa: a análise conjunta dos aspectos físicos e cognitivos do sistema urbano

A descrição da estrutura configuracional da ordem simbólica requer um enfoque metodológico adequado, capaz de lidar com as dificuldades impostas pelo tema e de atender aos entendimentos teóricos anteriormente expostos. Para enfrentar estas questões um caminho possível é o de reproduzir a cidade e a ordem simbólica artificialmente, construindo um modelo virtual que permita a simulação e análise controlada do objeto de interesse.

Assim, a natureza dos fenômenos a serem analisados: a) leva à adoção de um enfoque sistêmico, adequado para uma abordagem simultânea dos componentes e das relações entre estes; b) induz ao uso de modelos de simulação que permitem o isolamento das variáveis de interesse e facilitam o tratamento dos aspectos físicos e abstratos de modo conjunto; c) necessita de técnicas de análise capazes de descrever as características estruturais do sistema, como aquelas aplicadas nos estudos de redes.

1.2.1 A adoção do enfoque sistêmico

A utilização de uma abordagem sistêmica aparece como uma decorrência da natureza dos processos envolvidos na ordem simbólica, onde os elementos componentes e suas interações são de fundamental importância para a compreensão dos padrões de estruturação observados. Numa abordagem sistêmica, os fatores principais a serem evidenciados são justamente os elementos, as interações ou relações entre esses e o próprio sistema como uma totalidade (Echenique, 1975; 13). O enfoque sistêmico apresenta especial vantagem para se lidar com problemas demasiadamente vastos em termos de elementos componentes e repletos de inúmeras possibilidades, impossíveis de serem tratados de forma adequada sem instrumentos auxiliares de análise. Nestes casos, a adoção de uma abordagem sistêmica facilita o uso de ferramentas de representação e simulação da

realidade, o que constitui um instrumento auxiliar útil para testar hipóteses que dificilmente poderiam ser abordadas de outra forma.

A transformação da realidade numa abstração é inerente a uma abordagem sistêmica onde são representados seus elementos e as relações entre eles. Este tipo de abordagem facilita o tratamento de questões complexas e permite direcionar o foco para o recorte da realidade a ser evidenciado. A investigação num plano abstrato traz a vantagem de poder isolar certas propriedades para a análise, pois, como observa Von Thünen:

“Na vida real nós temos apenas uma vaga idéia do efeito e influência de qualquer variável porque a mesma sempre aparece em conflito com outras variáveis que operam ao mesmo tempo.”

(citado em Nystuen, 1968; 36)

Estudar uma problemática dentro de uma formulação abstrata tem muitas vantagens, as principais são a simplicidade e a clareza (Nystuen, 1968). As propriedades do objeto de estudo podem ser restritas a um mínimo, definido de forma a permitir apenas o surgimento de associações simples.

Esta possibilidade é fundamental no estudo da ordem simbólica onde são muitos os fatores intervenientes. Além disso, é difícil saber em que medida as características observadas são advindas de seu conteúdo significante ou são originadas por seus aspectos exclusivamente configuracionais. Sem o uso de uma representação abstrata, onde as variáveis pertinentes podem ser isoladas, as explicações sobre o papel de cada fator podem apenas ser deduzidas.

A averiguação das possíveis relações e interações responsáveis pelos fatos observados no mundo faz parte da investigação científica e pode ser realizada seguindo diferentes princípios. A modelagem é uma das ferramentas que pode auxiliar na compreensão das interações existentes nos fenômenos observados.

1.2.2 O uso de modelos de representação da realidade

O uso da modelagem e simulação é uma maneira de administrar uma pesquisa científica, paralela às tradicionais indução e dedução (Axelrod, 1997). A modelagem urbana, conforme Batty (1976; 2-4), trabalha de modo compatível com os procedimentos usuais da metodologia científica, incorporando etapas como:

lançamento de hipóteses, observação, experimento e aprimoramento das hipóteses. O uso da modelagem e simulação é considerado por Batty (*ibid.*) como um método adequado quando não temos conhecimento pleno do sistema analisado. Isto torna tal ferramenta de grande interesse para campos disciplinares repletos de hipóteses imprecisas ou carentes de comprovação, como os abordados aqui: ambiente urbano e cognição ambiental. Tanto para Batty (*ibid.*) quanto para Torrens (2001; 14) existe a necessidade de se “construir” as cidades a partir de suas unidades básicas e, desta forma, através da análise e do experimento, aprender algo sobre como elas funcionam.

Um modelo é uma representação da realidade, no qual a representação se faz através da expressão de certas características relevantes da realidade observada. Estas características devem ser suficientes para prover um quadro simplificado e compreensível, de modo a ajudar no entendimento do sistema representado (Echenique, 1972). A modelagem, enquanto ferramenta de conhecimento, serve para auxiliar na organização e integração dos retalhos de conhecimento empírico existentes, ajudando a clarificar o significado do que é conhecido, enfocando as diferentes possibilidades de relações e interações por detrás dos fatos (Coclelis, 1986). Em nenhum momento o exercício de simulação através da modelagem pretende recriar isomorficamente os processos simulados. O objetivo é se chegar, por meio de um conjunto de regras devidamente explicitadas, ao mesmo resultado dos processos reais, criando assim, *insights* sobre os fatores e processos envolvidos.

O uso da modelagem para representar a ordem simbólica torna factível a análise conjunta dos componentes físicos do sistema urbano e dos componentes abstratos resultantes dos processos cognitivos.

O tipo de modelo a ser empregado neste trabalho é um modelo de estado, ou seja, permite a descrição do comportamento observado num determinado momento, não sendo enfocados os processos que geram as mudanças no sistema ao longo do tempo. É um modelo descritivo, no sentido de que o mesmo está voltado para a averiguação das características presentes nos fatos representados, de modo a permitir uma descrição precisa dos mesmos. Também é o que se chama de um modelo conceitual matemático, caracterizado pela representação dos elementos

através de conceitos ou símbolos e onde as relações se expressam por meio de operações matemáticas.

1.2.3 Modelos baseados em grafos e técnicas de análise de redes

A modelagem baseada em grafos é um procedimento estabelecido nos estudos urbanos, principalmente naqueles referentes à sua estrutura configuracional e morfológica (veja Krüger, 1979; Hillier e Hanson, 1984, entre muitos outros).

Um grafo é uma entidade matemática constituída de vértices, que representam os elementos do sistema, e de arestas que conectam estes vértices, representando as relações (físicas ou abstratas) entre os elementos. Assim, a representação do sistema urbano através de um grafo permite que as características do sistema e de seus componentes sejam descritas tão somente através das condições de conectividade interna.

Modelos baseados em grafos parecem ser adequados para caracterizar as propriedades estruturais e configuracionais da ordem simbólica devido às características que os mesmos apresentam. A representação por grafos possibilita a incorporação de componentes de naturezas distintas - como os aspectos cognitivos e ambientais - dentro de uma mesma formulação. Característica, esta, fundamental para se abordar a ordem simbólica. Outra vantagem é a natureza não necessariamente espacial deste tipo de modelo. Grafos permitem uma representação abstrata, livre dos condicionantes geográficos inerentes aos mapeamentos convencionais e são reconhecidamente adequados para avaliar sistemas onde existem influências próximas e remotas entre os componentes. Esta propriedade é fundamental para a análise de sistemas que possuem componentes e/ou relações a-espaciais, como no caso da ordem simbólica.

Os estudos urbanos que utilizam modelos baseados em grafos normalmente estão voltados para a descrição e caracterização dos componentes do sistema e, muitas vezes, a estrutura configuracional em si é descrita pelas características destes componentes. Descrições do comportamento global do sistema são, em geral, dadas pelos valores médios das medidas empregadas na descrição dos componentes. Embora as características individuais dos componentes sejam decorrentes da estrutura global do sistema, as características globais que um

sistema apresenta não se limitam àquilo que pode ser dito com base exclusivamente no comportamento observado para suas partes constituintes. Na área urbana são poucos os estudos voltados para a definição das implicações do comportamento geral detectado para o funcionamento do sistema. As deficiências na descrição e caracterização das propriedades globais do sistema são uma limitação dos procedimentos tradicionais associados à modelagem com grafos nos estudos urbanos.

Por outro lado, os estudos de redes - voltados para a descrição, caracterização e explicitação das propriedades estruturais de um sistema - contam com uma significativa quantidade de ferramentas analíticas e matemáticas para atingir esses objetivos. Os estudos de redes também vêm formulando uma base teórica de referência capaz de auxiliar no entendimento da funcionalidade tanto dos componentes, quanto do sistema como um todo. Os esforços desta área para entender o funcionamento de sistemas distintos levou à elaboração de diversos modelos teóricos: redes aleatórias (Solomonoff e Rapoport; 1951 e Erdős e Rényi; 1960); modelo *Small-Worlds* (Watts e Strogatz, 1998); modelo *Scale-Free* (Barabási e Albert, 1999), entre outros. A análise destes modelos tem levado à constatação de que as características da forma topológica da rede estão relacionadas com muitas das propriedades globais que um sistema apresenta. E estas, por sua vez, interferem no funcionamento e dinâmica geral do sistema.

Nos últimos anos, tem-se observado a incorporação das técnicas de análise de redes nos procedimentos de análise e descrição dos sistemas urbanos, possibilitando avanços no sentido de descrever as propriedades globais destes sistemas (veja Carvalho e Penn, 2004; Jiang e Claramunt, 2004; Cardillo *et al.* 2006; Crucitti *et al.* 2006; Jiang, 2007; Wagner, 2008, entre outros). Com isto têm surgido importantes contribuições no sentido de se compreender as características funcionais do sistema urbano. Para o estudo da ordem simbólica o aporte advindo dos estudos de redes também parece promissor, já que muitas das propriedades descritas para as representações mentais encontram um paralelo nas características expressas em alguns dos modelos teóricos de redes.

Assim, a metodologia adotada está explicitamente voltada para a investigação do problema num plano abstrato, utilizando modelagem urbana e análise de comportamento de redes. O modelo adotado é um modelo baseado em grafos, onde

as características do sistema e de seus componentes são descritas tão somente através das condições de conectividade interna do sistema - nenhum outro atributo é imputado aos seus componentes. Complementarmente, são utilizadas ferramentas auxiliares de análise, tais como métodos estatísticos de avaliação de padrões de distribuição e heterogeneidade - característicos das análises de redes. Estes métodos possibilitam uma descrição das características globais apresentadas pela estrutura da ordem simbólica e das propriedades de seus componentes.

1.2.4 Delimitação do problema metodológico

Do ponto de vista metodológico os problemas centrais a serem enfrentados são o de se trabalhar simultaneamente com os aspectos físicos e cognitivos envolvidos na ordem simbólica, isolar os atributos configuracionais dos semânticos, bem como descrever objetivamente as propriedades globais do sistema. Para enfrentar essas questões é proposto o uso de um modelo baseado em grafos e técnicas de análise de redes.

O enfoque metodológico adotado visa atender aos problemas teóricos de pesquisa anteriormente expostos, e implica na inclusão das seguintes questões no problema geral de pesquisa: a) a definição e seleção dos componentes e relações presentes na ordem simbólica de modo restrito àquilo que é pertinente para o tema abordado; b) a construção de um instrumento de representação e análise do sistema; c) a escolha de um conjunto de medidas capazes de descrever os componentes e o comportamento geral do sistema; d) a adaptação dos procedimentos de análise disponíveis na literatura para o caso específico da ordem simbólica.

1.3 Definição do objeto de estudo

O presente trabalho se propõe a abordar a questão da estrutura configuracional da ordem simbólica, criando os procedimentos para a sua representação e análise, na busca de formas de explicitar e descrever sua estrutura.

Para tanto o trabalho se apóia nos conceitos e procedimentos da área dos grafos e análises de rede e utiliza a cognição ambiental enquanto base teórica de

caráter mais geral, que serve de referência para a construção do modelo e posterior avaliação dos resultados obtidos por simulação.

Tratando-se de uma temática não estabelecida na literatura, nos parece oportuno um estudo exploratório, voltado para a experimentação e definição de procedimentos metodológicos, levantamento de possibilidades explicativas e identificação de pontos promissores para um aprofundamento futuro.

De forma condizente com um estudo exploratório, e de modo a simplificar a abordagem, optou-se por simplificar a realidade sob dois aspectos: sua dinâmica e seus atributos. A ordem simbólica é um sistema dinâmico cujos componentes estão em permanente transformação. Componentes são adicionados e outros removidos ou transformados ao longo do tempo, definindo uma rede cuja estrutura configuracional depende, em grande medida, da própria evolução do sistema. Embora se reconheça esta dinâmica e sua importância para a compreensão plena da estrutura da ordem simbólica, neste trabalho, optou-se por tratar a estrutura da rede como estática, limitando-nos a analisar seu estado num dado momento de sua evolução. Também os parâmetros descritivos do sistema foram reduzidos a um mínimo - todas as referências às variáveis semânticas são eliminadas do estudo. O sistema representado é reduzido aos seus elementos fundamentais e as relações mantidas entre estes. Nenhum atributo que descreva os elementos é incorporado na representação, tampouco as relações encontram-se descritas em seus aspectos geográficos ou de intensidade. Assim, a análise mantém seu foco voltado para os aspectos configuracionais da ordem simbólica.

Esta escolha traz como conseqüência a colocação do objeto de estudo num plano abstrato, de extrema simplificação da realidade. O reducionismo a ser empregado por um lado limita o poder explicativo das análises realizadas, já que muitos fatores que potencialmente contribuem para as características da ordem simbólica não estão sendo incluídos. Todavia, a simplificação introduzida garante um recorte preciso - isolando os aspectos configuracionais de qualquer interferência advinda do conteúdo significante, pondo em evidência a natureza e funcionalidade da estrutura presente na ordem simbólica.

Dentro dessas premissas, as perguntas principais às quais o trabalho buscará responder são:

- Como a cidade é alterada em sua estrutura através da cognição ambiental?
- Quais são as características configuracionais da ordem simbólica?

Levanta-se como hipótese para o primeiro questionamento que:

A estrutura urbana é alterada em suas características estruturais através do efeito agregado das diversas unidades de informação, e estas unidades de informação aparecem dentro de determinadas conformações, distribuições e quantidades de modo a facilitar a apreensão global do sistema.

Para o segundo problema levantado surge como hipótese que:

As propriedades estruturais que o sistema urbano adquire com a ordem simbólica são distintas daquelas expressas pela configuração de seus espaços públicos e, muito provavelmente, se assemelham àquelas apresentadas por um sistema com a propriedade small-worlds.

E, complementarmente:

Muitas das propriedades estruturais da ordem simbólica devem, de algum modo, estar relacionadas com as características qualitativas que esta ordem simbólica apresenta.

A verificação das hipóteses colocadas acima requer a possibilidade de realizar a comparação entre a estrutura configuracional do espaço urbano e a estrutura configuracional da ordem simbólica. Com base nas particularidades da temática abordada - necessidade de trabalhar simultaneamente com os aspectos físicos e cognitivos envolvidos na ordem simbólica, assim como isolar os aspectos sintáticos dos semânticos - o presente trabalho propõe o uso de modelagem e técnicas de análise de redes para a descrição de ambas as estruturas. A descrição matemática permite uma comparação objetiva entre as características do ambiente urbano e da ordem simbólica. Tais procedimentos tornam factível o atendimento às questões levantadas, permitem a simulação e análise das inter-relações entre os componentes do sistema e garantem meios para caracterizar sua estrutura global.

Esta última questão é necessária para verificar as relações entre estrutura configuracional e características qualitativas do sistema.

O enfoque adotado para responder às primeiras perguntas levantadas nos leva a outras duas perguntas, mais relacionadas como os aspectos metodológicos da pesquisa:

- Como representar a cidade e a ordem simbólica?
- Como descrever as características estruturais de cada uma?

A representação da estrutura urbana num modelo baseado em grafos é assunto amplamente discutido na literatura, aparecendo diversas proposições quanto ao modo de realizar esta representação (veja Hillier e Hanson, 1984; Dalton *et al.* 2003; Batty, 2004; Figueiredo e Amorim, 2005; Porta *et al.* 2006; Porta *et al.* 2006a, entre outros). Para a escolha do modo de representar a estrutura urbana o que é requerido neste estudo é uma compatibilização entre as unidades espaciais e a cognição ambiental, garantindo uma base comum entre os elementos que definem a ordem simbólica.

Os aspectos cognitivos, por outro lado, são temática nova nos modelos baseados em grafos. Na literatura revisada não foram encontrados exemplos de modelagem com grafos que fossem adaptáveis ao estudo da ordem simbólica. A representação da ordem simbólica consiste, portanto, num desafio para a realização do trabalho.

Deste modo, podemos colocar como hipótese para a primeira questão metodológica que:

*Cidade e ordem simbólica permitem a representação por grafos.
A ordem simbólica pode ser pensada como uma rede cujos componentes são os espaços físicos urbanos e as unidades de informação, e cujas inter-relações entre componentes são tanto físicas quanto cognitivas.*

A forma que a representação da ordem simbólica assume dentro do modelo depende de um estudo inicial, voltado para a experimentação das diferentes possibilidades de representar as unidades de informação. Tal estudo faz parte dos

procedimentos iniciais da pesquisa e usa como suporte os entendimentos da cognição ambiental urbana e *insights* advindos dos estudos de redes.

A segunda questão de caráter metodológico remete à seguinte hipótese:

A descrição das características estruturais pode ser feita através da aplicação de medidas advindas da teoria dos grafos e da análise de redes que descrevem tanto o comportamento geral do sistema, quanto o desempenho individual de seus componentes.

A verificação desta hipótese pressupõe a escolha e/ou elaboração de medidas capazes de descrever as características estruturais do sistema, voltadas para a verificação de diferentes aspectos da estrutura configuracional. Também remete à necessidade de utilizar ferramentas descritivas capazes de avaliar as características locais e globais da ordem simbólica, descrevendo a rede como um todo e suas partes componentes.

A descrição da rede por suas partes componentes possibilita a verificação de duas hipóteses complementares:

As diferentes unidades de informação provavelmente apresentam diferenciações configuracionais que refletem as diferentes funcionalidades que as mesmas desempenham na ordem simbólica.

Algumas das características configuracionais relacionadas com as unidades de informação podem estar influenciando a frequência com que as mesmas são lembradas/citadas pelos indivíduos.

Complementarmente, é necessário que exista alguma possibilidade de analisar a pertinência dos aspectos avaliados para a descrição da ordem simbólica. O que nos leva a esboçar uma última hipótese:

Os mapeamentos e análises estatísticas de medidas pertinentes na descrição das interações entre componentes são capazes de oferecer uma noção de como a cognição ambiental consegue transformar o tecido urbano num todo coerente e compreensível, facilitando as ações cotidianas dos indivíduos no espaço urbano.

Esta última hipótese implica em remeter os resultados das análises realizadas aos entendimentos da área da cognição ambiental urbana. Também pressupõe que existam correlações entre as características configuracionais da ordem simbólica e os aspectos cognitivos envolvidos em sua formação.

Por fim, os estudos que utilizam modelagem e simulação computacional trazem consigo um questionamento final:

- Como validar as assertivas levantadas ao longo do trabalho?

O presente trabalho utiliza como critérios de validação a comparação dos resultados obtidos a partir do modelo de simulação com:

- a) as teorias da cognição ambiental - de modo a verificar a capacidade do modelo em simular as características associadas às representações mentais;
- b) os estudos empíricos de definição da imagem pública - de modo a conferir o nível de concordância do modelo e das medidas na replicação das características qualitativas reportadas para os estudos de caso.

Os processos de validação, tanto do modelo quanto das medidas usadas na descrição das características configuracionais da ordem simbólica, acarretam na necessidade de se utilizar mais de um estudo de caso como base empírica da investigação. Optou-se por aplicar o estudo empírico em resultados de pesquisas anteriores de definição da imagem pública por dois motivos: adequar a pesquisa ao tempo disponível; e garantir que a descrição qualitativa das imagens públicas de referência seguissem um juízo de valores independente. Assim, o trabalho se utiliza de três estudos de caso, similares em área, funcionalidade urbana e realizados por um mesmo pesquisador, a saber: as imagens públicas definidas para as áreas centrais das três cidades abordadas por Lynch em seu livro "A imagem da cidade" - Boston, Jersey City e Los Angeles.

A investigação aqui desenvolvida, com base no anteriormente exposto, assume como objetivo principal:

- Descrever as características configuracionais presentes na ordem simbólica.

A partir deste objetivo principal e do problema de pesquisa desdobram-se os seguintes objetivos secundários:

- Construir um modelo de simulação que permita a análise da estrutura configuracional presente na ordem simbólica e sua comparação com a estrutura urbana;
- Definir a forma de representação da ordem simbólica no modelo, contemplando tanto os componentes físicos quanto os cognitivos;
- Selecionar e testar medidas capazes de descrever e comparar as propriedades configuracionais da ordem simbólica e estrutura urbana;
- Descrever as propriedades estruturais do sistema urbano e da ordem simbólica;
- Delinear possíveis relações entre as propriedades configuracionais da ordem simbólica e as características qualitativas associadas à imagem pública de referência;
- Verificar a presença de características configuracionais específicas associadas a tipos particulares de unidades de informação;
- Construir entendimentos teóricos sobre a ordem simbólica e sua capacidade de transformar a estrutura percebida do espaço urbano.

Assim, os esforços teóricos e metodológicos se concentram na busca de uma fundamentação para representar a ordem simbólica, conceber um instrumento de simulação e definir formas de medir e descrever sua estrutura configuracional. O trabalho empírico trata de experimentá-los num ambiente concreto e com possibilidades de confrontação com a realidade observada nos trabalhos empíricos tradicionais.

1.4 Contribuição e justificativas do estudo

Embora pareça evidente reconhecer a existência de um componente informativo na forma urbana, a estrutura e as características que a cidade adquire com a cognição ambiental não são nem evidentes nem constituem temática estabelecida nos estudos urbanos. Deste modo, o trabalho se justifica na medida em que pretende dar contribuições que podem repercutir em ambas as áreas tangenciadas pelo tema da ordem simbólica: a cognição ambiental e os estudos configuracionais urbanos.

Na área da cognição ambiental os trabalhos tradicionais têm se voltado principalmente para duas questões: procurar definir as características do ambiente urbano que interferem na cognição ambiental; e buscar um entendimento de como o

ambiente é percebido pelos indivíduos e quais características destes últimos interferem na percepção. O trabalho aqui realizado visa colaborar com estes esforços no sentido de buscar um entendimento sobre as características estruturais que o conhecimento ambiental imprime no sistema urbano.

Assim, para esta área do conhecimento, a presente investigação pretende contribuir, buscando:

- a) identificar as características estruturais da ordem simbólica que podem estar relacionadas com a legibilidade do espaço urbano e uma imagem pública eficiente;
- b) captar o modo como a cognição ambiental transforma o tecido urbano em um todo compreensível, facilitando as interações cotidianas dos agentes urbanos;
- c) compreender com mais profundidade o papel desempenhado pelos diferentes tipos de unidades de informação presentes na ordem simbólica.

Em geral os trabalhos empíricos tradicionais da área cognitiva apresentam dificuldades em tratar destas questões devido aos múltiplos fatores intervenientes, tornando-se difícil saber em que medida as características observadas são advindas do conteúdo significativo ou são originadas pelos aspectos exclusivamente configuracionais. A abordagem metodológica aqui utilizada, similarmente a outros trabalhos da área configuracional, permite isolar as características configuracionais dos demais atributos presentes no sistema. Com isso possibilita outra forma de descrever as estruturas de conhecimento ambiental, contribuindo com um novo enfoque para este aspecto da cognição ambiental, atualmente carente de resultados satisfatórios. Assim, o “reducionismo” aplicado neste trabalho busca complementar as abordagens tradicionais, mais “holísticas” que, por incorporam conjuntamente os aspectos de significado e estrutura, acabam por dificultar a delimitação dos papéis desempenhados por cada um.

Na área dos estudos configuracionais, aparecem alguns trabalhos que levantam relações entre as características configuracionais do espaço urbano e determinados aspectos da cognição ambiental. No entanto, a maior parte das análises ficam restritas a uma avaliação da correlação entre as medidas que descrevem os componentes do sistema e a intensidade e/ou ocorrência de comportamentos associados aos aspectos cognitivos. Embora nos últimos anos tenham aparecido alguns trabalhos voltados para a descrição configuracional de

mapas mentais, faltam abordagens que busquem entender como a cidade é alterada em sua estrutura com a cognição ambiental. O presente trabalho pretende contribuir para esta área:

- a) com um novo modo de incorporar as questões cognitivas nos modelos de análise urbana;
- b) explorando as propriedades que o sistema urbano adquire ao ser cognitivamente estruturado;
- c) descrevendo o modo como a ordem simbólica re-organiza a estrutura urbana, contribuindo para o entendimento das mudanças qualitativas e distributivas sofridas pela estrutura morfológica neste processo.

Acredita-se que o mapeamento das interações entre os componentes do sistema pode oferecer alguns *insights* em como a estrutura presente no conhecimento ambiental consegue influenciar o modo como os indivíduos interagem com a cidade e, conseqüentemente, interferem em sua funcionalidade.

Deste modo, a temática abordada e o recorte direcionado para a análise configuracional se justificam por trazerem novas possibilidades descritivas a questão da cognição ambiental urbana. Também se justificam pela importância que a descrição e caracterização da estrutura configuracional da ordem simbólica representa para os estudos urbanos, já que a cognição ambiental afeta a funcionalidade do próprio sistema urbano. Entendendo a estrutura da ordem simbólica podemos aprender mais sobre o funcionamento das cidades.

Por fim cabe ressaltar que o caráter inovador e exploratório deste trabalho faz com que todas estas contribuições sejam muito mais no sentido de delineamento de novas hipóteses explicativas do que em respostas não controversas.

1.5 Estrutura do trabalho

A estrutura do corpo principal do trabalho está dividida em duas partes: uma primeira voltada para a fundamentação teórica e definições necessárias para a elaboração do modelo de simulação; e uma segunda referente ao estudo empírico propriamente dito. Por fim são apresentadas as conclusões e a bibliografia citada. A divisão em capítulos resume-se como segue:

- **Capítulo 1** - Introdução

- **PARTE I - Fundamentação teórica**

- **Capítulo 2** - Teoria dos grafos e análise de redes

Traz conceitos e definições de termos da teoria dos grafos. Define concepções e propriedades gerais associadas a redes e faz uma revisão dos principais modelos. São abordadas de modo especial as redes espaciais, seus conceitos e implicações, as diferentes formas de representação do sistema urbano e, por fim, os procedimentos e medidas usadas tradicionalmente na descrição de redes urbanas.

- **Capítulo 3** - Cognição ambiental e ordem simbólica

Apresenta uma revisão teórica sucinta dos principais conceitos da cognição ambiental pertinentes ao estudo da ordem simbólica. Discute abordagens anteriores onde a cognição ambiental é tratada com técnicas de modelagem e outras onde cognição e ambiente são vistos como parte de um mesmo sistema.

- **PARTE II - A construção do modelo de simulação**

- **Capítulo 4** - Medidas de descrição da rede

Se concentra em apresentar as diversas medidas aplicadas no modelo de simulação.

- **Capítulo 5** - A ordem simbólica como um grafo

Desenvolve o estudo inicial de verificação das diversas possibilidades de representar a ordem simbólica como um grafo. Define os componentes do sistema e formula as hipóteses com base nas teorias cognitivas e nos resultados de trabalhos empíricos que abordam a questão das representações mentais. Analisa as potencialidades e restrições apresentadas pelas simulações das diversas hipóteses. Faz uma análise comparativa e seleciona a assertiva considerada mais adequada.

- **PARTE III - Estudos empíricos**

- **Capítulo 6** - Estudo de caso

Apresentação dos trabalhos empíricos de referência. Descrição das cidades e das características gerais de suas imagens públicas. Definição dos componentes a serem representados na ordem simbólica. Explicitação dos procedimentos adotados na construção dos sistemas representados.

- **Capítulo 7** - As qualidades configuracionais da ordem simbólica

Descreve as transformações que ocorrem na estrutura configuracional do espaço urbano com a cognição ambiental. Define as características configuracionais da ordem simbólica e da estrutura cognitiva que a origina. Analisa as subestruturas presentes na ordem simbólica. Traz uma análise das implicações para a cognição ambiental.

- **Capítulo 8** - As características configuracionais das unidades de informação

Delineia o modo como cada tipo de unidade de informação se comporta na ordem simbólica. Define suas características específicas e as relações com a frequência com que as unidades de informação são citadas. Avalia as implicações funcionais das características observadas e faz algumas observações sobre os desdobramentos para a cognição ambiental.

- **Capítulo 9** - Conclusões e considerações finais

- **Bibliografia**

- **Anexos** - CD com o *software* Morphometrics

PARTE I - Fundamentação teórica

2. TEORIA DOS GRAFOS E ANÁLISE DE REDES

2.1 Teoria dos grafos

A teoria dos grafos faz parte da área da combinatória na matemática e trata do estudo das relações entre elementos de conjuntos discretos. Um grafo G é definido matematicamente como uma estrutura, ou par ordenado, de conjuntos disjuntos V e E , de tal forma que V seja um conjunto discreto de elementos v denominados vértices, e E seja uma família cujos elementos e são definidos em função dos elementos v de V . Uma família E pode ser entendida como um conjunto de relações de adjacência ou relações binárias entre pares de v , e seus elementos são chamados, em geral, de ligações.

Estas ligações podem estar definidas por pares ordenados de v , isto é, as ligações são dirigidas de forma específica de um vértice para outro. Neste caso o grafo é dito direcionado e, quando não existem relações simétricas entre vértices, é chamado de grafo orientado. Quando as ligações representam relações não-ordenadas, ou sem um direcionamento, o grafo é dito não-direcionado. Para distinguir um tipo de ligação da outra, adotaremos a nomenclatura utilizada por Boaventura Netto (2003), que denomina as ligações de “arestas” para as estruturas não-direcionadas e de “arcos” para as direcionadas.

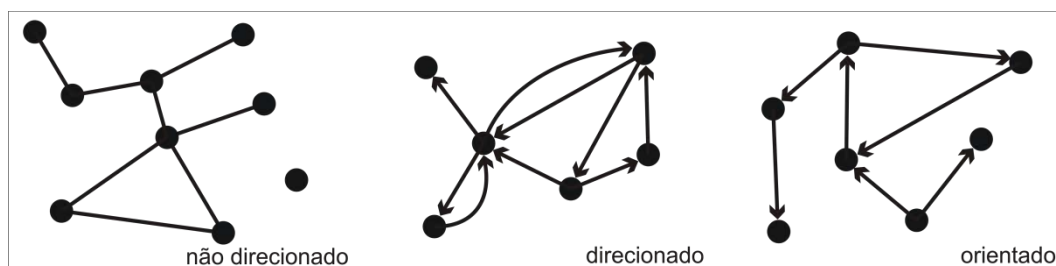


Figura 01 – Diagramas representando exemplos de grafos não-direcionados, direcionados e orientados. Os vértices são representados por pontos e as ligações por linhas ou setas.

A teoria dos grafos possui inúmeras possibilidades de aplicação e ramificações que fazem com que o arsenal de recursos teóricos seja bastante amplo e diversificado. Os estudos aplicados, em geral, se caracterizam pelo uso de um conjunto restrito e bastante específico dos recursos disponíveis. O trabalho a ser desenvolvido aqui não é diferente. Apresenta-se a seguir os conceitos gerais da

teoria dos grafos que auxiliam e servem de base para o entendimento do estudo em questão. Trata-se de conceitos voltados para a análise dos aspectos topológicos do sistema e aplicáveis a grafos não-direcionados e não-valorados. Conforme será explicitado no capítulo 5, para a máxima simplificação do objeto de estudo, as relações entre elementos tanto do espaço físico urbano, quanto da ordem simbólica serão consideradas como não-direcionadas e não-valoradas.

De modo a evitar redundâncias no trabalho e, ao mesmo tempo, privilegiar a compreensão dos procedimentos utilizados no desenvolvimento da análise configuracional da ordem simbólica, os conceitos diretamente relacionados às medidas utilizadas não serão abordados aqui. Nestes casos os mesmos vêm expressos diretamente na descrição das medidas e/ou procedimentos apresentados nos capítulos 4, 7 e 8 deste trabalho.

As definições a seguir encontram-se organizadas por tópicos gerais, mas assumem um caráter fragmentado, quase como um glossário de termos e conceitos. As mesmas são advindas da revisão dos trabalhos de Harary (1969), Mayeda (1972), Gibbons (1985), Gould (1988), Ballobás (1998) e Boaventura Netto (2003). Nos próximos itens, referentes às definições na área dos grafos, por uma questão de precisão será usado o termo genérico “ligações” para as definições que também são aplicáveis a grafos direcionados e o termo “arestas” para as restritas a grafos não-direcionados.

2.1.1 Vértices e vizinhança

Definições:

O grau do vértice é determinado pelo número de ligações que incidem no mesmo, isto é, o número de conexões que este possui.

Um vértice pendente é um vértice com grau igual a 1.

Um vértice isolado é um vértice com grau nulo.

Um vizinho, ou vértice adjacente de i , é todo vértice que participa de uma ligação com i .

A vizinhança de um vértice i é composta pelo conjunto de vizinhos do vértice.

2.1.2 Percurso ou itinerário

Definições:

Um percurso é descrito por uma família de ligações sucessivamente adjacentes, cada uma tendo uma extremidade adjacente à anterior e outra subsequente, com exceção da primeira e última.

O comprimento de um percurso é definido pelo número de ligações pertencentes a ele.

Um percurso é fechado quando a última ligação da sucessão for adjacente a primeira e é aberto em caso contrário.

Uma trilha é um percurso no qual todas as ligações são distintas.

Um caminho é um percurso no qual todos os vértices também são distintos.

Um ciclo é um percurso fechado em que seus n vértices são distintos, com $n \geq 3$.

Dois percursos são internamente disjuntos quando unem um vértice i a um vértice j , sendo $i \neq j$ e os únicos vértices que possuem em comum são os vértices i e j .

O caminho é o tipo de percurso mais usual para as análises de sistemas urbanos, embora, em casos específicos, outros percursos também sejam abordados. Para a análise configuracional da ordem simbólica interessa, além do caminho, a presença de percursos tipo ciclos e a questão dos percursos disjuntos. A maior ou menor presença destes tipos de percursos está associada a características de estabilidade da estrutura do grafo e, por este motivo, é objeto de investigação para a ordem simbólica.

2.1.3 Distância

Definições:

A distância entre dois vértices i e j é definida pelo comprimento do menor caminho conectando i e j . Esta distância também é chamada de distância geodésica ou caminho mínimo.

A distância topológica entre dois vértices i e j é definida pelo menor número de ligações necessárias para conectar i a j .

A excentricidade ou afastamento de um vértice i é a maior distância geodésica que o separa de qualquer vértice $j \in V$.

Um vértice periférico é um vértice com a excentricidade máxima do grafo.

Um vértice, ou conjunto de vértices, é o centro de um grafo quando sua excentricidade é a mínima do grafo.

Um vértice é a mediana ou centróide de um grafo quando a soma de suas distâncias a todos os demais vértices é mínima em relação a V .

As definições relativas à distância são de fundamental importância no estudo de grafos. As distâncias num grafo podem ser definidas em termos topológicos, isto é, de posição relativa, ou em termos de distância euclidiana, de tempo, custo, etc. Para o estudo aqui desenvolvido a distância será sempre em termos topológicos. Cabe ressaltar o fato de que o termo “centro” utilizado na teoria dos grafos não está relacionado com o significado do termo “centralidade” que aparece nas análises de redes, conforme será apresentado ao longo do trabalho.

2.1.4 Descrição geral do grafo

Definições:

O tamanho de um grafo é definido pelo número de ligações presentes no mesmo.

A ordem de um grafo é definida pelo número de vértices presentes no grafo.

A escala de um grafo é definida pelo grau do vértice típico ou característico. Grafos não possuem escala quando não existe um vértice que os caracterizem.

O diâmetro de um grafo é a máxima distância que separa dois vértices dentro do grafo.

O raio de um grafo é definido como sendo o menor valor de excentricidade dos vértices do grafo.

A cintura de um grafo é definida pelo comprimento do menor ciclo presente no grafo.

A circunferência de um grafo é definida pelo comprimento do maior ciclo presente no grafo.

Nos estudos de redes com grandes dimensões, a definição clássica de diâmetro do grafo muitas vezes é substituída pela definição do diâmetro como sendo a distância média entre vértices.

2.1.5 Grafos conexos e desconexos

Definições:

Um grafo é conexo quando existe um percurso entre todo e qualquer par de vértices pertencentes ao grafo e é desconexo ou não-conexo quando existe ao menos um par que não satisfaça esta condição.

Um componente de um grafo é um subgrafo conexo no qual nenhum de seus vértices apresenta conexão com vértices fora do subgrafo.

Componente principal é o componente de maior ordem de um grafo.

Sistemas urbanos, observados sob o ponto de vista de seus espaços físicos de circulação, são sempre grafos conexos, porém a análise da estrutura configuracional da ordem simbólica traz como possibilidade a presença de situações descritas por grafos desconexos. Este fato é importante, pois muitos conceitos e ferramentas de análise e descrição da teoria dos grafos não são aplicáveis ou não fazem sentido para grafos desconexos.

2.1.6 Atingibilidade e conexidade

Definições:

A noção de atingibilidade é aplicável a pares de vértices. Um vértice i é atingível a partir de um vértice j em um grafo G quando existe em

G uma seqüência de ligações e vértices que começa em j e termina em i .

A noção de conexidade é aplicável a grafos como um todo e está relacionada à possibilidade da passagem de um vértice a outro por meio das ligações existentes. Traduz, portanto, o estado de conectividade do grafo.

A noção de conexidade é independente das questões de distância e direção.

Um grafo de conexidade minimal é aquele no qual existe o menor número possível de ligações de forma que o mesmo seja conexo.

Um vértice de corte ou articulação é um vértice cuja remoção torna o grafo desconexo.

A conectividade de vértices é o número mínimo de vértices cuja remoção desconecta o grafo ou o reduz a um único vértice.

Uma ponte é uma aresta cuja remoção torna o grafo desconexo.

A conectividade de arestas é o número mínimo de arestas cuja remoção resulta em um grafo parcial não-conexo.

Em grafos não-direcionados a noção de atingibilidade e conexidade são equivalentes, a primeira é referente a pares específicos de vértices e a segunda ao grafo como um todo.

Grafos não-direcionados são definidos como conexos ou desconexos, faltando alguma forma de quantificação que permita avaliar até que ponto um grafo é mais conexo que outro. Uma opção seria usar o grafo de conexidade minimal como parâmetro comparativo. Outra opção, para detalhar melhor o nível de conexidade de um grafo, seria o uso da avaliação da conectividade de vértices e da conectividade de arestas.

A idéia de conexidade e o nível de conectividade de um grafo podem ser aplicados à determinação da confiabilidade de sistemas complexos, ou seja, à probabilidade de ausência de falhas no caso de algum de seus componentes ser desativado ou removido. Para a ordem simbólica esta questão pode auxiliar na compreensão do nível de vulnerabilidade (ou falta de confiabilidade) do sistema

urbano nas situações em que os espaços físicos são alterados ou, ainda, na situação em que uma unidade de informação deixa de existir ou não é reconhecida por um indivíduo.

Outra questão que aparece como decorrência das noções de conectividade, conectividade e atingibilidade é que podem existir diferenças entre os vértices do grafo para estas qualidades e, portanto, haveria vértices mais privilegiados do que outros. Esta possibilidade leva à elaboração de medidas que possam descrever estas diferenças, como será visto mais adiante.

2.1.7 Grafos com configurações especiais

Definições:

Um grafo é completo quando existe exatamente uma ligação entre cada par de vértices do grafo, ou seja, quando existem todas as arestas possíveis.

Um grafo completo é um grafo com máxima conectividade entre vértices.

Um grafo completo tem $n(n-1)/2$ arestas, com n sendo o número de vértices do grafo.

Uma árvore é um grafo conectado que não apresenta ciclos. Uma árvore tem $n-1$ arestas.

Uma floresta é um grafo não-conexo que não apresenta ciclos, ou seja, é um conjunto de árvores.

Uma estrela é uma árvore especial em que todos os vértices menos um possuem grau 1, ou seja, existe um vértice central ao qual todos os demais se conectam.

Um grafo linear é uma árvore especial no qual o grau de qualquer vértice é menor que três.

Um grafo é uma grelha quando os vértices possuem uma posição precisa no espaço e existe uma aresta entre os vértices mais próximos até uma distância x qualquer.

Estes tipos de grafos dificilmente correspondem a configurações de sistemas urbanos, mas suas noções são importantes tanto para descrever subestruturas do sistema urbano, quanto para servirem de parâmetros comparativos para as características topológicas observadas.

2.1.8 Níveis de regularidade na estrutura dos grafos

Definições:

Um grafo é regular quando cada vértice pertencente ao grafo possui o mesmo número de arestas, ou seja, apresenta o mesmo grau. Grafos regulares são denominados de k -regulares, onde k é o grau dos vértices.

Um grafo é altamente irregular quando cada um dos seus vértices é adjacente a vértices de graus diferentes entre si.

Grafos altamente irregulares têm no máximo $n(n+2)/8$ arestas.

Um grafo é randômico ou aleatório quando a distribuição de suas ligações é determinada por um processo estocástico. Diferentes processos estocásticos geram grafos com diferentes propriedades probabilísticas.

Normalmente, o sistema urbano não possui uma estrutura descrita por um grafo regular, mas é bastante comum aparecerem partes regulares. Embora não sejam regulares, os sistemas urbanos comumente possuem estruturas que estão bastante próximas desse comportamento. O sistema urbano também não possui uma estrutura aleatória, entretanto as características apresentadas por grafos regulares e randômicos podem servir como importantes parâmetros comparativos.

2.1.9 Grafos valorados e não-valorados

Definições:

Um grafo é valorado quando é atribuído aos vértices ou ligações um valor numérico para representar algum de seus atributos.

Um grafo é não-valorado quando tais valores não estão presentes e, portanto, apenas o inter-relacionamento entre os vértices e a estrutura resultante está sendo considerado.

Ambos os tipos de grafos são aplicáveis aos estudos urbanos. Para o estudo desenvolvido aqui, no qual apenas a estrutura configuracional está sendo analisada, serão utilizados grafos não-valorados para a descrição da ordem simbólica. Algumas das medidas aplicadas no trabalho admitem formulações valoradas conforme vem explicitado no capítulo 5 deste trabalho.

2.1.10 Subestruturas em grafos

Definições:

Um subgrafo é uma subestrutura de um grafo de tal forma que se o grafo original é definido por $G = (V, E)$ e o subgrafo por $G' = (V', E')$, então $V' \subseteq V$ e $E' \subseteq E$.

Um grafo parcial ou subgrafo gerador é uma subestrutura de um grafo no qual $E' \subset E$ e todos os vértices V são mantidos.

Um subgrafo induzido é uma subestrutura de um grafo no qual os vértices $V' \subset V$ e todas as ligações entre os pares de vértices de V' são mantidas.

Uma árvore geradora de um grafo conexo é um subgrafo formado por todos os vértices V do grafo e um conjunto $E' \subset E$ de tal modo que todos os vértices permaneçam conectados, mas não há a formação de ciclos.

Um componente conexo é um subgrafo conexo de um grafo desconexo. Grafos desconexos possuem no mínimo dois componentes. Quando um componente conexo é muito maior que qualquer outro no grafo, o mesmo é chamado de componente gigante ou componente principal.

Um bloco de um grafo é uma subestrutura maximal 2-conexa, isto é, um subgrafo conexo, não-trivial e sem vértices de corte.

A clique é uma subestrutura ou subgrafo completo contido num grafo. A ordem da maior clique de um grafo é chamada de clique do grafo.

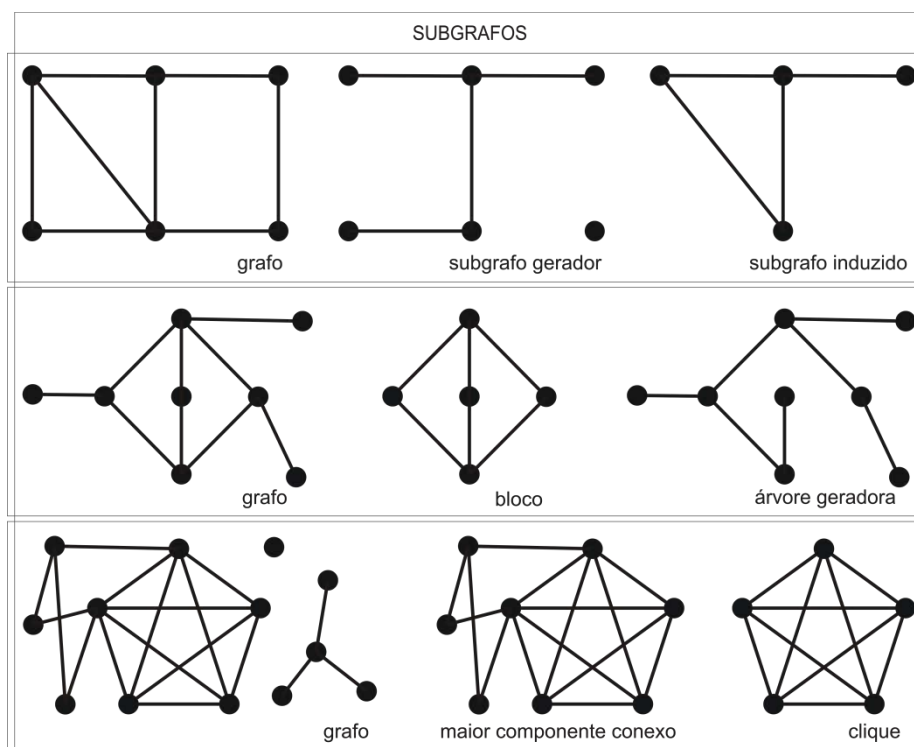


Figura 02 – Grafos e exemplos de seus subgrafos. Os subgrafos mostrados não são necessariamente os únicos subgrafos possíveis.

As noções apresentadas para as subestruturas de grafos serão utilizadas no decorrer do trabalho principalmente para descrever as subestruturas particulares presentes na ordem simbólica.

2.2 Redes

Uma rede é um sistema que pode ser descrito por um conjunto de elementos e suas inter-relações e, portanto, pode ser representado por um grafo. A fundamentação na teoria dos grafos leva a que os termos “redes” e “grafos” às vezes apareçam como sinônimos na literatura. Aqui adotaremos o critério utilizado por Caldarelli (2007) e usamos o termo “rede” para nos referirmos a todo e qualquer sistema real que possa ser descrito por meio de um grafo, e “grafo” será empregado para o conjunto específico de ferramentas conceituais e quantitativas da teoria dos grafos usado para descrever a rede.

Nos últimos anos, os estudos de redes mudaram seu enfoque da análise de pequenas redes para as redes de grandes extensões. A mudança de escala provocou uma correspondente alteração na abordagem analítica. A ênfase passou das propriedades individuais das partes componentes (vértices e/ou ligações) para as descrições de larga escala, através do delineamento das características estatísticas e probabilísticas da rede. Neste contexto, muitas das propriedades sendo medidas são tratadas como um recurso compartilhado pelo conjunto de componentes da rede, e o destaque é na homogeneidade/heterogeneidade desta distribuição e em suas implicações para o funcionamento do sistema.

De forma abrangente podemos dizer que os estudos de redes tratam da descrição, caracterização e explicação das propriedades estruturais de um sistema. Os mesmos estão centrados em três objetivos: a) encontrar as propriedades que caracterizam a estrutura e comportamento das redes e sugerir modos apropriados de medir estas propriedades; b) criar modelos de redes que possam ajudar no entendimento dessas propriedades; c) predizer qual o comportamento das redes com base nas propriedades estruturais encontradas e nas regras locais que governam os componentes individualmente.

A revisão feita aqui está voltada para o delineamento das propriedades e conceitos de caráter geral que de alguma forma são úteis ao estudo da ordem simbólica. Como muito do entendimento que temos hoje sobre sistemas em rede advém do uso de diversos modelos de simulação, incluímos também uma revisão dos modelos mais importantes e seus principais resultados.

2.2.1 Concepções e propriedades gerais das redes

2.2.1.1 As conexões entre elementos

Nos estudos de redes as inter-relações, definidas genericamente como conexões entre elementos, possuem um conjunto de conceitos associados que fogem da definição mais simples das ligações na teoria dos grafos. Num grafo, uma ligação define uma relação entre os vértices de suas extremidades. Esta relação tem uma distância que pode ser topológica, euclidiana, temporal, etc. e admite as propriedades de ser valorada e direcionada. Nos estudos de redes, além dessas caracterizações possíveis, aparecem outros conceitos que transcendem as

definições de distância tradicionais – são descrições de distância que dependem das características da rede e não exclusivamente da relação específica entre um par de vértices. Assim, numa rede, uma conexão pode descrever a distância, a valoração e a direção de uma dada interação entre dois componentes, mas também pode descrever a natureza dessa interação em função da estrutura geral do sistema.

Um desses conceitos é o de conexões de curto e longo alcance. Uma conexão de longo alcance é uma conexão que vincula dois elementos de tal forma que, na ausência desta conexão específica, os mesmos ficariam distantes. Uma conexão de curto alcance é uma conexão por proximidade nos casos das distâncias serem euclidianas ou temporais. Para distâncias topológicas todas as conexões, exceto as de longo alcance, são conexões de curto alcance.

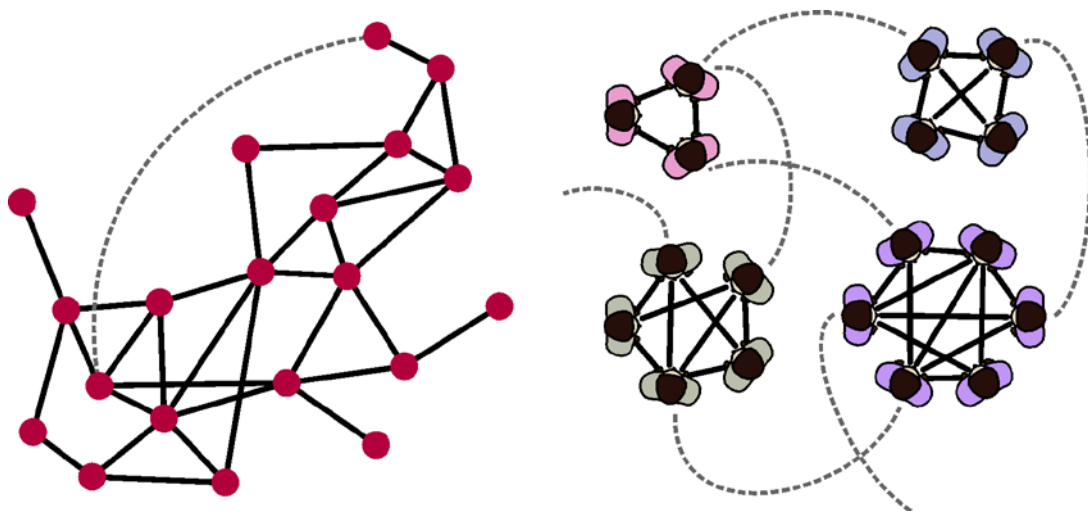


Figura 03 – Exemplo de conexões de longo e curto alcance e sua versão na sociologia como conexões fortes e fracas.

Um conceito similar aparece na sociologia estrutural com o nome de conexões fortes e fracas. Conforme Grandovetter (1973), um indivíduo geralmente possui um grupo de amigos, a maioria dos quais mantém contato uns com os outros, e também possui um grupo de conhecidos, poucos dos quais se conhecem entre si. Entretanto, cada um desses conhecidos possui seu próprio grupo de amigos. As relações num mesmo grupo de amigos são definidas como as conexões fortes, e as conexões fracas são aquelas referentes aos conhecidos. Numa definição mais abrangente, as conexões fortes seriam referentes a inter-relações entre elementos que estão fortemente interconectados entre si, formando *clusters* ou módulos, já as conexões fracas conectam elementos entre *clusters* distintos.

Ambos os conceitos implicam na definição da conexão em termos das características estruturais da rede, no entanto, existe uma diferença fundamental entre os dois conceitos. A caracterização das conexões como de curto e longo alcance é determinada pela estrutura global da rede, enquanto a definição de conexões fortes e fracas está assentada na estrutura localizada da rede.

Em termos de grafos, as conexões fortes seriam as ligações pertencentes a subgrafos dos tipos blocos ou cliques, enquanto as conexões fracas seriam aquelas entre os diversos subgrafos. Já as conexões de longo e curto alcance só podem ser definidas matematicamente em termos de seu efeito sobre a estrutura global da rede, conforme será mostrado em seguida no item 2.2.2.2 deste capítulo (p. 48).

Para o trabalho a ser desenvolvido o que interessa é o entendimento de que os diferentes tipos de conexões desempenham papéis distintos numa rede. Além disso, as conexões fracas e as de longo alcance são de fundamental importância para o funcionamento do sistema. As primeiras, conforme Grandovetter (1973), seriam as responsáveis por manterem a rede (social) conexa – se apenas existissem as conexões fortes, o sistema provavelmente seria desconexo e fragmentado. As segundas são reconhecidas como sendo responsáveis pela redução das distâncias entre os componentes do sistema (Watts e Strogatz, 1998).

2.2.1.2 Padrões de distribuição do grau

O grau dos vértices pode assumir diversos padrões não-triviais em sua distribuição. A definição do tipo de distribuição diz muito sobre as características topológicas da rede, a forma de propagação de efeitos ou propriedades no sistema, além de condicionar sua robustez. O padrão distributivo também está associado aos processos de crescimento e formação da rede.

A distribuição do grau dos vértices em redes de grandes dimensões é definida pela probabilidade de existência de um vértice com determinado grau, já em redes de tamanho mais modesto, é definida pela quantidade de vértices com cada grau. A análise de redes muito pequenas dificulta a determinação do padrão distributivo, podendo o comportamento das mesmas ficar ambíguo.

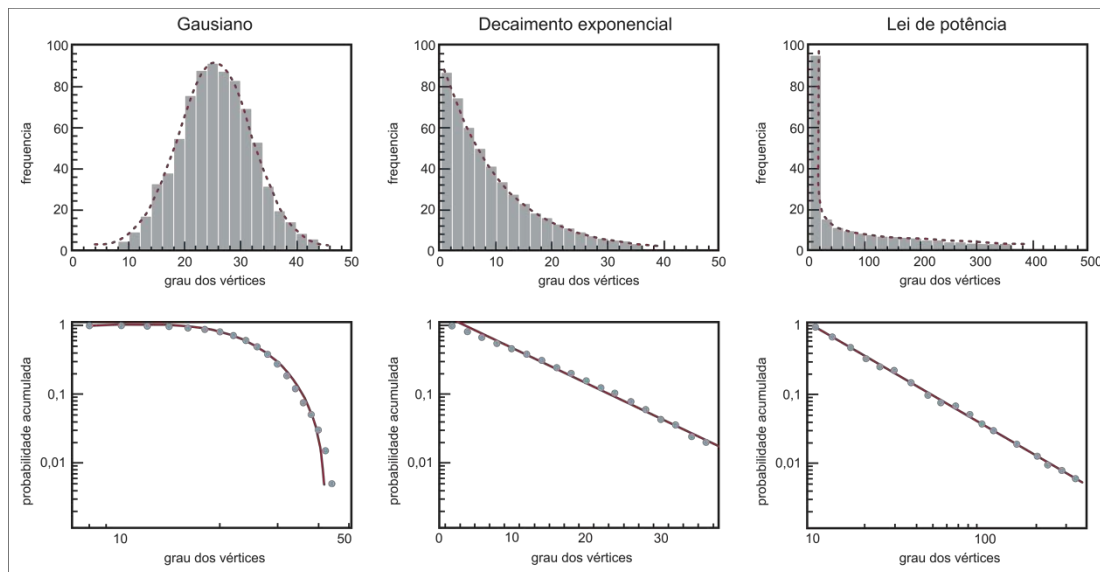


Figura 04 – Histogramas de freqüência e os correspondentes gráficos da distribuição das probabilidades acumuladas para os três tipos mais comuns de padrões distributivos do grau do vértice: a) distribuição Gaussiana; b) decaimento exponencial; c) leis de potência.

Os padrões distributivos mais comuns encontram-se descritos a seguir:

a) Gaussiana – distribuição em que existe um vértice com grau típico e as variações em relação a este são relativamente pequenas e aproximadamente simétricas. Diz-se das redes que apresentam este padrão distributivo, que as mesmas apresentam uma escala característica. Distribuições gaussianas são típicas de redes com estruturas aleatórias e de redes semi-regulares. Aparece, ainda, em redes que possuem um caráter geográfico na determinação de suas conectividades (Gastner e Newman, 2006a) e em situações nas quais existem constrangimentos fortes que limitam a conectividade entre vértices. Este padrão distributivo está associado a uma alta capacidade da rede em manter sua funcionalidade, mesmo se um número significativo de seus elementos ou conexões forem removidos ou deixarem de funcionar.

b) Decaimento exponencial – uma distribuição com decaimento exponencial é uma distribuição no qual a freqüência com que aparece um vértice com determinado grau decai a uma taxa proporcional a seu valor. Este tipo de distribuição é freqüente em redes que estão sujeitas a algum tipo de constrangimento que limita o número máximo de conexões por vértice (Amaral *et al.* 2000).

c) Leis de potência e outras distribuições com caudas mais pesadas – leis de potência são distribuições em que a freqüência do grau k , para valores altos de k ,

comporta-se segundo a função de distribuição das probabilidades tal que $p(k) \sim k^{-\alpha}$, sendo α um parâmetro constante conhecido como expoente ou parâmetro escalar. Portanto, a frequência com que determinado grau do vértice aparece na rede varia inversamente com a potência deste valor. Este expoente varia entre 2 e 3 para a maioria das redes estudadas até o momento, e o valor assumido depende dos detalhes estruturais das mesmas. As redes com distribuição do grau seguindo leis de potência apresentam o que se chama de *hubs*, isto é, vértices que possuem um número muito maior de conexões do que os demais. Os mesmos desempenham papel importante na funcionalidade da rede.

O expoente que descreve a distribuição do grau também é capaz de descrever algumas características topológicas apresentadas pela rede. Para redes com distribuição do grau seguindo uma lei de potência e estrutura randômica, Aiello *et al.* (2001) encontraram que um componente gigante existe se, e somente se, $\alpha < 3,47$. No caso de $\alpha < 1$ existem tantos *hubs* que o grafo é conexo. Valores intermediários indicam uma rede com um componente gigante, mas não totalmente conectada. A presença de estruturação adicional como transitividade e correlações no grau do vértice (veja definições a seguir nos itens 2.2.1.3 e 2.2.1.4) alteram estas constatações.

Em redes reais, conforme salientado por Clauset *et al.* (2009), distribuições que seguem perfeitamente uma lei de potência não são freqüentes. Muitas das distribuições tidas como leis de potência na verdade possuem uma cauda pesada que segue um decaimento exponencial ou um log-normal. Mesmo para as redes que seguem uma distribuição tipo lei de potência, a mesma aparece somente para parte dos valores de k . Normalmente existe um achatamento da distribuição para os valores mais baixos de k e, as vezes, aparece um decaimento mais abrupto (*exponential cutoff*) para os valores mais altos (Barabási, 2007). Quando a distribuição segue uma lei de potência com um *cutoff* exponencial muito provavelmente a rede apresenta estrangulamentos de algum tipo que limitam o número de conexões possíveis por vértice (Amaral *et al.* 2000).

Distribuições do grau tipo lei de potência estão relacionadas com distâncias curtas entre os vértices, grande robustez para a remoção aleatória de vértices ou conexões, mas fragilidade para a remoção dos vértices mais bem conectados. Também seria um indicativo de que a rede se auto-organizou para um estado livre

de escala⁵ (Barabási e Albert, 1999), por isso, as redes cujo padrão de conectividade pode ser descrito por leis de potência são frequentemente denominadas de redes livres de escala. Redes livres de escala são, portanto, auto-similares em termos da propriedade topológica de distribuição do grau.

2.2.1.3 Transitividade

Uma propriedade comum a muitos sistemas é a presença de cliques ou agrupamentos de elementos altamente conectados entre si. Assim, em muitas redes, se um vértice A qualquer está conectado a um vértice B , e se este vértice B está conectado a um vértice C , então, com grande probabilidade, o vértice A também estará conectado ao vértice C . Esta propriedade dos vértices compartilharem os mesmos vizinhos se chama de transitividade⁶. Em termos topológicos a transitividade significa a presença de grande quantidade de ciclos de comprimento três.

A alta transitividade nas redes é um indicativo da existência de algum tipo de estrutura local ditada por uma alta conectividade entre vizinhos. Esta estruturação local pode ser extensiva por toda a rede, como no caso das redes regulares ou semi-regulares tipo grelha. Mas também pode ser restrita a subconjuntos específicos da rede, denunciando a presença de “comunidades” ou setores com funcionalidades próprias. Nestes casos diz-se que a rede possui modularidade, e os diversos “módulos” são denunciados pela alta transitividade interna e por um número restrito de conexões externas (Ravasz e Barabási, 2003).

As diversas medidas que definem o nível de transitividade presente na rede não são capazes de distinguir entre os dois tipos de estruturação local, sendo necessários procedimentos complementares para fazer esta distinção. A distinção entre os dois casos é fundamental, pois as diferenças topológicas entre ambos

⁵ As leis de potência são uma assinatura da invariância de escala num sistema. Na física teórica a invariância de escala diz respeito às propriedades ou leis de um sistema permanecerem imutáveis dentro de um fator multiplicativo sob transformações na escala de uma variável independente. A invariância de escala está relacionada ao conceito de autossimilaridade ou egossimilaridade como a encontrada em fractais (invariância na escala geométrica) e avalanches (invariância na escala temporal).

⁶ O termo transitividade vem da sociologia, na literatura da área de física o termo correspondente é coeficiente de agrupamento. Para evitar confusões, aqui adotaremos o termo transitividade para a propriedade genérica e guardaremos o termo coeficiente de agrupamento para a medida definida por Watts e Strogatz (1998).

determinam comportamentos distintos para as redes. Redes modulares possuem estruturas hierárquicas, permitem (até certo ponto) uma subdivisão da rede para análises mais detalhadas e podem apresentar padrões de difusão mais ou menos localizados. Estas observações não valem para as estruturas tipo grelha.

Mais altos níveis de transitividade tendem a diminuir o tamanho do componente gigante e alteram o padrão de difusão na rede (Newman, 2003a).

2.2.1.4 Modularidade

Uma grande variedade de redes reais apresenta subestruturas internas formadas por conjuntos de vértices altamente interconectados que apresentam um número relativamente reduzido de conexões com os vértices externos ao conjunto (Ravasz e Barábasi, 2003; Newman e Girvan, 2004; Reichardt e Bornholdt, 2006). A esta característica estrutural das redes dá-se o nome de modularidade⁷.

A presença de modularidade pode estar relacionada com uma organização hierárquica (Ravasz e Barábasi, 2003), embora, em diversas situações, a mesma apenas defina subdivisões da rede, sem determinar nenhuma relação explícita de hierarquização (Reichardt e Bornholdt, 2006). Em muitos casos, a modularidade está associada ao alto nível de transitividade apresentada pela rede (Ravasz e Barábasi, 2003). A propriedade pode, ainda, coexistir com diferentes padrões de distribuição do vértice. Quando a distribuição segue uma lei de potência, freqüentemente são os *hubs* os responsáveis pelas conectividades entre módulos e, conseqüentemente, pela integração dos vários módulos numa rede conexa (Ravasz e Barábasi, 2003).

As subestruturas ou módulos presentes numa rede estão associados a agrupamentos de vértices que compartilham similaridades significativas, interesses comuns ou processos funcionais (Ravasz e Barábasi, 2003). Mas também podem estar relacionados aos aspectos locacionais e geográficos da rede (Guimerà *et al.* 2005). Independentemente de sua origem, a estrutura modular é tida como desempenhando papel fundamental na funcionalidade de uma rede (Guimerà e Amaral, 2005). Esta importância é tanta que, para Guimerà *et al.* (2007), as medidas que descrevem as propriedades globais da rede só têm valor informativo real se as mesmas levarem em consideração a presença ou não de modularidade na rede.

⁷ Outros nomes que aparecem na literatura para esta propriedade são *clustering* e *community structure*.

Em redes modulares, o papel desempenhado por cada vértice pode ser definido em função de seu padrão de conexões dentro e fora do módulo ao qual ele pertence. Guimerà e Amaral (2005) definem três tipos de *hubs* conforme o padrão de conexões: locais, conectores e inter-modulares. Os primeiros possuem conexões majoritariamente dentro do módulo, os segundos são bem conectados com outros módulos, e os terceiros possuem conexões espalhadas homogeneamente por todos os módulos. Já os vértices que não são *hubs* são classificados como: vértices super-periféricos (todas as conexões dentro do módulo); vértices periféricos (maioria das conexões no próprio módulo); vértices conectores (maioria das conexões para fora do módulo), e; vértices inter-modulares (conexões homogeneamente distribuídas entre módulos). A proporção com que cada classe comparece nas redes não é homogênea, e a participação de cada classe na rede depende do tipo de rede analisada (Guimerà *et al.* 2005; Guimerà e Amaral, 2005a).

2.2.1.5 Subgrafos recorrentes ou Motifs

Motifs são padrões de interconexões, envolvendo um número restrito de vértices, encontrados em redes complexas com uma ocorrência significativamente maior do que o esperado no caso da rede ser aleatória (Milo *et al.* 2002). Os mesmos podem ser considerados os “blocos” ou “estruturas” elementares de uma rede e são usados para descrever a estrutura local da mesma.

Milo *et al.* (2004) realizam a análise da presença de motifs tanto em redes nas quais as conexões são direcionadas quanto nas não-direcionadas. As diversas redes estudadas indicam que os motifs aparecem em padrões que são específicos a cada sistema. Os referidos autores propõem que a frequência relativa com que cada motif comparece ou não na rede seja usada como uma “assinatura” de diferentes classes de redes. Muito provavelmente, o aparecimento de um ou outro motif com maior frequência é o resultado de quesitos funcionais do sistema (Milo *et al.* 2002). Estes quesitos funcionais podem estar condicionados por restrições de alguma natureza nas possibilidades de interconexão entre os componentes do sistema⁸.

⁸ Estudos com redes genéricas têm demonstrado que a imposição de restrições na formação das conexões dentro de uma rede também é capaz de gerar motifs. No entanto, conforme salientado por Milo *et al.* (2004), estes motifs não comparecem dentro do mesmo padrão de frequências dos motifs que aparecem em redes reais.

Para Vázquez *et al.* (2004) os padrões de motifs encontrados estão relacionados com o tipo de estrutura global da rede.

2.2.1.6 *Small-worlds*

Os estudos de redes nas mais diversas áreas do conhecimento têm demonstrado que, em geral, a distância que separa seus elementos não é condizente com o tamanho da rede. A esta propriedade genérica, da maioria dos pares de vértices estarem conectados por um caminho mínimo bastante reduzido, tem se dado o nome de *small-worlds*. Em termos matemáticos, possuir a propriedade *small-worlds* significa que, mantendo a média do grau dos vértices fixa, a distância média entre os vértices aumenta no máximo logaritmicamente com o tamanho da rede (Newman, 2003). Isto significa que, para uma rede (de qualquer tamanho), o tamanho da vizinhança de um vértice cresce exponencialmente com a distância, isto é, o número de vértices que fazem parte da vizinhança de um dado vértice cresce exponencialmente com a distância usada para definir a vizinhança (Csányi e Szendrői, 2004).

A concepção não é um indicativo de um princípio organizador particular, nem de uma estrutura topológica específica. Diversas estruturas topológicas são capazes de exibir a propriedade *small-worlds* (Amaral *et al.* 2000). Na teoria dos grafos aparecem dois tipos de estruturas com esta propriedade: os grafos completos, nos quais a distância entre vértices é a mínima possível, já que todos estão diretamente conectados; e grafos aleatórios, em que a distância entre os vértices é proporcionalmente pequena, aumentando logaritmicamente com o número de vértices. No entanto, os sistemas reais raramente apresentam estruturas totalmente conectadas ou plenamente aleatórias.

Nas redes reais, a propriedade *small-worlds* pode aparecer relacionada com estruturas com alto nível de transitividade e algumas poucas conexões de longo alcance (Watts e Strogatz, 1998), onde estas últimas garantem o efeito *small-worlds*. Mesmo redes mais esparsas podem apresentar a propriedade *small-worlds* se possuírem conexões de longo alcance. A propriedade também aparece em estruturas com distribuição do grau dos vértices seguindo uma lei de potência (Barabási e Albert, 1999; Albert *et al.* 1999; Amaral *et al.* 2000), ou ainda, com distribuições seguindo uma lei de potência com um *cutoff* exponencial (Amaral *et al.*

2000; Bianconi e Barabási, 2001). Nestes casos são os *hubs* ou *hubs* limitados que garantem a propriedade por meio de sua grande quantidade de conexões capazes de gerar caminhos curtos entre quaisquer elementos do sistema.

A propriedade *small-worlds* possui grande importância na funcionalidade das redes, já que a facilidade e rapidez de comunicação entre as partes distantes da rede são capazes de majorar a propagação ou dispersão de efeitos pela rede, além de facilitar os processos dinâmicos que dependem de coordenação ou fluxos globais (Watts e Strogatz, 1998; Newman, 2003).

2.2.1.7 Robustez

A robustez pode ser entendida como a capacidade de um sistema preservar suas funções depois de sofrer perturbações de algum tipo. Para as redes, a robustez está relacionada com sua capacidade de se manterem conectadas. Na maioria dos sistemas a funcionalidade e a tolerância ao erro são garantidas pelo alto índice de interconectividade de seus elementos.

A questão da manutenção da conectividade é extensivamente abordada na teoria dos grafos: presença de pontes, vértices de corte, conectividade de vértices e de arestas estão entre as muitas noções relacionadas com este tópico. Nos estudos de redes, as principais abordagens são relativas ao comportamento das redes quando são removidos vértices ou arestas com diferentes critérios (Albert *et al.* 2000; Holme *et al.* 2002). Os efeitos sobre a distância média entre pares de vértices e no tamanho do componente conexo principal mudam conforme o tipo de estrutura topológica da rede.

Para as redes randômicas é constatado que a fragmentação do componente conexo principal não é um processo gradual. Nessas, a remoção aleatória de um número reduzido de vértices geralmente possui pouco impacto na integridade da rede, no entanto, se as remoções ultrapassam um limite crítico, então o sistema como um todo se desintegra abruptamente.

Em redes que apresentam uma distribuição do grau seguindo uma lei de potência, a remoção aleatória de vértices pode atingir cerca de 80% dos vértices sem que a rede se desintegre de forma significativa (Cohen *et al.* 2000). O trabalho de Callaway *et al.* (2000) indica que redes com leis de potência de expoentes

menores ou iguais a 3 matematicamente não apresentam um limite crítico a partir do qual a rede se desintegra⁹, a não ser que sejam finitas. Com redes finitas a desconexão sempre ocorre e é influenciada pelo tamanho da rede mas, ainda assim, o limite crítico para esses expoentes é muito alto. Por outro lado, se as remoções forem dirigidas aos *hubs*, a vulnerabilidade da rede é bastante significativa. Como a interconectividade do sistema é garantida por estes vértices, bastam 5 a 15% dos *hubs* serem removidos para que a rede se desintegre. Para outras redes que não seguem leis de potência também é reportado que as mesmas apresentam maior vulnerabilidade na remoção dos vértices mais bem conectados (Buhl *et al.* 2006).

Redes com um maior número de ciclos também são tidas como sendo mais robustas (Buhl *et al.* 2006).

O trabalho de Holme *et al.* (2002) indica que todos os resultados para a propriedade robustez advindos da análise de redes artificiais (geradas por modelagem computacional) devem ser olhados com cuidado, já que as mesmas não apresentam resultados similares aos obtidos para simulações usando redes reais. Aparentemente existem outros fatores estruturais contribuindo para o comportamento das redes reais que não estão contemplados nas redes geradas artificialmente.

2.2.2 Características estruturais e modelos de simulação

Compreender a forma topológica que as interações entre componentes assume dentro de uma rede é um passo fundamental para tentar entender o comportamento do sistema como um todo. É esperado que a estrutura de uma rede e a sua funcionalidade estejam, de algum modo, correlacionadas. A busca por um entendimento das implicações da estrutura topológica na funcionalidade das redes, assim como a procura pelas propriedades estruturais responsáveis pelas características observadas, levou ao desenvolvimento de várias ferramentas teóricas para simular redes complexas. Destas ferramentas, três grupos de modelos merecem destaque pela contribuição teórica e influência que exercem nos estudos de redes. Apresentamos a seguir esses modelos, as propriedades das redes reais que serviram de inspiração, suas limitações e alguns dos resultados alcançados.

⁹ O interessante é que boa parte das redes naturais e feitas pelo homem que apresentam distribuições que seguem uma lei de potência possuem expoentes menores que 3.

2.2.2.1 Modelos randômicos

Os primeiros estudos de redes randômicas são atribuídos a Rapoport e seus colaboradores no início da década de 1950 e, com desenvolvimento independente, ao trabalho de Erdős e Rényi do início da década seguinte. Os artigos sobre redes randômicas mais influentes dos dois grupos são, respectivamente, Solomonoff e Rapoport (1951) e Erdős e Rényi (1960). Estes trabalhos surgiram como uma tentativa de entender redes de grandes dimensões que não apresentavam em sua estrutura princípios ordenadores reconhecíveis.

O modelo proposto por ambos os grupos tem como base um número fixo de vértices N e a subsequente colocação de arestas com uma probabilidade p , conectando os vértices de forma aleatória.¹⁰

O processo de construção do grafo randômico começa com um conjunto de vértices isolados ao qual é feita a adição sucessiva de arestas aleatórias. Este processo gera um grafo com aproximadamente $pN(N-1)/2$ arestas distribuídas aleatoriamente. O grafo obtido nos diferentes estágios deste processo corresponde a valores da probabilidade p cada vez maiores, até o limite do grafo se tornar completo e $p = 1$.

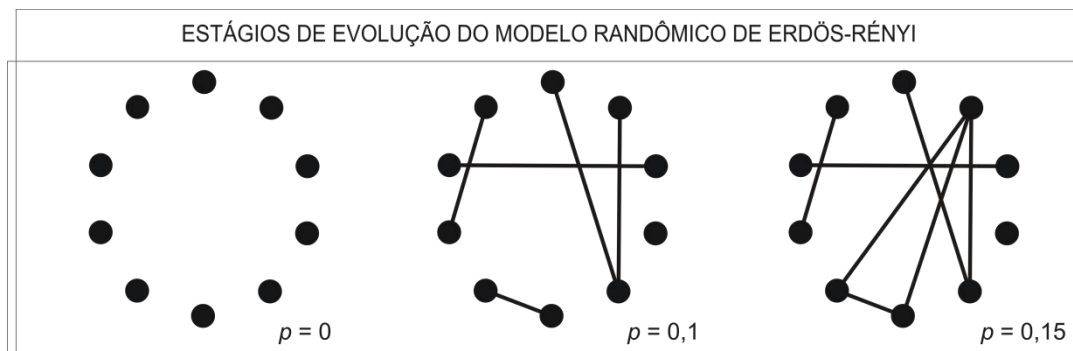


Figura 05 – Exemplificação do processo de evolução do grafo gerado pelo modelo randômico de Erdős-Rényi. Fonte: adaptado de Albert e Barabási (2002; 55).

A evolução do grafo apresenta diversos estágios que podem ser matematicamente definidos, tais como os limiares de p em que é esperada a presença de subgrafos em árvore, ciclos de determinado tamanho ou cliques. Uma das descobertas de Erdős e Rényi (1960) é que a maioria das propriedades surge

¹⁰ Erdős e Rényi (1960) também formulam outro modelo relacionado, definido como o conjunto de soluções possíveis para um grafo com exatamente N vértices e E arestas.

de forma abrupta – existe um valor crítico da probabilidade $p_c(N)$ acima do qual quase qualquer grafo apresenta a propriedade, e abaixo do qual quase nenhum possui. Assim, a estrutura esperada para o grafo varia com o valor da probabilidade p e a ordem do grafo.

Para o tamanho e estrutura dos componentes conexos de um grafo também existe um ponto crítico no qual as características do grafo mudam significativamente. Este ponto pode ser definido em função da probabilidade p , onde o valor crítico é $p_c \simeq 1/N$, ou em função do grau médio dos vértices $\langle k \rangle$, onde o ponto crítico fica no limiar em que $\langle k \rangle$ se aproxima de 1. Para $\langle k \rangle < 1$ provavelmente todos os componentes conexos são árvores ou contêm no máximo um ciclo. Nesse regime o número médio de componentes conexos é $N - E$, sendo E o número de arestas, e o maior componente conexo é uma árvore com ordem proporcional a $\ln N$. Para $\langle k \rangle = 1$, o número de vértices pertencentes ao maior componente conexo é aproximadamente $N^{2/3}$ e surge um único componente de grandes proporções (muito maior que os demais) chamado de componente gigante. Para valores de $\langle k \rangle > 1$, o componente gigante cresce em função do grau médio conforme ilustrado na figura a seguir.

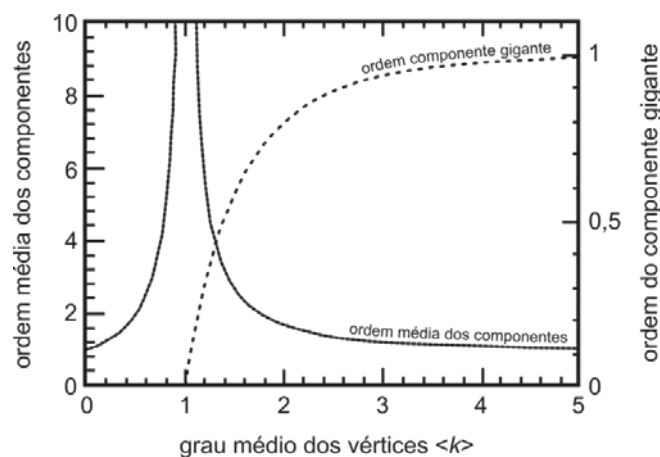


Figura 06 – A ordem dos componentes de grafo randômico Erdős-Rényi em função do Grau médio dos vértices $\langle k \rangle$. A linha tracejada descreve a ordem do componente gigante e a linha cheia descreve a ordem média dos demais componentes. Fonte: adaptado de Newman (2003; 21).

Outras propriedades que podem ser matematicamente definidas para o modelo são o padrão distributivo do grau dos vértices, o diâmetro do grafo (definido pela distância média entre vértices) e o nível de transitividade¹¹.

O modelo randômico reproduz bem a propriedade *small-worlds*, no entanto, em quase todos os outros aspectos o modelo não se aproxima das características apresentadas por boa parte das redes reais. No limite de $N \rightarrow \infty$ os grafos gerados possuem uma distribuição do grau aproximadamente Gaussiana, baixa transitividade e nenhuma correlação na conectividade dos vértices, enquanto as redes reais raramente apresentam estas características.

O reconhecimento de que as redes reais não são tão aleatórias assim, levou ao desenvolvimento de novos modelos randômicos, nos quais outras características como o maior nível de transitividade entre vértices, a pré-definição do padrão distributivo do grau ou o tipo de correlação na conectividade dos vértices foram incorporadas. Com estes novos modelos também foram definidos valores de referência para certas características dos grafos resultantes.

Os resultados alcançados com o modelo randômico Erdős-Rényi servem principalmente como parâmetros comparativos e valores de referência para a análise do comportamento de redes reais. A comparação é capaz de elucidar de que modo as redes reais não são aleatórias e com que intensidade esta não-aleatoriedade se manifesta.

2.2.2.2 Modelo *Small-Worlds*

O modelo conhecido como *Small-Worlds* foi criado por Watts e Strogatz (1998) e tem como princípio básico a questão das redes reais apresentarem distâncias curtas entre seus elementos (como nas redes randômicas) e, ao mesmo tempo, apresentarem um alto nível de transitividade que, aparentemente, independe do tamanho da rede. Esta última característica é típica de grelhas regulares, em que a transitividade depende exclusivamente do grau k . Portanto, o modelo parte do princípio de que as estruturas topológicas presentes no mundo real deveriam estar em algum lugar entre uma estrutura totalmente regular e uma estrutura aleatória.

¹¹ O padrão distributivo do grau do vértice é Gaussiano. O diâmetro do grafo é aproximadamente $\ln(N)/\ln(\langle k \rangle)$ e o nível de transitividade $T \sim p \sim \langle k \rangle/N$. Para mais detalhes veja as revisões de Albert e Barabási (2002) e Newman (2003).

O modelo original consiste numa grelha regular de uma dimensão (anel) com N vértices e E arestas, onde cada vértice está conectado a um número fixo de vizinhos de cada lado. Sobre esta estrutura, com uma probabilidade p , uma das extremidades de cada aresta é re-conectada de forma aleatória sem que seja permitida a duplicação de arestas ou formação de *loops* (arestas que conectam um vértice a si próprio).

Este processo gera grafos que passam da estrutura inicialmente regular ($p = 0$) para uma estrutura similar a um grafo randômico ($p = 1$). Para valores intermediários de p aparecem grafos com uma forte estruturação local e $pNk / 2$ arestas de longo alcance.

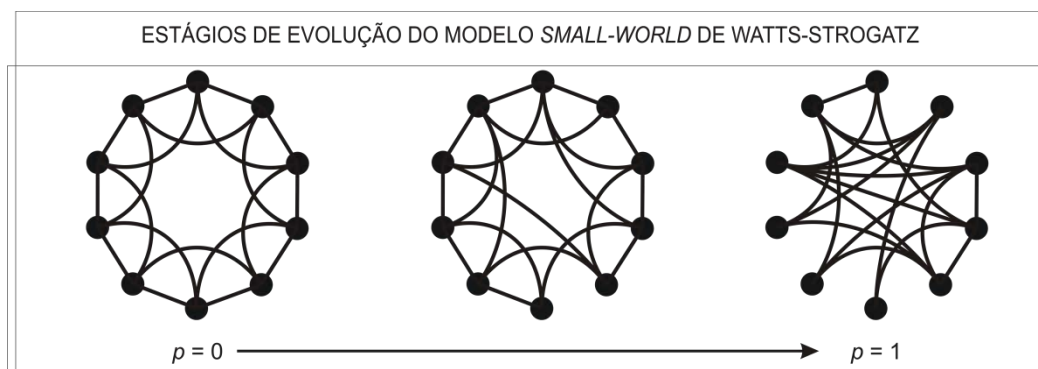


Figura 07 – Exemplificação do processo de evolução do grafo gerado pelo modelo *Small-Worlds* de Watts e Strogatz. Fonte: Adaptado de Watts e Strogatz (1998; 441).

A variação no valor da probabilidade p é acompanhada de transformações estruturais, que podem ser verificadas pelas mudanças nos valores da distância média entre os pares de vértices e pelo nível de transitividade mantido pelo grafo. No estágio inicial, onde $p = 0$, a distância média e a transitividade são máximas e esses valores vão se reduzindo até que, quando $p = 1$, os valores são mínimos. As simulações com o modelo mostraram que as diferenças no decaimento das duas variáveis levam à existência de um intervalo de valores de p em que é possível manter um alto nível de transitividade e, ao mesmo tempo, apresentar distâncias curtas comparáveis a uma rede randômica (Figura 08).

No intervalo em que a transitividade é alta e a distância média é baixa, a rede também se caracteriza por ser relativamente homogênea e por apresentar um padrão distributivo do grau aproximadamente Gaussiano, com um pico pronunciado junto à média e decaindo exponencialmente para valores altos de k . Embora as duas

primeiras propriedades estejam em acordo com o verificado em muitas redes reais, a distribuição do grau não é muito realista. Grande parte das redes reais apresenta uma distribuição do grau que difere substancialmente desse padrão.

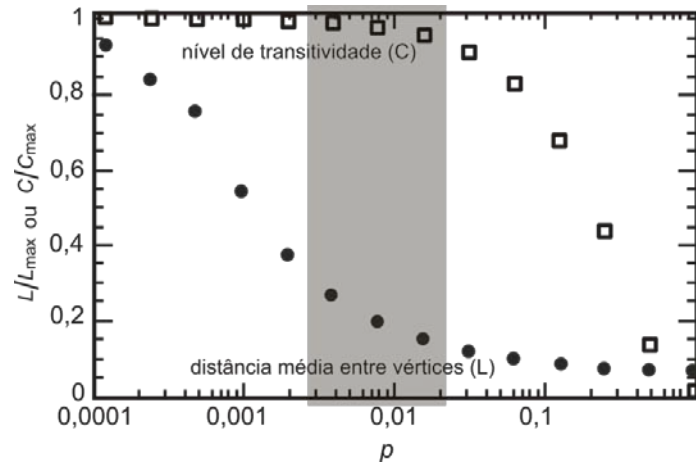


Figura 08 – Comportamento da distância média entre vértices e da transitividade em função da probabilidade p . A área demarcada destaca o regime onde a propriedade *small-worlds* se manifesta associada a um alto nível de transitividade. Fonte: Adaptado de Watts e Strogatz (1998; 441).

As simulações com o modelo permitiram concluir que o número de conexões de longo alcance necessárias para mudar as características estruturais da rede é bastante reduzido (Newman e Watts, 1999; Newman *et al.* 2000). Também foi possível determinar que o limiar de transição para uma *small-worlds* é dependente do tamanho do sistema (Barthélémy e Amaral, 1999) e da k -regularidade da grelha original, já que é necessário $p \geq 2/Nk$ para garantir a existência de uma conexão de longo alcance (Newman, 2003). Outra questão fundamental que o modelo confirma é o entendimento de que o fenômeno *small-worlds* pode ser praticamente indetectável na estrutura da rede em nível local.

Em termos da robustez, a rede se torna vulnerável se as remoções forem dirigidas aos vértices conectados pelas conexões de longo alcance, ou se essas conexões forem removidas.

Cabe ressaltar a contribuição deste modelo para o entendimento do papel desempenhado pelas conexões de longo alcance na alteração da estrutura topológica das redes, além de evidenciar a importância do uso concomitante de medidas locais e globais na descrição de redes.

Diversas variações do modelo original foram propostas tais como acrescentar arestas em vez de re-conectar, usar grelhas de dimensões maiores que um, definir as re-conexões como preferencialmente dirigidas para vértices próximos, etc.

Duas limitações principais estão associadas ao modelo *Small-Worlds*. A primeira é o padrão de distribuição do grau em desacordo com o observado na maioria das redes reais. Portanto, uma importante característica topológica não está contemplada nas redes geradas pelo modelo. A segunda é que, assim como nos modelos randômicos, a rede simulada não apresenta crescimento. Isto limita a capacidade explicativa de ambos os modelos, já que as redes reais normalmente apresentam crescimento.

2.2.2.3 Modelos de crescimento

Os modelos de crescimento têm como princípio explicitar os mecanismos responsáveis pela emergência das propriedades topológicas observadas nas redes reais a partir de sua evolução temporal. As redes simuladas crescem por meio da adição sucessiva de vértices e arestas seguindo alguma regra que se acredita estar por detrás dos processos de inclusão dos novos elementos na rede. Assim, a ênfase está na dinâmica da rede, e a estrutura topológica é apenas um subproduto do processo.

Os modelos de maior influência nesta área são aqueles voltados para a explicação da origem da distribuição do grau descrita por leis de potência. A hipótese explicativa mais bem aceita para este tipo de distribuição tem origem no trabalho de Simon (1955)¹² que associou o aparecimento de leis de potência na distribuição de variáveis ao padrão evolutivo do sistema, onde os elementos que iniciam com maiores quantidades de uma determinada variável ganham proporcionalmente mais ao longo do tempo. A transposição desta idéia para redes significa que a quantidade de conexões que um vértice possui, de alguma forma, condiciona a quantidade de novas conexões que ele receberá no futuro. Esta idéia é aplicada pela primeira vez no crescimento de redes com o nome de “vantagem

¹² O trabalho de Simon não diz respeito ao estudo de redes. A idéia surgiu para explicar a distribuição de riqueza e também foi usada por ele como base explicativa para outros temas, mas nunca em redes.

cumulativa” por Price (1976) e depois reaparece com o nome de “acoplamento preferencial” no trabalho de Barabási e Albert (1999).

Aqui vamos descrever o modelo conhecido como *Scale-Free* criado por Barabási e Albert (1999). O modelo incorpora os dois mecanismos genéricos supostamente responsáveis pelo padrão de conectividade seguindo uma lei de potência: o crescimento por incrementos sucessivos de novos vértices; e a não-aleatoriedade das conexões entre vértices - que segue a regra de acoplamento preferencial. Ambos os fatores são suportados por vastas medições empíricas que atestam a presença simultânea dos dois fatores em redes reais.

O modelo *Scale-Free* consiste num número inicial de vértices N_0 e a cada rodada é adicionado um novo vértice com um número E de arestas, sendo $E \leq N_0$ e constante ao longo da simulação. A outra extremidade destas arestas é conectada com os vértices já existentes na rede com uma probabilidade p proporcional ao grau destes últimos. Depois de t rodadas o modelo leva a um grafo aleatório com $t + N_0$ vértices e tE arestas. O grafo evolui até atingir um estado de invariância de escala com a probabilidade de um vértice ter k arestas seguindo uma lei de potência com um expoente $\alpha = 3$, independentemente do valor de E . A partir desse momento, apesar do crescimento contínuo, a rede permanece num estado estacionário livre de escala. O padrão distributivo do grau torna-se estável, independente da escala temporal e do tamanho da rede. É este comportamento livre de escala que dá nome ao modelo.

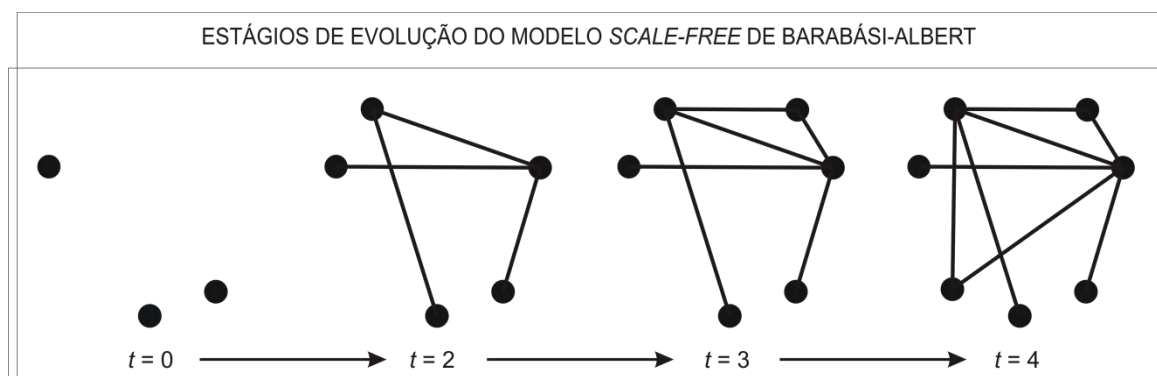


Figura 09 – Exemplificação do processo de evolução do grafo gerado pelo modelo *Scale-Free* de Barabási e Albert. Fonte: Adaptado de Barabási *et al.* (1999; 179).

Testes com a eliminação de qualquer um dos fatores genéricos tornam o modelo incapaz de produzir grafos com distribuições do grau tipo leis de potência (Barabási e Albert 1999). No caso da remoção da regra de acoplamento preferencial a distribuição do grau muda para um decaimento exponencial. Sem o processo de crescimento, o modelo produz no estágio inicial da simulação um grafo com uma distribuição tipo lei de potência, porém o comportamento não é estacionário, e o padrão vai gradualmente se tornando Gaussiano, para depois de $t \simeq N^2$ interações o grafo ficar completo.

Os grafos gerados pelo modelo *Scale-Free* apresentam como características: um padrão distributivo do grau seguindo uma lei de potência com expoente $\alpha = 3$; uma correlação não-trivial entre vértices adjacentes (Krapivsky e Render, 2001); um nível de transitividade maior que uma rede aleatória, mas inversamente dependente do tamanho da rede (Albert e Barabási, 2002); uma correlação entre o grau do vértice e sua idade, onde vértices mais velhos possuem maior grau (Krapivsky e Render, 2001); e uma distância média entre vértices menor que um grafo randômico para qualquer N . Nesta última questão os resultados analíticos indicam que a distância média aumenta $\log N / \log(\log(N))$ se $E \geq 2$ e $\log N$ se $E = 1$ (Ballobás e Riordan, 2004).

As limitações apresentadas pelo modelo incluem o expoente fixo, a correlação entre grau e idade dos vértices e o nível de transitividade dependente do tamanho da rede, características estas que não correspondem ao observado em grande parte das redes reais. Diversas variações do modelo original permitiram superar algumas dessas limitações.

Merece destaque a variante que, pelas da inclusão de uma nova variável – o *fitness* de cada vértice – consegue superar tanto o problema do expoente fixo quanto a correlação entre grau e idade dos vértices (Bianconi e Barabási, 2001). O *fitness* é uma propriedade genérica, com um valor específico por vértice, que reflete a habilidade diferenciada dos vértices competirem por novas conexões. A idéia é que os elementos da rede, independentemente do número de suas conexões, possuem características distintas e por isso podem apresentar graus de adequação ou compatibilidade diferenciados. As regras do modelo são iguais ao *Scale-Free*, apenas a probabilidade p de um vértice receber novas conexões é determinada de forma conjunta pelo acoplamento preferencial e pelo *fitness* do vértice. Com essa

alteração mesmo vértices adicionados mais tarde podem superar os vértices mais velhos ao adquirirem conexões com taxas mais altas e o padrão distributivo do grau do vértice passa a depender do padrão distributivo do *fitness* (Bianconi e Barabási, 2001). Nesta variante do modelo *Scale-Free*, o nível de transitividade permanece aquém dos valores observados em algumas redes reais (Vázquez *et al.* 2002).

Outras variações do modelo incluem a natureza espacial das redes (Medina *et al.* 2000), limitações na distância geográfica para as probabilidades de conexão (*ibid.*), limitações nas probabilidades de conexão por saturação (Amaral *et al.* 2000) surgimento de novas conexões entre vértices já existentes (Dorogovtsev e Mendes, 2000; Krapivsky *et al.* 2001), remoção de conexões já existentes (Dorogovtsev e Mendes, 2000), re-ordenamento das conexões (Albert e Barabási, 2000), remoção ou desativação dos vértices por envelhecimento (Dorogovtsev e Mendes, 2000a; Amaral *et al.* 2000; Klemm e Eguíluz, 2002), crescimento não linear da conectividade dos vértices (Dorogovtsev e Mendes, 2001) e informação limitada da rede para a decisão do acoplamento preferencial (Mossa *et al.* 2002). As diversas variações propostas para os parâmetros do modelo são capazes de distorcer o padrão distributivo do grau em maior ou menor medida, gerando leis de potência com diferentes expoentes, com *cutoffs* exponenciais ou decaimentos exponenciais, dependendo do parâmetro e sua intensidade.

O modelo *Scale-Free*, conjuntamente com as variantes citadas, parece indicar que a distribuição do grau tipo lei de potência seria determinada basicamente pelo crescimento e acoplamento preferencial. No entanto, modelos com outras bases explicativas também têm sido capazes de gerar grafos com distribuições do grau do mesmo tipo. Redes livres de escala podem ser geradas por crescimento e mecanismos de cópia de vértices pré-existentes (Vázquez *et al.* 2003; Kleinberg *et al.* 1999). Nestes modelos as cópias dos vértices são feitas com uma probabilidade p e sofrem alterações aleatórias em suas conexões sendo, portanto, cópias imperfeitas. Diferentemente do modelo *Scale-Free* as regras do modelo não requerem o conhecimento de toda a rede, mas o resultado é que um mecanismo

análogo ao acoplamento preferencial aparece espontaneamente dentro do modelo,¹³ levando ao surgimento de distribuições do grau tipo leis de potência.

Outras possibilidades de gerar distribuições tipo leis de potência são redes sem crescimento e com o re-ordenamento aleatório das conexões de modo a favorecer as correlações disassortativas¹⁴ (Baiesi e Manna, 2003) e processos de crescimento conjuntamente com a fusão de vértices (Minnhegen *et al.* 2004; Kim *et al.* 2005). Cabe ressaltar, ainda, que nas redes em que a probabilidade do estabelecimento das conexões está relacionada com as características dos elementos, e estas últimas estão distribuídas seguindo leis de potência, obrigatoriamente as distribuições do grau resultam em leis de potência (Caldarelli *et al.* 2002). Simulações em que o critério de conexão entre vértices é a redução das distâncias topológicas entre estes também levam a distribuições do grau tipo leis de potência (Gastner e Newman, 2006a).

Os diversos modelos apresentados são o que se pode chamar de evocativos, reproduzem algumas das características observadas em redes reais, mas, devido ao seu alto nível de generalidade, não são capazes de esclarecer efetivamente quais as causas do comportamento observado (Willinger *et al.* 2002). Este tipo de modelo é usado para explorar as possíveis origens dos fenômenos observados, assim como isolar aspectos específicos da estrutura topológica e tentar entender as relações destes com a funcionalidade da rede.

Os trabalhos revisados indicam que uma parte significativa das características apresentadas pelos sistemas complexos está associada à forma topológica da rede representando as interações entre seus elementos. Estas redes normalmente apresentam estruturas locais e globais não-triviais que podem ser verificadas com diversas medidas topológicas. Também fica evidenciado que, aparentemente,

¹³ Como os vértices são duplicados aleatoriamente, a probabilidade de serem vizinhos dos vértices mais bem conectados é proporcional ao grau destes últimos. Portanto, os vértices de maior grau adquirem novas conexões com taxas mais altas.

¹⁴ Redes com correlações disassortativas são aquelas nas quais as conexões tendem a unir vértices com grau do vértice de grandezas distintas.

existe um conjunto restrito de propriedades locais e globais capazes de caracterizar boa parte das redes reais, as quais aparecem combinadas de diversos modos. Estas propriedades comuns, descritas para as redes em geral, serão alvo de investigação na definição da estrutura topológica presente na ordem simbólica. Os *insights* e resultados obtidos com os diferentes modelos de simulação aqui descritos, embora sirvam de referência para as análises a serem feitas, serão usados com cautela. Não obstante pareçam existir diversas propriedades comuns a uma grande quantidade de redes reais, as causas que levam a estas propriedades podem ser várias e, muito provavelmente, específicas por sistema.

2.3 Redes espaciais

As redes vistas anteriormente existem num espaço abstrato, onde a posição precisa dos vértices não possui nenhum significado real. No entanto, existem redes cuja estrutura está assentada sobre um espaço geométrico específico onde os vértices representam objetos ou coisas que possuem posições definidas dentro de um espaço Euclidiano bi ou tri-dimensional. Muitas destas redes possuem, ainda, a característica adicional de serem fisicamente navegáveis, isto é, as conexões representam possibilidades efetivas de deslocamento dentro da rede. Estas redes introduzem um novo componente na descrição de sua estrutura: a sua espacialidade.

A natureza espacial de uma rede é um forte condicionante de sua estrutura topológica (Amaral *et al.*, 2000; Barrat *et al.* 2005). Nestas redes, as conexões muitas vezes sofrem constrangimentos determinados por questões geográficas. Um tipo de restrição usualmente presente é a limitação no número de conexões possíveis por vértice, ditada pela disponibilidade espacial efetiva em cada vértice (Gorman e Kulkarni, 2004; Barrat *et al.* 2005; Cardillo *et al.* 2006). Outro constrangimento freqüente é oriundo do “custo” associado à transposição das distâncias Euclidianas que separam os elementos do sistema, tanto no que se refere à criação das conexões, quanto ao posterior deslocamento através das mesmas. Esta última restrição leva ao estabelecimento das conexões preferencialmente entre os elementos mais próximos (Medina *et al.* 2000; Vázquez *et al.* 2002; Yook *et al.* 2002; Gastner e Newman, 2006a). Fato este denunciado pelo predomínio de conexões com comprimentos menores dentro da rede. Como consequência, muitas

redes espaciais possuem um padrão de distribuição do comprimento de suas conexões seguindo uma lei de potência (Petermann e De Los Rios, 2005). Para Jespersen e Blumen (2000) o expoente, apresentado por estas, afeta as características de navegabilidade da rede. Expoentes bem abaixo de 2 tornam a navegabilidade similar ao apresentado pelas redes *small-worlds* do modelo de Watts e Strogatz (1998), já os expoentes maiores que 2 tornam a navegabilidade da rede similar ao apresentado por grelhas regulares.

O caráter geográfico de uma rede também faz com que a distribuição espacial dos vértices interfira na topologia da mesma (Gastner e Newman, 2006b; Levinson e Yerra, 2005). Padrões de distribuição relativamente homogêneos favorecem o surgimento de estruturas regulares com baixa diferenciação entre os vértices em termos de conectividade. Por outro lado, distribuições altamente heterogêneas como as de cidades, aeroportos ou ASes (*autonomous systems*) de internet favorecem o surgimento de *hubs* de caráter local e estruturas com acentuadas hierarquias internas.

Outra característica freqüente em redes espaciais é a sua modularidade interna. A presença da mesma é favorecida pela distribuição heterogênea dos vértices e os constrangimentos espaciais no estabelecimento das conexões. Esta modularidade geralmente tem um forte caráter espacial (Vázquez *et al.* 2002; Gorman e Kulkarni, 2004; Guimerà *et al.* 2005), definindo distintas regiões geográficas dentro da rede onde a transitividade é alta e/ou as conexões se dão preferencialmente com os vértices locais mais bem conectados ou com o melhor *fitness*. As conexões entre regiões são mais esparsas e normalmente englobam as conexões mais longas do sistema.

As conexões de longa distância, dentro das redes espaciais, não se encontram distribuídas de forma aleatória conforme previsto no modelo de Watts e Strogatz (1998). As mesmas tendem a aparecer entre os vértices mais bem conectados (Gorman e Kulkarni, 2004; Barrat *et al.* 2005; Montis *et al.* 2007), embora não fugindo completamente da questão Euclidiana da distância (Csányi e Szendrői, 2004). Aparentemente, a probabilidade de existir uma conexão de longo alcance é inversamente proporcional à distância entre os vértices. Como conseqüência, as redes com fortes constrangimentos geográficos possuem distâncias topológicas médias entre elementos que crescem como uma lei de

potência em relação ao tamanho da rede, diferentemente de redes *small-worlds* onde as distâncias médias crescem logaritmicamente com o tamanho da rede. Este fato deve-se aos constrangimentos impostos até sobre as conexões de longo alcance (Csányi e Szendrői, 2004).

Para Gastner e Newman (2006a) assim como para Yook *et al.* (2002) a formação das redes espaciais é o resultado da competição entre a minimização do custo ou comprimento das conexões e o estabelecimento da melhor conectividade entre os elementos da rede. O que vem a ser a “melhor conectividade” vai depender do sistema. Em algumas situações a melhor conectividade pode ser aquela que procura minimizar a distância física ou temporal já, em outros casos, pode significar a menor distância topológica entre elementos. Pode significar, ainda, a melhor qualificação (segundo algum critério específico) das arestas e/ou vértices ao longo do caminho entre pares de vértices (Medina *et al.* 2000) ou, até mesmo, a melhor qualificação dos próprios vértices de destino, similarmente ao acoplamento preferencial e ao *fitness* vistos anteriormente (Gorman e Kulkarni, 2004; Yook *et al.* 2002).

Para entender o papel desempenhado pela ação entre a minimização das distâncias geográficas e/ou das distâncias topológicas na definição da conectividade das redes espaciais, Gastner e Newman (2006a) criaram um modelo que permite a ponderação entre ambos os fatores. As simulações usam uma distribuição aleatória de vértices de forma a reduzir a interferência da distribuição espacial dos mesmos. Os resultados indicaram que, quando a minimização das distâncias topológicas é preponderante, a rede resultante possui um diâmetro bastante reduzido, aparecem os *hubs*, a transitividade é baixa e a estrutura topológica se aproxima de uma árvore. Já, quando prevalece a minimização das distâncias geográficas, o diâmetro é maior, o grau dos vértices é baixo, a transitividade é alta e existem muitos ciclos na estrutura. Ambos os tipos de estruturas se assemelham às estruturas encontradas em redes espaciais reais, indicando a provável importância do critério de melhor conectividade na determinação da estrutura topológica da rede.

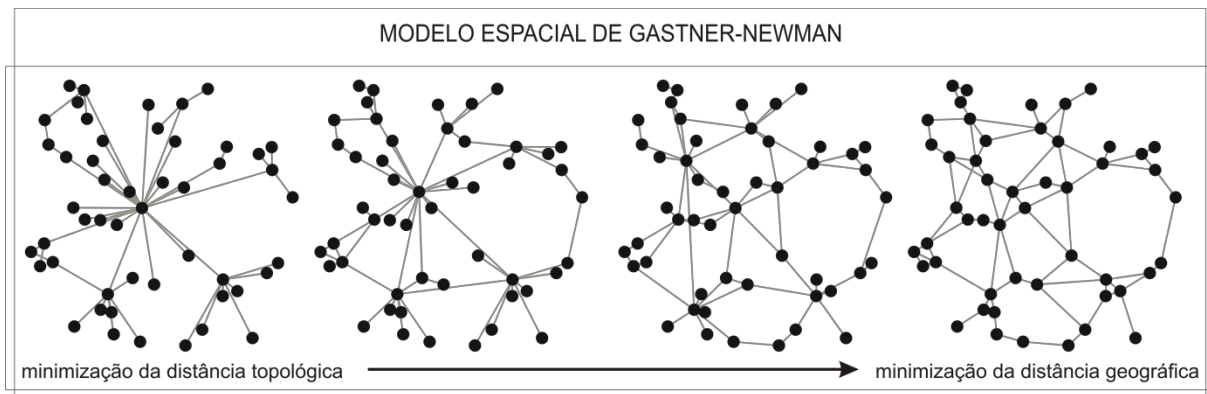


Figura 10 – Exemplos de redes geradas com o modelo de estruturas espaciais de Gastner e Newman variando o critério de minimização das distâncias entre um conjunto de vértices distribuídos aleatoriamente. Fonte: adaptado de Gastner e Newman (2006a; 251).

As redes espaciais podem assumir diversas configurações, dependendo da importância relativa que cada fator assume na evolução da rede. Assim, redes como as de transporte aéreo tendem a apresentar uma estrutura que denuncia a prioridade na minimização das distâncias topológicas, enquanto redes como as referentes ao sistema viário apresentam estruturas mais condizentes com sistemas que buscam minimizar as distâncias físicas e/ou temporais entre elementos.

Nas redes onde as conexões são ditadas pela minimização das distâncias geográficas, Ravasz e Barabási (2003) observaram que este constrangimento aparentemente impede a emergência de uma estrutura topológica hierárquica, como aquela denunciada pela correlação entre o nível de transitividade e o grau do vértice. Embora a ausência desta correlação seja uma característica das redes espaciais (Ravasz e Barabási, 2003; Csányi e Szendrői, 2004), autores como Barrat *et al.* (2005) identificaram outras correlações significativas que indicam a existência de uma forte estrutura hierárquica. Foram encontradas correlações positivas entre o grau do vértice e o somatório do comprimento das conexões que chegam ao vértice, indicando que os vértices mais bem conectados são os que preferencialmente participam das conexões de longo alcance (Barrat *et al.* 2005). O grau do vértice também apresenta uma correlação positiva com a média do somatório das importâncias (peso ou fluxo) dessas conexões e, portanto, são os *hubs* que recebem as conexões mais significativas da rede (*ibid.*). Vázquez *et al.* (2002), Guimerà *et al.* (2007) e Montis *et al.* (2007) também defendem que existem estruturas hierárquicas nas redes espaciais. A diferença é que, para estas redes, a detecção das

hierarquias internas requer que se leve em consideração a modularidade e o papel desempenhado por cada vértice na estrutura topológica (Guimerà *et al.* 2007).

Os trabalhos levantados parecem indicar que as redes espaciais possuem pelo menos cinco fatores intervenientes que condicionam a sua estrutura topológica: a) o padrão de distribuição espacial dos vértices; b) o nível de modularidade interna; c) o custo das conexões; d) o critério de estabelecimento das conexões e; e) o crescimento da rede. Os prováveis efeitos de cada fator isoladamente têm sido estudados através do uso de modelos de simulação, mas o efeito combinado é pouco conhecido.

2.3.1 Dimensão do sistema e dimensão do grafo de representação

Uma das questões associadas às redes espaciais é a dimensionalidade do grafo¹⁵ utilizado para representar o sistema. Embora as redes espaciais estejam inseridas num espaço bi ou tri-dimensional, o grafo que as representa pode apresentar uma dimensionalidade distinta.

A dimensionalidade que o grafo assume está associada a algumas das características que serão apresentadas pela rede. Os estudos sobre os efeitos da dimensionalidade no comportamento das redes indicam que as redes de baixa dimensionalidade apresentam limiares no comportamento das variáveis distintos daqueles encontrados nos modelos Randômicos, *Small-Worlds* e *Scale-Free* vistos anteriormente. Estes modelos geram redes de alta dimensionalidade, o que reduz a sua validade como parâmetro comparativo no caso de estudos com redes de baixa dimensionalidade. As investigações de Dall e Christensen (2002) com um modelo de redes randômicas geométricas sugerem que a dimensionalidade da rede interfere na formação do componente gigante e no nível de transitividade presente na rede. Quanto maior a dimensão, mais baixo o limiar da conectividade para a formação do componente gigante e menor a transitividade da rede. Petermann e De Los Rios (2005), usando um modelo *Small-Worlds* geométrico também confirmam a influência da dimensionalidade no comportamento das variáveis que descrevem a topologia da rede.

¹⁵ Dimensão e dimensionalidade estão empregadas neste item conforme o conceito matemático de dimensão. Entende-se por dimensão do grafo o número de coordenadas necessárias para descrever a posição de seus vértices.

De forma geral, quanto maiores os constrangimentos geográficos envolvidos, menor a dimensionalidade da rede. Quando a prioridade no estabelecimento das conexões está na redução das distâncias físicas e/ou temporais, a rede tende a apresentar uma baixa dimensionalidade. Sistemas com baixa dimensionalidade são dominados por interações locais (Dall e Christensen, 2002) e é provável que os mesmos apresentem um número muito reduzido de conexões de longo alcance.

No caso de estudos de sistemas espaciais, onde o objeto de interesse é a configuração do próprio espaço, tais como aqueles que abordam a configuração morfológica do espaço urbano¹⁶, a natureza contínua do espaço traz consigo a questão de que a dimensionalidade do grafo é definida pelo critério de generalização utilizado para repartir o espaço em unidades discretas. Embora o espaço urbano seja um sistema aproximadamente bidimensional, suas representações podem apresentar dimensionalidades bastante distintas, dependendo do critério adotado. O problema é que, além de determinar a dimensionalidade do grafo, as demais características topológicas da rede também serão afetadas. Esta questão nos leva ao primeiro ponto de discussão na definição do sistema urbano enquanto rede: o problema da discretização do espaço.

2.3.2 Definição dos elementos e relações na representação do espaço urbano

A discretização do espaço urbano não é um tema banal quando se aborda o sistema urbano como uma rede. A escolha não está restrita à questão do nível de detalhe com o qual se deseja observar o sistema urbano, ou quais “unidades” espaciais se deseja enfatizar. A questão é muito mais ampla: os critérios utilizados determinam em grande parte os resultados que serão observados, já que a estrutura topológica e dimensionalidade do grafo são afetadas. A escolha requer um entendimento mais profundo dos processos a serem abordados e a adoção de uma representação da rede em acordo com as manifestações destes processos. Uma

¹⁶ A descrição da estrutura espacial urbana é a que mais se aproxima dos objetivos deste trabalho e, por isso, os estudos nesta área nos servem de referência. Nestes estudos o enfoque principal está na posição relativa entre os elementos componentes do sistema. Existem outras temáticas relativas ao sistema urbano que também tem adotado abordagens de redes, tais como a questão da circulação e transportes e as redes de infra-estrutura. Entre tanto, as mesmas estão voltadas para a análise de distância entre elementos, distribuição de fluxos, redução de custos e distâncias, além da otimização das redes, questões estas distintas das que interessam ao estudo da ordem simbólica. Além disso, os grafos utilizados são valorados e muitas vezes direcionados, implicando no uso de ferramentas e procedimentos diferentes dos requeridos para abordagens que podem desconsiderar estes aspectos.

representação inadequada pode levar a um entendimento equivocado ou à observação de “ruídos”, ou seja, manifestações de comportamentos que não fazem sentido para os fenômenos analisados.

Nos estudos intra-urbanos podem ser identificados três critérios gerais de discretização do espaço urbano:

a) a manutenção da natureza geográfica do sistema urbano – embora não limitado a bi-dimensionalidade da superfície terrestre, o espaço urbano é, em sua essência, uma estrutura imersa num plano e, portanto, pode ser representado por um grafo planar¹⁷. Na representação do sistema urbano apenas uma forma de discretizar o espaço consegue atender ao quesito da planaridade: aquela onde as intersecções e as extremidades das vias são definidas como vértices e os trechos entre intersecções são descritos por arestas. Uma variante deste modo de representação são as representações semi-planares onde as eventuais não-planaridades do sistema tais como viadutos, pontes ou túneis são incorporados também de forma não planar no grafo, reproduzindo a dimensionalidade do espaço sendo representado. Estas representações são tidas como adequadas para situações onde a distância Euclidiana é importante, já que as mesmas permitem a junção da análise topológica com a métrica Euclidiana.

b) a descrição por unidades morfológica máximas – nesta categoria existem diversos princípios de discretização do espaço tais como: a máxima continuidade da linha de visão ou linhas axiais (Hillier e Hanson, 1984); a melhor continuidade direcional ou o ângulo de incidência entre os trechos de via nas intersecções (Thomson, 2003; Figueiredo e Amorim, 2005; Porta *et al.* 2006; Jiang *et al.* 2008); e o nome associado ao espaço (Jiang e Claramunt, 2004; Rosvall *et al.*, 2005). Todos estes princípios geram grafos não planares onde as parcelas de vias são representadas por vértices e as intersecções entre estas definidas como arestas. Os grafos apresentam uma alta dimensionalidade, cujo valor vai depender da configuração espacial específica do sistema. As unidades espaciais resultantes podem ser referidas como vias generalizadas e reproduzem a noção intuitiva de que são as ruas os elementos constituintes do espaço urbano e as conexões se dão através dos cruzamentos.

¹⁷ Um grafo planar é um grafo bidimensional cujo esquema pode ser traçado em um plano sem que duas arestas quaisquer se cruzem.

Assim, estas abordagens são menos geográficas¹⁸ e mais cognitivas, estando próximas da informação associada à navegação pela rede (Kalapala *et al.* 2006; Jiang, 2008; Wagner, 2008). Este predicado faz com que as mesmas sejam empregadas na caracterização topológica dos padrões de informação presentes na estrutura da cidade ou na navegação urbana (Rosvall *et al.* 2005).

c) a descrição por unidades morfológicas mínimas – nas representações deste tipo o espaço é discretizado em trechos de vias entre intersecções. Uma variante deste critério é a subdivisão dos trechos sempre que houver mudanças na continuidade da linha de visão ou alterações significativas na configuração morfológica do espaço. Os trechos e sub-trechos de via entre intersecções são transformados em vértices e, as conexões entre eles, em arestas. Este critério pode ser entendido como uma representação desagregada do critério anterior ou, ainda, como o inverso do primeiro. Os grafos gerados não são planares, mas apresentam uma dimensionalidade relativamente baixa.

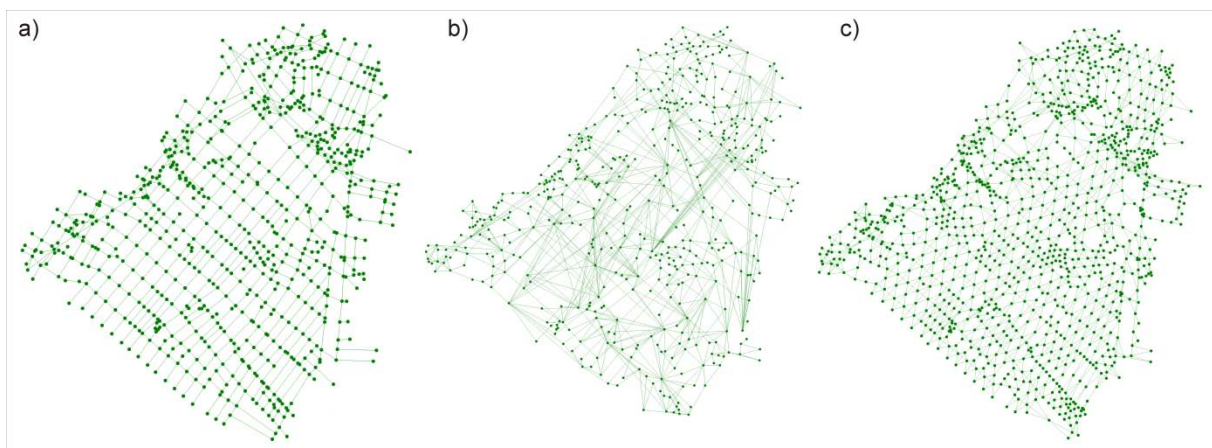


Figura 11 – Um mesmo sistema urbano representado segundo o critério de: (a) manutenção do caráter geográfico; (b) unidades morfológicas máximas definidas por linhas axiais; (c) unidades morfológicas mínimas considerando a continuidade da linha de visão.

As representações planares e semi-planares, oriundas da aplicação do primeiro critério, têm um caráter fortemente geográfico e permitem a localização precisa de seus vértices no espaço e a atribuição de uma distância real para as arestas. Estas características tornam esta discretização do espaço urbano freqüentemente o escolhido para as abordagens do espaço urbano centrados na

¹⁸ A natureza pouco geográfica destas redes deve-se a que a posição do vértice (um ponto) não representa de forma direta a posição geográfica do elemento por ele representado (uma linha).

questão de transporte e fluxos dentro da rede. No entanto, Jiang (2008) assim como Wagner (2008) defendem que esta representação não é adequada para descrever a estrutura espacial urbana. No entendimento dos referidos autores a capacidade de abordar questões topológicas ou de análise de redes com estas representações é limitada, já que as mesmas se limitam a representar as deformações de uma grelha regular bidimensional. Também é apontado que muitas das medidas tradicionalmente utilizadas em análises de redes perdem o sentido nestas representações. Estas últimas, para atenderem a uma análise de redes, requerem a incorporação de informações adicionais de carácter métrico e/ou funcional de forma a exibirem resultados viáveis.

Também merece atenção o fato das representações planares, na sua aplicação em sistemas intra-urbanos, terem freqüentemente como objeto de interesse o comportamento das arestas. Contudo, as análises da rede são feitas para os vértices, exigindo algum artifício para se determinar o comportamento das arestas. Esta questão fica mais evidente se observarmos os procedimentos utilizados por Porta *et al.* (2006a): as medidas são calculadas para a rede, definindo valores para os vértices e, posteriormente, é atribuído um valor para as arestas através da média dos valores de seus vértices limites. O procedimento é questionável, já que os vértices delimitadores da aresta carregam valores que não correspondem ao papel do trecho de via (representado pela aresta) na estrutura da rede.

As representações por unidades morfológicas máximas e mínimas, por outro lado, privilegiam as vias como objeto de interesse (Batty, 2004). Portanto, o objeto de interesse e o objeto de análise coincidem, facilitando a descrição da estrutura da rede. Neste sentido, as unidades morfológicas parecem mais adequadas para uma análise configuracional do espaço urbano. A escolha de uma ou outra forma de representação traz consigo algumas questões que merecem ser destacadas. Dalton *et al.* (2003) e Porta *et al.* (2006) observam que as unidades morfológicas máximas, de certa forma, são unidades espaciais que pode ser entendidas como um agregado de unidades mais elementares. Esta agregação é anterior à análise da rede e, portanto, os efeitos dessa agregação estão embutidos nos resultados obtidos com esta representação (Dalton *et al.* 2003; Porta *et al.* 2006a). Por outro lado, as unidades morfológicas mínimas podem ser consideradas unidades elementares ou

fundamentais (Jiang *et al.* 2008) e por isso eliminariam a interferência da pré-definição da continuidade espacial (Porta *et al.* 2006a). No entanto, com esta representação, as medidas tradicionais apresentam dificuldades em descrever a estrutura da rede (Dalton *et al.* 2003). Alguns trabalhos têm buscado superar estas dificuldades usando uma alternativa intermediária que seria o uso das unidades mínimas e a atribuição de pesos nas medidas tradicionais de forma a privilegiar as conectividades entre as unidades com maior ângulo de inflexão (Dalton *et al.* 2003; Hillier e Iida, 2005).

Baseado nas observações aqui levantadas pode-se colocar que as representações por unidades morfológicas máximas e mínimas estão mais próximas da questão configuracional do espaço urbano. Aparentemente, o uso das unidades máximas reforça as propriedades globais do sistema e pode indicar com mais facilidade os processos dinâmicos de crescimento urbano. O trabalho de Jiang e Claramunt (2004), onde foram usadas as noções de crescimento e acoplamento preferencial de Barabási, apontam nesse sentido. Também parecem se adequar com mais facilidade a abordagens cognitivas (Penn, 2003), já que as vias de circulação são intuitivamente os elementos mentalmente percebidos e codificados. As unidades mínimas, por outro lado, evidenciam as propriedades locais da rede e permitem um maior detalhamento de suas características. As mesmas também parecem adequadas a abordagens cognitivas e de navegação urbana. O uso de unidades mínimas permite, ainda, o surgimento das características globais da rede sem a indução resultante do uso de unidades agregadas.

Para o trabalho proposto a questão da planaridade e do caráter mais estritamente geográfico do sistema urbano não são relevantes. Um sistema definido tanto pelo espaço urbano como pelas concepções mentais a ele atreladas não é planar. Também se sabe pelos estudos da cognição ambiental que as relações entre componentes numa representação mental não retêm obrigatoriamente o caráter geográfico e euclidiano do sistema real. Por outro lado, a questão do nível de detalhamento permitido na representação, assim como o surgimento de características globais, são de fundamental importância para a análise da ordem simbólica. Deste modo, a opção de representação a ser adotada nas investigações é aquela definida por unidades morfológicas mínimas.

2.3.3 Procedimentos na descrição de redes urbanas

Nos estudos que abordam a configuração morfológica do espaço urbano dois procedimentos metodológicos na análise de redes podem ser observados: a análise exploratória dos dados na rede (feita de forma visual); e a análise estatística dos padrões de distribuição das variáveis. A primeira destaca o comportamento individual de cada componente e, principalmente, o padrão de distribuição espacial das variáveis. Já a segunda descreve a distribuição dos valores, definindo o comportamento global da rede.

A natureza geográfica, a importância da posição dos componentes no espaço e a ênfase no papel desempenhado por cada componente fez com que até recentemente os estudos com redes urbanas dependessem principalmente da análise visual para a sua interpretação. A análise visual do padrão de distribuição espacial das variáveis é um método analítico poderoso, auxiliando grandemente na compreensão da estrutura de uma rede espacial (Newman, 2003). No entanto, o método apresenta algumas limitações. Em primeiro lugar, redes muito grandes apresentam dificuldades para serem analisadas deste modo, principalmente pela necessária restrição do número de classes na visualização das variáveis. Com isto pode-se perder o detalhe e a compreensão de algumas características da estrutura da rede. A segunda questão é que algumas variáveis, principalmente medidas de caráter local, podem não apresentar nenhuma correlação com a posição relativa na rede, dificultando assim uma compreensão visual da medida.

Abordagens estatísticas em redes urbanas são mais recentes e ainda em número reduzido. Nos últimos anos as medidas tradicionais utilizadas nestas redes, antes analisadas apenas em seu padrão de distribuição espacial, passaram a ser alvo de interesse quanto ao seu padrão de distribuição estatístico. O uso ainda restrito deste método de análise parece estar relacionado com algumas dificuldades encontradas na sua aplicação para redes urbanas. Não obstante esta abordagem seja capaz de descrever a distribuição das variáveis enquanto um *ranking* de valores e suas correlações, permitindo com isso uma descrição do comportamento global da rede, a mesma não relaciona as medidas com sua localização no espaço, perdendo-se assim o caráter espacial na interpretação dos resultados. Outra dificuldade apresentada diz respeito ao tamanho das redes urbanas analisadas: as mesmas

são, em geral, pequenas demais para uma abordagem estritamente estatística, dificultando a obtenção de resultados inequívocos e confiáveis.

Uma questão que afeta ambos os procedimentos é o uso de áreas parciais ou recortes do sistema urbano. O mesmo introduz o “efeito de borda” e pode distorcer os resultados obtidos por componente, afetando com isso a análise visual. O problema é menos sentido na análise estatística, onde a ênfase é no comportamento da rede como um todo. Alguns autores como Jiang (2007) defendem que o uso de uma amostra em vez de todo o sistema não chega a afetar o padrão estatístico observado, desde que o recorte não seja pequeno demais ou definido de forma inadequada.

No caso das redes urbanas parece que ambos os métodos de análise são complementares e necessários. Tanto as características individuais dos componentes e a sua distribuição espacial, identificadas com a análise exploratória, quanto o entendimento do comportamento global das variáveis na rede, descrito pela análise estatística, são fundamentais para a compreensão da estrutura da rede.

Além da própria descrição da estrutura da rede urbana, alguns estudos utilizam as medidas que descrevem a rede e seus componentes em procedimentos complementares onde é verificada a existência de correlações entre a estrutura da rede e seus aspectos funcionais.

2.3.4 Medidas e resultados na descrição das redes urbanas

As medidas que descrevem a estrutura das redes espaciais urbanas podem sucintamente ser resumidas como pertencentes a três grandes grupos conforme descrito a seguir.

2.3.4.1 Medidas de descrição topológica

As medidas topológicas têm sua origem na teoria dos grafos e estudos de redes não espaciais. Fazem parte desta categoria as medidas vistas anteriormente tais como o grau do vértice, correlações na conectividade dos vértices, nível de transitividade, diâmetro e distância média entre os vértices da rede, etc. Nestas medidas as conseqüências da adoção de um sistema de representação ou outro

tornam-se bastante visíveis nas análises estatísticas, onde os comportamentos observados para as diferentes representações são aparentemente contraditórios.

Nos trabalhos que adotam uma representação por unidades morfológicas máximas, por exemplo, o grau dos vértices não sofre grandes restrições físicas, já que uma rua pode conceptualmente possuir um número quase ilimitado de intersecções. Este tipo de representação leva a uma distribuição do grau do vértice seguindo uma lei de potência com um expoente próximo de 2 (Jiang, 2007; Jiang *et al.* 2008) ou com uma cauda mais pesada que não segue estritamente uma lei de potência (Porta *et al.* 2006; Jiang e Claramunt, 2004; Wagner, 2008), dependendo do critério de discretização adotado e do tamanho da rede analisada.

Por outro lado, nos trabalhos que adotam as representações planares ou por unidades morfológicas mínimas, o grau dos vértices passa a ser limitado por constrangimentos geográficos bastante fortes (Crucitti *et al.* 2006). Nestas, a distribuição do grau do vértice é aproximadamente Gaussiano com uma forte concentração dos valores junto à média (Xie e Levinson, 2007; Jiang *et al.* 2008). Por isso alguns autores afirmam que o grau do vértice perde seu poder descritivo nestas representações, enquanto nas representações por unidades morfológicas máximas o mesmo define um *ranking* do nível de conectividade apresentado por cada via. Os resultados são contraditórios, pois, conforme foi observado antes, redes semi-regulares ou com distribuições de sua conectividade seguindo um padrão Gaussiano possuem características topológicas muito distintas daquelas descritas para redes com leis de potência.

O diâmetro e a distância média que separa os vértices dentro da rede também apresentam resultados distintos por tipo de representação. As diferenças no nível de fragmentação do espaço urbano fazem com que as representações por unidades morfológicas máximas apresentem valores muito mais baixos que as demais representações, mas a diferença mais significativa está na relação entre estas medidas e o tamanho da rede. Representações por unidades morfológicas máximas apresentam, na média, distâncias curtas entre os vértices, com valores próximos ou levemente mais altos que os encontrados em redes randômicas de mesma ordem (Porta *et al.* 2006; Buhl *et al.* 2006; Jiang, 2007), fazendo com que as mesmas sejam consideradas *small-worlds* por alguns autores (Jiang e Claramunt, 2004). Embora não abordado nestes estudos, sabe-se que as redes com estas

características possuem um diâmetro que varia como uma lei de potência ou logaritmicamente com o tamanho da rede (Csányi e Szendrői, 2004). Por outro lado, as representações planares e semi-planares possuem um diâmetro que varia com a raiz quadrada do tamanho da rede, similarmente ao que acontece com qualquer rede bidimensional (Gastner e Newman, 2006a). Novamente os resultados levam a características topológicas bastante distintas.

A medição do nível de transitividade das redes urbanas apresenta algumas limitações já que nestas redes, independente da forma de representação, a presença de ciclos de comprimento 3 é bastante limitada. Isto tem levado a que diversos autores defendam o uso de ciclos maiores na definição da transitividade da rede (Jiang e Claramunt, 2004; Buhl *et al.* 2006). Para as representações por unidades morfológicas máximas, o nível de transitividade usando ciclos de comprimento 3 é maior que o encontrado em redes randômicas para traçados urbanos altamente irregulares ou orgânicos, e muito menor no caso de predomínio de traçados em grelha (Porta *et al.* 2006). Com o uso de ciclos de comprimento 4 a transitividade passa a ser significativamente maior do que aquela presente numa rede randômica para qualquer tipo de traçado, e o padrão distributivo da medida segue uma lei de potência para as cidades em grelha e um decaimento exponencial para os demais tipos de malha (Jiang e Claramunt, 2004). Não foram encontrados trabalhos que utilizassem esta medida nos demais tipos de representações, mas a partir dos estudos gerais de redes sabe-se que seus grafos resultantes também apresentariam altos níveis de transitividade, principalmente se a medida for definida por ciclos de comprimento 4. Assim, o alto nível de transitividade, definido de uma forma mais ampla, é uma característica inerente à estrutura espacial urbana, independentemente da forma de representação.

Outras propriedades topológicas das redes urbanas representadas por unidades morfológicas máximas são a tendência à disassortatividade em cidades de traçado irregular ou orgânico (Porta *et al.* 2006) e a presença de correlações negativas entre grau do vértice e nível de transitividade, indicando uma hierarquização do sistema (*ibid.*). As representações planares também são tidas como disassortativas (Buhl *et al.* 2006).

As discrepâncias entre os resultados com os diferentes modos de representação não invalidam o uso de redes para estudar o problema da

configuração espacial urbana, apenas indicam que está se olhando para diferentes aspectos da sua estrutura. Também indicam que o efeito da agregação das unidades mínimas do espaço muda de forma muito significativa as características de caráter global da rede, enquanto não altera na mesma proporção suas características locais.

2.3.4.2 Medidas baseadas na conectividade indireta entre elementos

Um aspecto fundamental nas redes espaciais urbanas é a influência das relações indiretas entre os pares de vértices na funcionalidade da rede. Assim, existe um conjunto de medidas largamente utilizadas nos estudos urbanos baseadas nos caminhos conectando pares de vértices na rede. Estas medidas requerem que se definam os percursos através dos quais se estabelecem as relações indiretas entre vértices. Usualmente as conectividades indiretas são definidas através do computo do caminho mínimo (ver p. 27) definido de forma topológica, geométrica ou temporal. No entanto, nos últimos anos também aparece o uso de percursos aleatórios na definição de variantes destas medidas (Jespersen e Blumen, 2000; Newman, 2005; Volchenkov e Blanchard, 2007; Wagner, 2008; Blanchard e Volchenkov, 2009).

Independentemente do método de definição dos percursos, este conjunto de medidas está embasado em dois conceitos fundamentais: acessibilidade e centralidade.

a) Medidas baseadas no conceito de acessibilidade: a acessibilidade é um atributo dos vértices que define e caracteriza a conectividade da rede a partir do ponto de vista de cada vértice específico. Um vértice é acessível na medida em que pode ser alcançado dentro da rede, portanto, as medidas de acessibilidade definem o “esforço” necessário para se alcançar todos ou certos vértices a partir de um vértice em particular. As medidas de acessibilidade utilizadas em transportes, as medidas de integração utilizadas na sintaxe espacial (Hillier e Hanson, 1984) e a medida de centralidade por proximidade (Crucitti *et al.* 2006; Porta *et al.* 2006a) estão entre as diversas medidas que se encaixam nesta categoria¹⁹.

¹⁹ As medidas que descrevem a forma topológica da rede baseadas em distância entre vértices, quando expressas por vértice, também se encaixam nesta categoria.

As medidas de acessibilidade têm sido aplicadas sistematicamente em representações por unidades morfológicas máximas pelos trabalhos da sintaxe espacial, mas os mesmos raramente realizam as análises estatísticas requeridas para se entender o comportamento geral das redes sendo estudadas. Os referidos trabalhos concentram-se no desempenho de cada elemento e na correlação deste com aspectos funcionais e sociais da rede, onde têm sido reportados inúmeros resultados de correlações significativas.

Nas representações por unidades morfológicas mínimas e nas representações planares ou semi-planares as medidas de acessibilidade perdem sua força descritiva, limitando-se a determinar a região onde está localizado a mediana ou centróide do grafo (Dalton *et al.* 2003; Crucitti *et al.* 2006; Porta *et al.* 2006a). A tendência dos mais altos valores se concentrarem no centro geométrico da rede é inerente à medida e aparece mesmo nas representações por unidades morfológicas máximas, embora de forma menos evidente (Figueiredo e Amorim, 2005; Porta *et al.* 2006a).

Foram encontrados poucos trabalhos abordando o padrão distributivo das medidas de acessibilidade. Porta *et al.* (2006a), usando um recorte retangular de dimensões modestas, encontraram uma distribuição aproximadamente Gaussiana tanto nas representações por unidades morfológicas máximas quanto nas planares usando distâncias métricas. Usando estas mesmas representações planares, Crucitti *et al.* (2006) afirmam que o padrão distributivo se repete de forma similar em diferentes tipos de traçados urbanos. O trabalho de Wagner (2008) detectou um padrão rescaled-Poisson ou Weibull para cidades inteiras representadas por unidades morfológicas máximas e com características espaciais bastante diversas. Para Wagner (*ibid.*), embora os dois tipos de padrões distributivos sejam bastante próximos, parece haver uma correlação entre o padrão distributivo e a estrutura funcional da cidade. O melhor encaixe do primeiro padrão, onde a distribuição dos valores de acessibilidade é mais concentrada, estaria relacionado com uma tendência da cidade ser dominada por um centro de serviços global forte. Já o padrão Weibull, com uma distribuição mais ampla dos valores, corresponderia a uma maior probabilidade da cidade apresentar diversos centros locais.

b) Medidas baseadas no conceito de centralidade: a idéia de centralidade está fundamentada no fato de que as interações entre vértices não adjacentes

obrigatoriamente dependem da mediação realizada por outros vértices e que, de alguma forma, estes últimos se beneficiam das relações indiretas e/ou têm acrescida a sua relevância para o funcionamento da rede. Assim, nesta classe de medidas, o valor do vértice é definido pelo seu papel enquanto intermediário entre as inter-relações que ocorrem entre elementos não adjacentes. As medidas de centralidade aparecem originalmente na sociologia estrutural em trabalhos como os de Freeman (1977 e 1979) e têm sido amplamente empregadas nas redes espaciais e urbanas sob diversas formulações.

A medida de centralidade mais empregada nos estudos urbanos é a Centralidade por Peripasse (Freeman, 1979), computada como o número de caminhos mínimos que passam pelo vértice. Esta medida é empregada por Crucitti *et al.* (2005) e Porta *et al.* (2006a) num número significativo de áreas urbanas usando um recorte de tamanho modesto. Nas representações por unidades morfológicas máximas foi constatado um padrão distributivo exponencial ou, no caso de traçados mais irregulares, tendendo a uma lei de potência (Porta *et al.* 2006a). Nas representações planares com as arestas valoradas em termos de distância geométrica, o padrão de distribuição é exponencial para traçados irregulares ou orgânicos e aproximadamente Gaussiano para traçados onde predomina a grelha. Nestes últimos, a medida foi capaz de capturar as ruas estruturais (Crucitti *et al.* 2005; Crucitti *et al.* 2006; Porta *et al.* 2006a). Já Lämmer *et al.* (2006), usando cidades inteiras e representações planares com arestas valoradas em termos de distância temporal, encontraram sempre distribuições que seguem uma lei de potência com expoentes que variam aproximadamente de 1,3 a 1,5. As diferenças nos resultados em relação aos obtidos por Crucitti *et al.* (2005) e Porta *et al.* (2006a) possivelmente são decorrentes do critério diferenciado na valoração das arestas e principalmente do tamanho e recorte das redes analisadas. Os resultados de Lämmer *et al.* (2006) parecem confirmar a observação de Barabási *et al.* (2004) de que quando existem fluxos de algum tipo na rede, seja ela espacial ou não, a mesma apresenta a tendência a que uma fração pequena dos vértices seja responsável pela passagem de grande parte do fluxo.

Também nas medidas baseadas em centralidade a interferência do efeito de borda pode ser sentido nas representações planares, embora sem a mesma intensidade apresentada pelas medidas baseadas em acessibilidade.

Cabe ressaltar que, para redes não espaciais, a medida de Centralidade por Peripasse encontra-se relacionada com a eficiência da rede, já que a remoção dos vértices com maiores valores acarreta num incremento das distâncias médias na rede (Newman, 2000). Para este aspecto da medida não foram encontrados estudos com redes espaciais e redes urbanas. Outra característica das medidas de centralidade em redes não espaciais é a tendência a apresentar uma correlação positiva com o grau do vértice. Nas redes espaciais esta característica não se verifica, sendo comum a existência de “anomalias” nesta correlação (Guimerà *et al.* 2005; Barrat *et al.* 2005). A presença de vértices com altos valores de centralidade e reduzido número de conexões e vice-versa nestas redes é uma consequência da localização geográfica do vértice e dos constrangimentos oriundos do “custo” das conexões (Barrat *et al.* 2005). Também para esta questão não foram encontrados estudos específicos para redes espaciais urbanas.

2.3.4.3 Medidas de descrição da funcionalidade da rede

Nos trabalhos que tratam da análise de redes espaciais urbanas dois aspectos relativos à funcionalidade da estrutura da rede são abordados: sua robustez ou vulnerabilidade estrutural e a eficiência dos percursos.

a) Eficiência dos percursos: a ideia de eficiência pressupõe a comparação entre o comportamento apresentado pelo sistema e um comportamento considerado ideal ou ótimo: quanto mais próximo desse ideal, mais eficiente é considerado o sistema. Latora e Marchiori (2001) definem a eficiência do espaço urbano baseado na possibilidade de percursos entre todos os pares de vértices da rede. Assim, a eficiência é definida como a razão entre a média do comprimento (métrico ou topológico) de todos os caminhos mínimos conectando todos os pares de vértices e a média do correspondente grafo completo.

Buhl *et al.* (2006) aplicam essa medida de eficiência em recortes com dimensões modestas de áreas urbanas de traçados irregulares usando representações planares. A eficiência da rede tanto em termos geométricos (distâncias euclidianas a serem percorridas), quanto em termos topológicos (número de passos a serem percorridos) foi encontrada como estando positivamente correlacionada com o número de ciclos presentes na rede. Testes adicionais indicaram que a eficiência

aumenta de forma significativa com a presença de alguns poucos ciclos e se satura antes da rede chegar próximo a uma estrutura em grelha (*ibid.*).

Cabe ressaltar que a presença de ciclos não é uma condição *sine qua non* para uma rede espacial ser eficiente. A condição é válida para redes onde os percursos se dão potencialmente entre todos os pares de vértices, como é o caso das redes urbanas. Em redes onde todos os percursos são originados ou destinados a um vértice “raiz”, como no caso de redes de abastecimento e alguns tipos de transporte, a definição de eficiência muda e o número de ciclos não melhora o desempenho da rede (Latora e Marchiori, 2002; Gastner e Newman, 2006b).

b) Robustez e vulnerabilidade: a robustez das redes espaciais urbanas é abordado por Buhl *et al.* (2006) nas mesmas representações planares. Os autores afirmam que a robustez presente nas redes urbanas é bastante distinta da apresentada por redes aleatórias e que existem diferenças significativas entre cidades. Nas representações planares, a robustez aparece positivamente correlacionada com diversas características topológicas. Redes com maior robustez apresentam maior número de ciclos, independente do tamanho dos mesmos. São assortativas, ou seja, as conexões entre vértices dão-se preferencialmente entre aqueles com graus similares. Apresentam uma distribuição do grau do vértice com um intervalo de abrangência maior, significando maior heterogeneidade e, conseqüentemente, malhas urbanas mais irregulares. Possuem mais altos valores no nível de eficiência dos percursos. Testes adicionais indicaram que as remoções aleatórias e as dirigidas aos vértices mais bem conectados apresentam diferenças nos resultados e, similarmente ao que acontece em redes não espaciais, há uma fragilidade maior nas remoções dirigidas.

O trabalho de Buhl *et al.* (2006) também indica que, pelo menos para as representações planares, o tamanho da rede interfere nos resultados do nível de robustez, onde redes maiores tendem a apresentar valores mais altos. Embora não confirmado para outros tipos de representação, esta questão indica a necessidade de cuidados ao se fazer uma análise comparativa entre redes de ordem e/ou tamanho distintos.

2.3.5 Correlações entre aspectos geométricos e topológicos em redes urbanas

Alguns esforços têm sido feitos na última década no sentido de achar correlações significativas entre os aspectos topológicos e geométricos das redes espaciais urbanas. As análises se baseiam na definição do padrão de distribuição do comprimento das unidades espaciais do sistema e na subsequente avaliação de suas correlações com as medidas topológicas da rede.

Para as representações planares o aspecto geométrico das distâncias, ou comprimento das unidades espaciais, está associado às arestas, portanto o padrão de distribuição do comprimento é referente a estas últimas. Usando áreas urbanas em recortes de dimensões modestas Crucitti *et al.* (2005) encontraram distribuições aproximadamente Gaussianas para traçados irregulares e distribuições multimodais para traçados onde predomina a grelha. Estes resultados, embora com valor limitado devido ao tamanho do sistema analisado, parecem indicar que o padrão distributivo dos comprimentos pode descrever de alguma forma alguns aspectos genérico da forma urbana. Para este tipo de representação nenhuma análise de correlação com medidas topológicas foi encontra.

As representações por unidades morfológicas máximas apresentam uma gama mais significativa de resultados. Nestas, o comprimento está associado aos vértices da rede e corresponde ao comprimento da unidade espacial por eles representado. Para estas representações o padrão distributivo é reportado como normalmente seguindo uma lei de potência (Carvalho e Penn, 2004; Figueiredo e Amorim, 2005; Jiang, 2007; Jiang *et al.* 2008), apenas as malhas em grelha apresentam um comportamento diferente (Jiang, 2007). Carvalho e Penn (2004) identificam que, independente do tamanho do sistema urbano considerado, as distribuições com expoente ≈ 2 correspondem a sistemas onde existem linhas axiais que atravessam a cidade como um todo, enquanto as com expoente ≈ 3 não apresentam esta característica. Existe ainda, uma pequena classe de cidades que não se encaixa nas categorias acima, possuindo valores menores que 2 ou valores intermediários entre 2 e 3.

Para os referidos autores os sistemas urbanos com expoente ≈ 2 apresentam um dominância das estruturas geométricas globais e os de expoente ≈ 3 possuem uma dominância de estruturas geométricas locais. As poucas cidades com expoente

menores que 2 possuem estruturas geométricas globais extremamente fortes e as com expoentes intermediários entre 2 e 3 possuem influências intermediárias entre locais e globais. Assim, quanto mais baixo o valor do expoente, maior o número de unidades espaciais longas, e maior a influência da estrutura geométrica global.

A partir do trabalho de Carvalho e Penn (2004), Wagner (2008) realiza uma análise de correlação do padrão distributivo do comprimento das unidades espaciais com o padrão distributivo das distâncias topológicas entre pares aleatórios de vértices. Embora a distribuição das distâncias topológicas em todas as cidades analisadas se aproxime de um padrão Gaussiano, existem diferenças sutis entre os sistemas analisados que estão quantitativamente correlacionados com o padrão de distribuição do comprimento das unidades espaciais. Distribuições do comprimento das unidades espaciais com expoente ≈ 2 e, portanto, com uma variação maior no comprimento, apresentam uma distribuição das distâncias topológicas mais concentrada junto à média da rede. Por outro lado, as distribuições do comprimento com expoente ≈ 3 , onde existe uma menor variação no comprimento das unidades espaciais, possuem distribuições da distância topológica menos concentrada junto à média. Para Wagner (2008) estes achados indicam a existência de um vínculo efetivo entre os aspectos métricos e topológicos da estrutura urbana. Em termos da funcionalidade da rede, Wagner (2008) coloca como hipótese que o primeiro caso estaria relacionado com cidades que possuem um único centro urbano forte, enquanto o segundo caso corresponderia a cidades com um conjunto de centros locais espalhados pela malha.

O comprimento das unidades espaciais em representações por unidades morfológicas máximas também é reportada com estando positivamente relacionada com o grau do vértice (Figueiredo e Amorim, 2005; Jiang, 2007). Já as correlações com as medidas de acessibilidade não são significativas (Figueiredo e Amorim, 2005).

Os resultados das correlações entre aspectos geométricos e topológicos das redes urbanas representadas por unidades morfológicas máximas parecem bastante triviais. Intuitivamente, é de se esperar que unidades espaciais com maiores comprimentos tenham maior número de conexões. Também não é nenhuma surpresa que as redes urbanas com um maior número de unidades espaciais longas consigam homogeneizar mais as distâncias topológicas entre os elementos da rede.

No entanto, a aparente existência de princípios invariantes que governam a estrutura e, portanto a dinâmica, das redes espaciais urbanas não é tão óbvio assim. A possibilidade de descrever as redes urbanas através do comportamento estatístico de suas características métricas ou topológicas, como o que aparece nos trabalhos de Carvalho e Penn (2004) e Wagner (2008), e a subsequente possibilidade de classificar sua estrutura morfológica ou correlacionar o comportamento estatístico com a funcionalidade da rede não são coisas triviais e representam um avanço nos estudos urbanos.

3. COGNIÇÃO AMBIENTAL URBANA E ORDEM SIMBÓLICA

O presente capítulo traz uma revisão geral de trabalhos na área da cognição e, mais especificamente, da cognição ambiental urbana, considerados importantes para a formação do conceito de ordem simbólica. Neste mesmo sentido, são apresentados trabalhos que investigam a cognição ambiental com o auxílio da modelagem e levantadas relações entre conceitos da cognição e de redes. Por fim, são traçados os entendimentos que servem de base para a definição da ordem simbólica.

A revisão da área cognitiva também serve de referência para a avaliação dos resultados obtidos nos estudos empíricos expostos nos capítulos 7 e 8, tendo importância tanto para a interpretação dos resultados, quanto para a validação do modelo de simulação.

3.1 Teorias da cognição e o processamento da informação ambiental

No trabalho aqui apresentado segue-se o entendimento de que não há uma efetiva separação entre percepção e cognição (Arnheim, 1969: 13; Kintsch, 1970; Downs e Stea, 1973; Rapoport, 1977; Ittelson, 1978; e Passini, 1992: 59-60), portanto, não serão feitas distinções entre os processos perceptivos e cognitivos envolvidos na cognição ambiental, a não ser quando referidos pelos autores citados. Será adotado o termo "cognição" conforme aparece em Arnheim (1969) e Altman e Chemers (1989: 44) onde o mesmo tem seu significado estendido para incluir a percepção. Desta forma, o termo "cognição ambiental" será usado para se referir aos processos de interação do indivíduo com seu ambiente, englobando (Arnheim, 1969: 13; Rapoport, 1977: 30-37; Gärling e Golledge, 1989):

- a) a experiência sensorial do ambiente – referente a “coleta” de informação do e sobre o ambiente;
- b) a compreensão, classificação e reconhecimento ambiental - diz respeito aos processos de codificação, categorização e atribuição de significado às informações coletadas;
- c) o ordenamento e armazenamento - concernente aos processos de organização e estocagem de informações para uso futuro;

d) a avaliação ambiental – diz respeito aos julgamentos, avaliações, decisões e escolhas feitas com base na informação internamente representada.

Estes processos implicam em sucessivas interações entre aquele que estrutura as informações e o ambiente, que contém grande parte das informações a serem processadas. Portanto, a cognição ambiental é um processo dinâmico que se prolonga no tempo. São de interesse para o trabalho as três primeiras questões envolvidas na cognição ambiental, não sendo aqui abordada de forma direta a última questão.

A cognição ambiental serve ao propósito de mediar as relações do indivíduo com o seu ambiente e, para tanto:

- a) dota de sentido as informações ambientais;
- b) estrutura as informações coletadas de modo a tornar mais fácil a navegação urbana;
- c) busca informações que ajudem na definição da localização espacial;
- d) reduz a carga de informação ambiental necessária para realizar as tarefas cotidianas.

Por conseguinte, a cognição ambiental é essencialmente uma atividade utilitária, voltada para a viabilização de toda e qualquer tarefa que requer a interação entre o indivíduo e seu ambiente.

Enquanto área de investigação, a cognição ambiental urbana utiliza-se de diversos conceitos e abordagens mais amplos, advindos da área dos estudos cognitivos. As bases teóricas empregadas e as ênfases voltadas para um ou outro aspecto envolvido nos fenômenos observados definem diferentes linhas teóricas dentro da cognição ambiental. A literatura apresenta várias alternativas na divisão e distinção teórica dos trabalhos realizados na área. A revisão aqui apresentada das diferentes abordagens não é exaustiva, no sentido de traçar um quadro completo da área. A mesma foi montada especificamente com o intuito de trazer subsídios para o lançamento de hipóteses de representação da ordem simbólica. Assim, as abordagens gerais de referência são apresentadas apenas em seus aspectos relevantes para o trabalho em questão.

3.1.1 Abordagens centradas nos processos de interação ecológica com o ambiente

Os trabalhos que se encaixam nesta categoria usam como suporte a teoria ecológica de Gibson (1986) que defende a cognição ambiental como um processo direto, imediato, não necessitando de processamento interno mediado por representações mentais ou neurológicas. Os sistemas perceptivos de cada espécie animal teriam evoluído no sentido de se tornarem capazes de perceber as condições funcionalmente significantes do ambiente estando, portanto, adaptadas às necessidades das interações animal - ambiente.

Nesta abordagem, a percepção do ambiente depende da atividade denominada de *information pick-up* que inclui a atividade exploratória de olhar ao redor, movimentar-se e olhar para as coisas (Gibson 1986: 147). A cognição ambiental é vista como um sistema ativo, que capta a informação significativa por meio da luz refletida pela disposição das diferentes superfícies no ambiente.

A interpretação da cognição ambiental enquanto processo direto está assentada sobre três entendimentos:

- a) as propriedades do ambiente externo são responsáveis pela estrutura da percepção;
- b) a informação captada já é significativa em si, não necessitando de futuros processamentos cognitivos;
- c) a percepção está condicionada pelo funcionamento do sistema perceptivo e este é o resultado da interação continuada entre uma determinada espécie e seu ambiente. Sendo, em grande parte, específico para cada espécie de organismo.

Os significados, na concepção ecológica de Gibson, são os *affordances*. Os *affordances* resultam diretamente da informação disponível no ambiente, já que a percepção implica em perceber valores e significados (*ibid.*: 140). *Affordances* são decorrentes das propriedades específicas do objeto ou ambiente e da interpretação do indivíduo, refletindo as potencialidades ou relações de possibilidade entre os indivíduos e seu ambiente.

A capacidade de perceber os *affordances* é colocada como parecendo ser inata ou uma função da maturidade psicológica humana. No entanto, Gibson admite

a existência de *affordances* resultantes da aprendizagem social. Estes seriam referentes a processos adaptativos de mais alto nível - os processos culturais - e, neste sentido, também estariam relacionados com valores e atributos simbólicos ou socialmente construídos. Um *affordance* é geralmente válido para todos os indivíduos de uma espécie (Gibson, 1986: 141), e os valores são percebidos para si e para os outros dentro do processo de socialização. Desta forma, pode ser colocado que os mesmos são qualidades coletivamente perceptíveis do ambiente.

3.1.2 Abordagens centradas no processamento seqüencial das informações ambientais

Os trabalhos que seguem abordagens centradas no processamento seqüencial das informações ambientais assumem a cognição ambiental como um processo de sucessivos processamentos da informação, onde os estágios iniciais são mais perceptivos e os consecutivos tornam-se cada vez mais elaborados cognitivamente.

Nesta visão da cognição ambiental, a apreensão das informações ambientais é indireta - no sentido de que depende de elaborações que não estão diretamente acessíveis no estímulo ambiental. Toda a informação coletada do ambiente seria processada de modo a ser codificada e adquirir significado. Os processos de codificação podem ser variados, entre os quais se destacam os processos de categorização das informações²⁰. Estes processos de codificação transformam a informação sensória em informação estruturada, passível de ser guardada na memória e de ser elaborada enquanto uma concepção mental abstrata.

Assim, as informações ambientais são mediadas por concepções e representações mais abstratas, construídas com base nos dados coletados do estímulo e de outras estruturas de conhecimento formuladas e continuamente reformuladas pelo indivíduo ao longo da vida.

Grande parte dos trabalhos de cognição ambiental assumem esta abordagem sob diferentes formulações quanto ao detalhamento dos diversos processos

²⁰ Os processos de categorização apresentam uma vasta literatura (Rosch, 1975; Rosch *et al.* 1976; Mervis e Rosch, 1981; Tversky e Hemenway, 1983; Lakoff, 1987; Palmer, 1999; Rosch, 1999; Murphy e Medin, 1999; entre outros) e, por sua implicação apenas indireta para o estudo da ordem simbólica, não serão alvo de revisão.

envolvidos e quanto ao modo como os mesmos interferem na estruturação das informações ambientais.

3.1.3 Abordagens centradas em processamentos múltiplos da informação ambiental

Nesta categoria ficam incluídos os trabalhos que procuram realizar uma visão de síntese, buscando incorporar num mesmo corpo teórico diversos entendimentos sobre a cognição. Parte do princípio que o comportamento humano resulta da sobreposição da atividade de muitos sistemas “modulares” parcialmente independentes, que seriam responsáveis pela cognição ambiental. Não existindo, aparentemente, um centro único de controle neurológico sobre estes processos. Dentro desta perspectiva, torna-se pouco provável que qualquer teoria de princípio único (como as abordagens apresentadas anteriormente) possa explicar sozinha todos os processos envolvidos na cognição ambiental.

A abordagem de Neisser (1994) encaixa-se nesta categoria e assume que existem pelo menos três sistemas básicos cujo funcionamento, separado ou em conjunto, é responsável por muitos dos processos envolvidos na cognição ambiental. Haveria um módulo de percepção direta, responsável pela capacidade de perceber e atuar efetivamente no ambiente local. Um módulo referente a percepção interpessoal que subordina as interações sociais imediatas com outros seres humanos. E um módulo de representação e reconhecimento, responsável pelo modo como identificamos e respondemos apropriadamente a objetos e situações familiares. Os módulos de percepção direta e de representação e reconhecimento são os mais intimamente relacionados com a cognição ambiental e encontram-se descritos a seguir.

O módulo de percepção direta é um sistema que capacita os indivíduos a perceberem a situação ecológica imediata. Estão incluídas neste módulo a identificação de localização, movimentação e forma dos objetos próximos, assim como a posição, movimentação e possibilidades de ação do próprio observador. A percepção direta está envolvida na parcela dos processos perceptivos que dão acesso à informação do *layout* geral do ambiente e certos *affordances* oferecidos por este. É importante salientar que este tipo de percepção não implica no reconhecimento ou categorização dos objetos, nem na referência a representações

estocadas na memória, pois todas as informações relevantes são referentes às propriedades visíveis.

O módulo referente ao sistema de representação e reconhecimento é responsável pela identificação da informação disponível através da congruência entre esta e a informação armazenada na memória, advinda de uma situação anterior. Este módulo é aplicado no reconhecimento de objetos, ambientes, situações ou eventos, e na designação destes a categorias específicas. São utilizadas informações das características de superfície dos objetos e informações social e culturalmente formuladas que fazem parte do repertório do indivíduo. A representação e reconhecimento se caracterizam, ainda, por usar diversos níveis de informação (mais ou menos específicos) e por existir sempre uma chance residual de erro dentro do processo (Neisser, 1994).

As três abordagens analisadas aqui assumem que as informações ambientais são necessariamente conhecimento estruturado e significativo, mas divergem no entendimento de como a cognição humana chega a essa estrutura e significado.

No presente trabalho será assumido que a estruturação da informação ambiental é um processo complexo de seleção, identificação, aglutinação e ordenamento na busca de uma organização eficiente das informações disponíveis no ambiente²¹. Neste processo de organização das informações ambientais podem estar presentes diferentes modos de apreensão do ambiente tanto diretos quanto indiretos.

Também é assumido que o modo como a estruturação é realizada depende: da natureza do estímulo (as características daquilo que é percebido); do contexto onde está inserido (suas relações com o entorno); da fisiologia da percepção (características biológicas dos órgãos receptores); da natureza dos processos

²¹ Quando se fala em informação ambiental, na verdade se está referindo a toda informação relevante disponível, incluindo: as pistas provenientes do ambiente, o conhecimento prévio do indivíduo e as fontes de informação ambiental indiretas como mapas, comunicados, propagandas, etc. (Passini, 1992; 54).

cognitivos (condicionados em termos biológicos, culturais e individuais); e do contexto interno (expectativas, motivações e objetivos) específico do indivíduo.

A partir destes diversos constrangimentos ou condicionantes no processamento das informações surgem estruturas de conhecimento ambiental que possuem graus distintos de interferência dos aspectos pessoais. O reconhecimento destes constrangimentos e das variações de generalidade nas informações fazem com que vários autores formulem modelos esquemáticos da cognição ambiental como uma sucessiva passagem das informações advindas do ambiente por diversos filtros, dos mais gerais aos mais particulares.

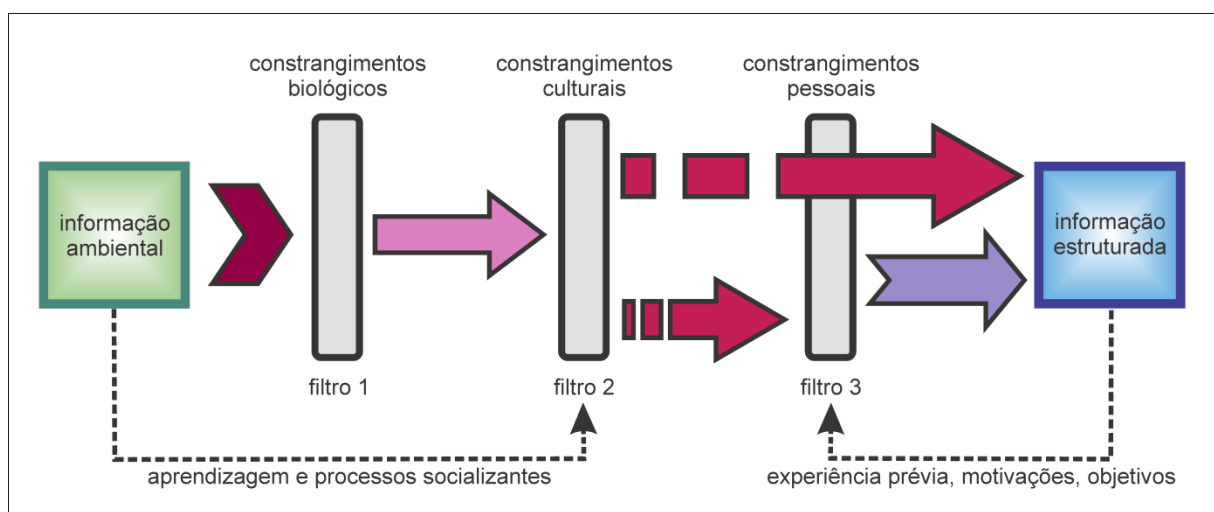


Figura 12 – A estruturação das informações ambientais através de diversos filtros. Adaptado de Rapoport (1977; 38) e Kintsch *et al.* (1997).

Nestes modelos a organização da informação ambiental é descrita como um processo de transformação das informações disponibilizadas pelo ambiente em informação significativa, no qual cada filtro seleciona e organiza sob determinadas condições, tornando o significado cada vez mais particular e mais específico. O filtro inicial, referente aos constrangimentos biológicos, é resultante da evolução biológica das espécies e comum a seus indivíduos. O filtro intermediário corresponde a constrangimentos sócio-culturais e outros valores resultantes do processo de socialização do indivíduo. As informações resultantes desta filtragem também apresentam elevado grau de generalidade para os indivíduos de um mesmo grupo sócio-cultural. O último filtro é referente a questões psicológicas individuais, dependentes do sistema interpretativo pessoal, assim como de valores e expectativas específicos (Del Rio, 1991; 127). Estes dois últimos filtros trabalham

necessariamente com os aspectos indiretos da percepção das informações ambientais.

Esta interpretação dos processos de organização das informações ambientais aponta para a possibilidade de se abordar a cognição ambiental dentro de diferentes níveis de generalidade. Em termos teóricos seria possível criar um recorte na cognição ambiental de forma a abordar apenas as questões mais gerais, independentes do processo de filtragem por fatores pessoais.

O modelo esquemático apresentado é bastante simplista e está longe de ser uma interpretação realista da complexidade presente na cognição ambiental. Porém, o mesmo tem como mérito apontar para a existência de procedimentos na estruturação da informação ambiental que não são influenciados de forma significativa pelas especificidades individuais. Na literatura aparecem diversos processos de organização das informações que se encaixam nessa categoria. São estes processos, comuns aos indivíduos de um amplo grupo cultural, que facilitam as concordâncias na apreensão do ambiente urbano e, portanto, encontram-se envolvidos na formação da ordem simbólica.

3.2 Os aspectos cognitivos envolvidos na organização das informações ambientais

O modo como as informações ambientais são organizadas está em parte condicionado pelos processos cognitivos e em parte pelas próprias características do ambiente. Primeiramente vamos apresentar os entendimentos referentes aos processos cognitivos nos quais se acredita existir alto grau de similaridade entre indivíduos. Pois, conforme será explicitado mais adiante, são estes processos gerais de organização e estruturação das informações ambientais que potencialmente interferem na formação e determinação da estrutura presente na ordem simbólica.

3.2.1 A seleção das informações ambientais

As evidências apontam no sentido de que os indivíduos vasculham o ambiente na busca de informação potencialmente útil e à qual possam dotar de significado, em vez de serem meramente receptores passivos (Evans, 1980). A

seletividade na escolha das informações ambientais a serem manipuladas ao longo dos processos cognitivos é devida a diversos fatores, entre os quais se destaca:

a) o ambiente oferecer uma quantidade de informação muito superior ao que um indivíduo pode processar num dado momento (Ittelson, 1973; Brown, 1973; Canter, 1974; Ittelson, 1978; Gärling *et al.* 1989; Altman *et al.* 1989; e Gifford, 1997);

b) a existência de certas características especiais do ambiente que são capazes de se impor por si próprias, configurando aquilo que Appleyard (1970b) chama de informação responsiva. São elementos ou características do ambiente que suscitam determinadas respostas no observador, fazendo com que o mesmo seja mais passivo do que ativo nestas seleções;

c) as necessidades cognitivas referentes à interação homem - ambiente, tais como: saber se orientar; identificar e reconhecer lugares; navegar pelo ambiente com eficiência, entre outros (Appleyard, 1970b; Golledge *et al.* 1970);

d) as necessidades cognitivas em termos de guardar as informações para uso futuro, as quais requerem a atribuição de significados para facilitar o armazenamento.

Assim, de modo geral, os processos de seleção buscam assegurar que a informação a ser efetivamente utilizada pelo indivíduo seja cognitivamente manejável e, ao mesmo tempo, relevante para as interações com o meio (Ittelson, 1978; Gärling *et al.*, 1989; Kintsch, 1970: 127). Os dados referentes a aspectos importantes, aos quais podem ser atribuídos algum significado e que facilitam os processos de interação com o ambiente são selecionados, enquanto as informações de baixa prioridade são negligenciadas.

3.2.2 As implicações das estratégias funcionais

A seleção e estruturação da informação ambiental segue diversos critérios decorrentes das diferentes necessidades cognitivas da interação homem - ambiente. Na literatura aparecem diversos entendimentos sobre as formas que a estruturação das informações ambientais assume em função dessas estratégias funcionais (Ittelson, 1973; Downs e Stea, 1977; Evans *et al.* 1982; Kosslyn *et al.* 1984; Hänggi, 1989; Logie, 1989; Passini, 1992: 55; Anooshian, 1996; Gifford, 1997: 30; Kintsch, 1997; Ohno, 1997). Os diferentes entendimentos constantes nesses trabalhos

indicam que as informações ambientais, selecionadas em função das estratégias funcionais, se referem a informações úteis para:

- a) a identificação e reconhecimento de componentes ou localizações precisas na estrutura urbana. Estas informações possibilitam o conhecimento sobre de qual objeto específico se trata e/ou onde o indivíduo está de forma precisa, pontual;
- b) a definição da orientação geral no espaço e apreensão da estrutura global do ambiente. São informações relativamente soltas, abarcando porções mais ou menos precisas do ambiente, que servem como referência da posição relativa do indivíduo na estrutura geral do ambiente.

Os mesmos trabalhos também indicam que existem informações ambientais que não são referenciáveis a porções do ambiente em si (como as descritas acima), mas dizem respeito às relações construídas entre estas. Assim, existiriam informações relacionais que permitem definir a posição e distância relativa entre objetos e lugares. Estas informações permitem a construção de seqüências de informações que descrevem o que fazer e como chegar onde se quer dentro do ambiente urbano.

Enquanto o primeiro tipo de informação permite a identificação de localizações de modo mais ou menos preciso, são as informações relacionais que tornam o conhecimento ambiental operacional.

3.2.3 As implicações dos processos de economia cognitiva

Alguns processos de economia cognitiva²² possuem importante papel na organização das informações ambientais. O objetivo destes processos é facilitar o manuseio da maior quantidade de informação possível, gerando unidades de informação compactada que servem para simplificar o mundo em blocos manipuláveis de dados (Mervis e Rosch, 1981; Rosch, 1999: 190). Existem processos de economia cognitiva presentes em toda a seqüência de processamento da informação ambiental, entre os quais se destacam:

²² O termo economia cognitiva (*cognitive economy*) é referente aos processos cognitivos que buscam reduzir o esforço cognitivo requerido para realizar tarefas mentais (Psychology Dictionary disponível em: <http://psychology.lyana.ca//dictionary/cognitive-economy/>). O termo é utilizado principalmente na área cognitiva e aparece em trabalhos como os de Rosch (1999) e Sternberg (2000), embora também compareça na área da economia com outro significado.

- a) os processos de agregação e fusão das informações ambientais em termos de semelhanças ou equivalências de seus atributos físicos, transformando um conjunto de dados numa única entidade (Lozano, 1974; Kintsch, 1970: 191);
- b) os processos de categorização das informações que ordenam e simplificam cognitivamente as informações ambientais (Stea e Downs, 1970; Ittelson *et al.* 1976; Canter, 1977; Passini, 1992: 55) e, ao mesmo tempo, permitem acesso a outras informações não codificadas diretamente nestas (Carr e Schissler, 1969; Rapoport, 1977: 19-26);
- c) os processos de agregação e fusão das informações ambientais com base no pertencimento a uma mesma categoria ou a categorias similares, formando uma unidade de informação de mais alta ordem (Passini, 1992: 55).

O objetivo dos processos de agrupamento e ordenamento de elementos, para formar unidades de mais alta ordem, é tido como sendo o de melhorar a capacidade de memória e de processamento das informações (Kintsch, 1970). Mas a forma e a ordem precisa em que este processamento é realizado permanece como uma dúvida dentro da área cognitiva.

Rapoport (1977: 342) e Moore (1984) colocam que as unidades agregadas de informação ambiental são utilizadas na formulação das representações mentais do ambiente.

3.2.4 As implicações do armazenamento da informação

Ao serem selecionadas, as informações ambientais potencialmente úteis para futuras interações com o ambiente são guardadas na memória²³. Nos processos de seleção e armazenamento, as informações ambientais são organizadas em unidades coerentes, portanto, passam por estratégias de codificação (Kintsch, 1970; Simon, 1996: 66). Neste processo de codificação são anexadas outras informações, inferidas através dos processos de categorização e avaliação (Appleyard, 1970b; Passini, 1992: 60). A codificação garante que a informação ambiental torna-se significativa ao ser armazenada. No entendimento de Peña (1997) Appleyard

²³ O modo com as informações são retidas na memória é alvo de controvérsia na área cognitiva e não será abordado aqui.

(1970b), Rapoport (1977) e Sanoff (1991: 16) somente as informações que são compreendidas ou interpretadas podem ser armazenadas, as outras se perdem.

Significado é definido por Ittelson (1978) como a relacionabilidade das coisas. O mesmo tem caráter associativo (Rapoport, 1977: 316), sendo para Lang (1987: 184) uma associação entre objeto e idéia aprendida. Assim, o significado permite reconhecer a natureza e o propósito de objetos e ambientes através das inferências feitas a partir do aprendizado prévio e de semelhanças com outros objetos e ambientes (Sanoff, 1991: xv). Grande parte dos significados do ambiente são construídos em cima de códigos estabelecidos que são socialmente transmitidos e, portanto, baseados em aprendizagem e cultura (Appleyard, 1969; Neisser, 1976: 188; Pennartz e Elsinga, 1990; e Hubbard, 1994).

Estas informações significantes, que passam a ser armazenadas na memória para uso futuro, podem ser organizadas em complexas estruturas inter-relacionadas com base em associações entre itens, entre itens e categorias ou outros processos mais elaborados (Kintsch, 1970: 244), o que faz com que, muitas vezes, estas informações requerem tempo para serem formadas e, às vezes, considerável esforço (Kintsch, 1970: 191; e Logie, 1989).

As informações ambientais estruturadas enquanto unidades de conhecimento ambiental podem ser chamadas de unidades de informação, e o conjunto destas unidades de informação formam as representações mentais do ambiente.

3.3 As estruturas de informação relevantes para a ordem simbólica

3.3.1 As representações mentais

Conforme o indivíduo se move pela cidade ele apreende, seleciona informação e, ao longo do tempo, elabora um modelo espacial, uma imitação interior e simbólica do ambiente urbano. Estas estruturas cognitivas, armazenadas na memória, são formuladas e constantemente reformuladas de modo a manter atualizado o conhecimento ambiental. As mesmas se desenvolvem para refletir os aspectos relevantes do ambiente para o indivíduo, mantendo a estrutura ou essência de sua experiência ambiental.

O processo contínuo de formação e reformulação dessas estruturas de conhecimento é denominado de “processamento cognitivo” ou “mapeamento cognitivo” e, ao produto, ou estado, deste processamento num dado momento é atribuído o termo “representação mental”²⁴.

O processamento cognitivo, responsável pela construção das representações mentais, é definido por Downs e Stea (1973) como:

“composto de uma série de transformações pelas quais o indivíduo adquire, codifica, armazena, relembra e decodifica informação sobre a localização relativa e os atributos de fenômenos em seu ambiente espacial cotidiano”.

Portanto, a abordagem do processamento cognitivo implica, necessariamente, na inclusão dos aspectos temporais envolvidos na cognição ambiental.

As representações mentais, por outro lado, são o resultado ou o produto desses processos num dado momento no tempo e referentes a um ambiente particular (Passini, 1992: 45; Souza, 1996) sendo, portanto, passíveis de uma análise de estado.

Os trabalhos mais gerais da área da cognição, assim como os estudos voltados especificamente para a cognição ambiental, indicam que as representações mentais são o resultado da organização das informações ambientais juntadas ao longo do processo de exploração do ambiente. Onde as informações coletadas ao longo de extensos períodos de tempo e em vários pontos do ambiente, conjuntamente com informações pré-existentes na memória e informações anexadas por inferência, são reunidas formando um conjunto organizado de informações (Stea e Downs, 1970; Downs e Stea, 1973; Rapoport, 1977: 34 e 118; Allen *et al.* 1979; Gopal e Smith, 1990; Passini, 1992: 111; Gifford, 1997: 18; Peña, 1997). Na sua formulação, são utilizados processos de agrupamento, de categorização e outros procedimentos de incorporação de informações relacionadas (Kintsch, 1994; Ramadier e Moser, 1998).

²⁴ Na literatura aparecem outros nomes para as representações mentais, a saber: esquema (*schemata*) conforme aparece em Bartlett (1932), Rumelhart *et al.* (1986) e Neisser (1976); mapa cognitivo ou mapa mental, como em Tolman (1948), Downs e Stea (1973) e Kuipers (1980); e imagem, usado por Boulding (1956) e Lynch (1960).

As representações mentais do ambiente são resultantes de um processo bilateral entre o observador e o meio (Lynch, 1960: 6; Kaplan e Kaplan, 1982: 5-6; Portugali, 1996). Neste processo, o meio ambiente sugere distinções e relações, e o observador seleciona, organiza e dota de sentido aquilo que vê. Assim, as representações mentais do ambiente seriam o produto resultante do ambiente físico e suas sugestões de ordenamento, assim como dos fatores internos que agem sobre o indivíduo: os estilos cognitivos individuais, as associações sócio-culturais, sua experiência prévia e objetivos específicos (Rapoport, 1977).

São codificados, dentro das representações mentais, atributos locais e não locais do ambiente, assim como informações sobre objetos concretos, lugares, áreas mais amplas e concepções abstratas relacionadas como simbolismos, significados, aspectos sócio-culturais, etc. (Rapoport, 1977: 128; Kearney e Kaplan, 1997). Podem incluir, ainda, áreas e lugares nunca experienciados, porém conhecidos indiretamente (Rapoport, 1977: 118). Também são codificadas relações (causais, temporais, espaciais, etc.) entre objetos, lugares e concepções (Kearney e Kaplan, 1997).

Deste modo, as representações mentais agregam informações advindas mais diretamente do ambiente, concepções que de alguma forma foram ligadas à experiência ambiental e, ainda, informações relacionais que definem algum tipo de conexão entre seus componentes.

As representações mentais são tidas como podendo ser formuladas em numerosas escalas de observação e níveis de abstração, apresentando, portanto, algum tipo de organização hierárquica (Purcell, 1986; Souza, 1996; Gifford, 1997: 40). De alguma forma as informações ambientais são codificadas - ou admitem ser resgatadas - em diversos níveis, havendo instâncias mais genéricas e abstratas e outras mais precisas e específicas (Cohen, 2000). Em princípio, as representações mentais de mais alto nível de abstração englobam as representações menos abstratas no seu interior, podendo se acessar estas por meio das primeiras e vice-versa (Rapoport, 1977: 128; Kaplan e Kaplan, 1982; Kaplan e Kaplan, 1989; Cohen, 2000). A quantidade de informação contida em cada escala ou nível está relacionada com o tamanho das áreas representadas, de forma que a quantidade de informação resgatada mantém-se aproximadamente constante. Desta forma, grandes áreas serão representadas de forma muito geral, com poucos detalhes,

enquanto um ambiente restrito teria maior nível de detalhamento (Harrison e Howard, 1972; Rapoport, 1977: 215).

Estas complexas estruturas que representam o conhecimento esquemático que o indivíduo tem sobre um ambiente familiar, servem como quadro de referência para suas interações com o meio ambiente (Kaplan e Kaplan, 1982; Kaplan e Kaplan, 1989). As mesmas possibilitam aos indivíduos interpretar novas informações ambientais, auxiliam na localização do indivíduo no ambiente, pensar sobre coisas que não estão presentes naquele momento, planejar ações, prever o que virá depois, definir estratégias de navegação, determinar respostas apropriadas para novas situações de interação com o ambiente e se comunicar socialmente. Nas palavras de Downs (1967 *apud*. Rapoport, 1977; 41) é este modelo espacial que serve de ponto de contato entre os indivíduos e seu ambiente. Estas estruturas de conhecimento estão organizadas em cima da experiência individual, mas dependem, em grande medida, do conhecimento geral, socialmente compartilhado, que está estocado tanto na memória (Ramadier e Moser, 1998), quanto no ambiente (Haken e Portugali, 1996; Portugali, 1996).

Assim, as representações mentais são estruturas de conhecimento que agrupam e combinam várias informações ambientais originadas por diferentes regras de processamento, entre as quais se pode destacar:

- a) a funcionalidade - possuir caráter pragmático e utilitário;
- b) a economia - reduzir a informação ao necessário, ignorando dados de baixa prioridade;
- c) a simplicidade - são retidas predominantemente as formas gerais relativas ao ambiente e no que nele está contido;
- d) a essencialidade - objetos e ambientes podem ser definidos por concepções genéricas (Rapoport, 1977: 342 e Souza, 1996);
- e) a excepcionalidade - objetos e ambientes podem ser destacados por diferenciarem-se significativamente da informação circundante (Stea e Downs, 1970; Ohno, 1997).

A forma ou modalidade de representação que estas diversas informações assumem ao serem guardadas é assunto controverso dentro das ciências

cognitivas²⁵. Tão pouco a estrutura presente nas representações mentais é temática estabelecida. As representações mentais estruturam as informações ambientais adquiridas de forma consciente e também de forma inconsciente (Downs e Stea, 1973; Rapoport, 1977: 120) mas, conforme salientado por Passini (1992; 35-36), as mesmas não podem ser observadas diretamente, sendo utilizado para isso manifestações indiretas como mapas esquemáticos, desenhos, questionários, descrições verbais e outras formas de manipulação espacial. Como estas técnicas de externalização apenas acessam o que está consciente sobre o ambiente (Proshansky, 1976), não se tem como avaliar a real estrutura contida nas representações mentais.

Apesar dessas limitações na possibilidade de definir as características estruturais das representações mentais, os trabalhos empíricos têm apontado para diversos entendimentos sobre a natureza desta estrutura. O que pode ser dito sobre as representações mentais em termos de sua estrutura é que:

- a) não são estruturas estáveis de conhecimento ambiental, já que mudam com a aquisição de novas informações significantes e perdas de informações por esquecimento;
- b) as informações contidas não são exaustivas, pois as mesmas representam uma parcela pequena das informações disponíveis no ambiente, no entanto, sempre refletem dimensões significantes e estruturadas do ambiente externo;
- c) freqüentemente apresentam estruturas soltas ou fragmentadas, resultantes da integração de muitos elementos separados (Segal, 1971 e Anoshian, 1996) podendo, inclusive, ter o conhecimento espacial formado por componentes desconexos (Lynch, 1960; Appleyard, 1970a; Kosslyn e Schwartz, 1977; e Kuipers, 1982). Também é comum os ambientes urbanos serem sistematicamente simbolizados ou lembrados por pequenos trechos específicos do ambiente (Rapoport, 1977: 122);

²⁵ Na representação de informações visuais, autores como Arnheim (1969), Logie (1989), e Kosslyn (1991) têm adotado a estruturação analógica, em forma de imagens - sejam estas inteiras, ou estruturadas por componentes ou partes. Já autores como Simon (1996), Anderson (1990) e Pylyshyn (1973) preferem a estruturação na forma de relações entre os componentes ou através de proposições. Outros como Paivio (1979 *apud*. Kintsch *et al.* 1997), Gifford (1997) e Evans (1980), colocam a possível necessidade da utilização conjunta dos dois tipos de representações.

d) costumam apresentar um certo nível de redundância nas suas informações, já que, devido a sua função utilitária, precisam apresentar informação suficiente e, preferivelmente, um excedente de indicações para evitar erros e, assim, ser confiáveis para a orientação no espaço;

e) utilizam diferentes tipos de unidades de informação na sua estruturação. Estas podem ser referentes a agregações de objetos, espaços ou significados, assim como a objetos isolados, que são importantes para o indivíduo devido à sua função na orientação e compreensão direta e indireta do ambiente. Para Passini (1992: 159) a experiência de navegar e encontrar caminhos estabelece uma relação muito forte com o ambiente e as características que o distinguem, influenciando de maneira significativa os elementos a serem retidos nas representações mentais do ambiente;

f) a estrutura é influenciada pelo meio de locomoção utilizado pelos indivíduos, onde meios de transporte coletivo tendem a reduzir ou limitar a abrangência e a articulação das informações nas representações mentais (Appleyard, 1970a);

g) não são necessariamente corretas em sua correspondência com o ambiente. Podem ignorar as irregularidades, contêm fusões e distorções e, podem até adicionar elementos à realidade (Lynch, 1960; Appleyard, 1970a). Apesar das incorreções, as representações mentais mantêm um forte elemento de constância topológica em relação à realidade física do ambiente – mantendo as seqüências de forma geralmente correta (Lynch, 1960);

h) podem ter princípios organizativos distintos, dependendo do indivíduo e suas estratégias pessoais de codificação e decodificação da informação (Kintsch, 1997). Mas, de forma geral, as representações mentais têm como base um princípio espacial ou seqüencial para organizar a sua estrutura (Lynch, 1960; Appleyard, 1970a; Rapoport, 1977; Baird e Wagner, 1980; Passini, 1992; Anooshian, 1996). O primeiro relaciona espacialmente seus componente, enfatizando as diferenciações espaciais e a associação e demarcação de características funcionais, sociais ou físicas do espaço. O segundo estrutura seus componentes de modo seqüencial, onde um percurso serve de elemento estruturador das informações contidas na representação mental. Este último está baseado na reconstrução da movimentação pelo espaço e resulta da organização temporal do mesmo;

i) aparentemente, as especificidades ambientais podem induzir a que um ou outro tipo de princípio organizador apareça de forma predominante em cada cidade (Lynch, 1960; Tversky, 1996). Haveria, portanto, fatores ambientais influenciando o modo como os indivíduos estruturam suas representações mentais.

Também é colocado na literatura que problemas ou dificuldades em organizar uma representação mental em uma estrutura coerente acarretam em maiores dificuldades para o indivíduo interagir de modo hábil com o ambiente. Por outro lado, representações mentais bem estruturadas dão ao indivíduo a possibilidade de escolha, e um ponto de partida para a aquisição de informação posterior, servem, ainda, para interpretar informações e comandar ações. Embora não fique explícito na literatura o que seria uma estrutura boa ou ruim para uma representação mental, parece haver consenso em que deficiências nas informações relacionais que associam as unidades de conhecimento ambiental, ou unidades de informação, entre si acarretam em aspectos negativos para a mesma (Lynch, 1960; Appleyard, 1970a). Em outras palavras, a falta de conhecimento sobre a posição relativa e a conexão entre os componentes faz uma representação mental ser menos eficiente.

3.3.2 As unidades de informação

O termo "unidade de informação" é aqui utilizado para designar as informações ambientais que podem ser direta ou indiretamente referenciadas a porções discretas do ambiente urbano. São estas informações ambientais as mais facilmente detectáveis nas externalizações das representações mentais. Também são os principais componentes investigados pelos estudos empíricos centrados nos aspectos ambientais da cognição ambiental urbana.

Não se encontram incluídas nesta terminologia as informações relacionais presentes nas representações mentais. A este tipo específico de informação ambiental, e na situação específica de ser referente a relações entre unidades de informação, será designado o termo "conectividade cognitiva". O mesmo será abordado quando da descrição da ordem simbólica (capítulo 5, p. 135).

A formação das unidades de informação, assim como dos demais tipos de informação contidos nas representações mentais, segue os critérios anteriormente descritos em termos das características cognitivas de processamento das

informações. Mas, para as unidades de informação, aos critérios gerais de seletividade, utilidade e economia cognitiva podem ser acrescentadas algumas especificidades nos processos de formação que decorrem da sua relação direta com os atributos do ambiente.

Os trabalhos na área da cognição ambiental urbana sugerem que a formação das unidades de informação também inclui dois outros processos: o agrupamento de informações ambientais por similaridade ou equivalência, e o destaque de informações por contraste significativo (Faria, 2002)²⁶. Estes procedimentos implicam em processos comparativos assentados em critérios de similaridade por características físicas, assim como similaridades e equivalências de categorias e significados (Olver *et al.* 1966 *apud.* Sanoff, 1991; 16-17).

A agregação das informações ambientais se baseia na detecção de continuidades no ambiente: conjuntos de espaços ou objetos entendidos como similares (não necessariamente física) ou que compartilham alguma característica relevante. Estas regularidades formam unidades de informação que se caracterizam por abarcar uma área urbana com certa extensão e serem passíveis de síntese numa concepção mental que representa esse conjunto de componentes. Também apresentam como característica dependerem da construção temporal devido ao fato das mesmas não serem apreensíveis a partir de um único ponto no espaço. Em princípio, as unidades de informação formadas com este critério afirmam-se em aspectos ou pistas ambientais mais genéricas e abstratas (Saarinen, 1976: 139; Rapoport, 1977: 342) e têm por função facilitar a orientação e a compreensão da estrutura geral do ambiente.

As unidades de informação formadas pela diferenciação da informação ambiental pressupõe a distinção de um espaço ou objeto por alguma característica relevante. Portanto, estas unidades de informação dependem tanto de seus próprios atributos (físicos e abstratos), quanto dos atributos presentes no seu entorno. As mesmas tendem a ser definidas com base em características mais detalhadas e

²⁶ Este entendimento tem como suporte os trabalhos de Stea e Downs (1970), Ohno (1997) e Passini (1992: 55) que estacam os aspectos discretos e contínuos das informações advindas do ambiente. Outros indícios que reforçam este entendimento são: a) a possibilidade de explicar as questões de legibilidade e imageabilidade (Lynch, 1960) dentro destes processos; b) os cinco tipos de informação ambiental - vias, limites, bairros, nós e marcos referenciais - definidos por Lynch (*ibid.*) se enquadram como resultados possíveis desses processos; c) estes procedimentos satisfazerem as necessidades de economia cognitiva simplificando o ambiente, além de possibilitarem a seleção de informação adequada às necessidades funcionais de interação com o ambiente.

precisas (Saarinen, 1976: 139; Rapoport, 1977: 342), configuram excepcionalidades, acentuações ou exceções no ambiente urbano e apresentam um caráter pontual em sua estrutura. As unidades de informação formadas por este critério tendem a servir de elementos de orientação e referência, criando pontos de ancoragem para as informações ambientais e, assim, facilitam a localização e a orientação mais precisa do indivíduo (Couclelis *et al.* 1987; Gifford, 1997).

Ambos os processos dependem do uso das informações ambientais de modo contextualizado. Esta importância do contexto acaba por realçar o aspecto ambiental na formação das unidades de informação. Embora a organização das informações seja fortemente guiada pelas pistas fornecidas pelo meio ambiente (Lynch, 1960), conforme salientado por Rapoport (1977: 195) e Ittelson (1978), a informação advinda do ambiente não é o resultado do estímulo em si, mas é selecionada dependendo da situação específica em que ocorre e implica na atribuição de significados. Deste modo, as unidades de informação, apesar de dependentes dos aspectos ambientais, somente são selecionadas se atenderem também aos quesitos de utilidade ou funcionalidade do indivíduo interagindo com o ambiente físico e social²⁷.

Assim, a formação das unidades de informação implica em uma certa legibilidade das informações disponíveis no ambiente, requer que a distinção desta informação seja útil no contexto específico e precisa que a mesma seja compreensível ou significativa. As unidades de informação refletem, necessariamente, dimensões relevantes de conhecimento decorrentes das necessidades de interação com o ambiente e, consistentemente, estão relacionadas com aspectos funcionais, sociais ou formais do ambiente (Harrison e Howard, 1972; Moore, 1979).

Uma vez formadas, as unidades de informação são responsáveis pela identidade que certas porções do espaço e/ou formas construídas adquirem. Identidade está aqui definida como o estabelecimento, no nível social, de uma referência entre determinada porção do ambiente urbano e um significado

²⁷ Somente as unidades de informação referentes às informações responsivas e aquelas originadas pela "filtragem pessoal" das informações ambientais não se encaixam na presente descrição das unidades de informação. As primeiras também constituem componentes da informação ambiental amplamente compartilhadas, mas possuem outra base explicativa - baseada em características ambientais específicas referentes a atributos e configurações de atributos.

específico, ou seja, quando certa idéia ou concepção “adere” a uma dada porção do espaço ou forma construída.

Os estudos empíricos da cognição ambiental urbana têm indicado que na escala urbana as unidades de informação que aparecem nas representações mentais podem ser classificadas em cinco tipos básicos: vias, limites, bairros, nós e marcos referenciais (Lynch, 1960). Os cinco tipos de unidades de informação detectados podem ser classificados dentro dos dois processos de estruturação das informações descritos anteriormente: vias e bairros encaixam-se no processo de agregação; nós e marcos referenciais no processo de distinção; e os limites podem ser decorrentes tanto do primeiro quanto do segundo processo (Faria, 2002).

De modo geral os cinco tipos de unidades de informação são tidos como formas universais de estruturar as informações advindas do ambiente urbano. Diversos estudos realizados na Europa, América Latina e em cidades Islâmicas têm, na maior parte das vezes, confirmado os achados de Lynch (Passini, 1992: 111 e Gifford, 1997). Apesar disso, os mesmos são alvo de questionamento na literatura por suas dificuldades conceituais: a) certos elementos podem ser classificados como mais de um tipo, dependendo da situação e do indivíduo, e; b) nem sempre os mesmos são suficientes para abarcar todos os elementos detectados nas representações mentais do ambiente (Rapoport, 1977: 116-118 e Souza, 1996).

A importância relativa atribuída a cada um dos cinco elementos dentro das representações mentais é posto como variável, dependendo de fatores culturais e da própria configuração física do ambiente (Lynch, 1960; Appleyard, 1970a e Passini, 1992: 111). A falta de um padrão universal e as dificuldades na análise da estrutura presente nas representações mentais faz com que os entendimentos relativos a cada tipo de unidade de informação e seu papel na organização das informações ambientais seja fragmentado e pouco conclusivo. Autores como Souza (1996) salientam a importância que os marcos referenciais e vias assumem em diversos trabalhos, já Rapoport (1977: 149) tem apontado para a importância dos bairros na estruturação das representações mentais. Lynch (1960: 87) destaca que as representações mentais não suportam quantidades demasiadamente grandes de centros focais, enquanto Passini (1992: 130) sustenta que apenas o excesso de uniformidade ou a falta de marcos referenciais é relatado como sendo problemático para a formação das representações mentais do ambiente.

Para as relações mantidas entre os diferentes tipos de unidades de informação são encontradas referências em Appleyard (1970b) sobre a localização preferencial dos marcos referencias junto a pontos estratégicos da malha urbana. Esta observação de Appleyard destaca a importância dos fatores utilitários na seleção das informações ambientais.

3.3.3 A imagem pública

A imagem pública não é uma estrutura de conhecimento ambiental "concreto", no sentido de atribuível a um dado indivíduo. É uma formulação abstrata, baseada na análise estatística de uma certa quantidade de representações mentais individuais externalizadas dentro de um determinado critério, e referentes a um ambiente específico. Assim, a imagem pública é uma representação mental síntese, concebida para refletir a base comum de conhecimento sobre um ambiente - contendo os componentes e relações mais freqüentemente presentes nas representações mentais individuais.

Os experimentos de Lynch (1960) e, posteriormente, de muitos outros, deixaram clara a existência de um amplo conjunto de constâncias entre as diversas representações mentais individuais. Cada indivíduo tem uma representação mental que se aproxima da imagem pública. As concordâncias entre representações mentais são tidas como necessárias para que o indivíduo opere de modo bem sucedido dentro do ambiente urbano e para que possa existir cooperação social. Porém, a existência de elementos comuns na formação das representações mentais não significa, necessariamente, que os significados e valores associados serão os mesmos (Peña, 1997).

Os trabalhos empíricos indicam que as constâncias nos componentes das representações mentais não são afetadas de modo significativo pelas especificidades individuais na modalidade de estruturação (por área ou seqüencial) das informações. De forma geral, os indivíduos de um mesmo grupo cultural, ao compartilharem uma mesma área urbana, tendem a lembrar os mesmos objetos e lugares do ambiente dentro de uma mesma ordem de importância relativa (Carr e Schissler, 1969).

As áreas de concordância nas representações mentais são postas como decorrentes da própria estrutura do ambiente, ou seja, do componente informativo, que induziria ou estimularia certas apreensões (Lynch, 1960; Appleyard, 1970a), assim como das similaridades psicológicas e neurológicas entre indivíduos²⁸ e, ainda, das bases sociais e culturais do conhecimento ambiental²⁹. Dentro do conhecimento ambiental com caráter socialmente compartilhado se destaca a categorização (Inceoglu, 1997; Ramadier e Moser, 1998; Peña 1997), processo cognitivo amplamente utilizado na classificação e atribuição de significado às informações ambientais. Desta forma, fica evidenciado que nem o indivíduo nem o ambiente determinam sozinhos o que é percebido – a estruturação dada à informação ambiental depende da interação entre ambos (Portugali, 1996) - e as decorrências dessa interação resultam em escolhas similares de informação relevante.

As unidades de informação constantes das imagens públicas tendem a ser identificadas como auxiliando no reconhecimento de lugares, associadas aos processos de navegação urbana ou indicadoras das atividades presentes no espaço. Appleyard (1969) coloca que fazem parte das imagens públicas os elementos e lugares mais intensamente usados, os mais visíveis e distintos, assim como os mais presentes nos meios de comunicação de massa. Assim, as características de utilidade e de visibilidade parecem ditar as concordâncias nas escolhas das unidades de informação.

Na sua formulação original, a imagem pública foi concebida como um método de detectar os aspectos ambientais relevantes para o modo como as pessoas entendem e experienciam sua cidade. No entanto, a formulação de um conceito como a imagem pública apresenta implicações teóricas importantes para os estudos urbanos que vão além deste primeiro enfoque. Implicitamente o conceito requer aceitar que existem aspectos na cognição ambiental - ditados pelos processos

²⁸ A importância da natureza do aparato físico do organismo e seu processo de adaptação evolutiva ao ambiente físico são defendidos dentro das teorias ecológicas e evolutivas da percepção e cognição e na escola funcionalista da psicologia ambiental como aparece em Gibson (1986), Donald (1991), Arnheim (1969), Kaplan (1987), Cosmides e Tooby (1994) entre outros.

²⁹ O papel preponderante do ambiente social e cultural na formulação dos processos cognitivos individuais é defendido por Vygotsky (1984), Donald (1991) e aparece em Rosch (1999) e Mervis e Rosch (1981) entre outros.

Ambas as posturas aparecem nas formulações de cognição ambiental como em Rapoport (1977), Tuan (1980), Neisser (1994), Lakoff (1987), Portugali (1996), e outros.

cognitivos e pelas características ambientais - que são comuns aos indivíduos, e estes aspectos são significativos para a compreensão do sistema urbano. Esta presença de unidades de informação amplamente compartilhadas sugere que as mesmas estão imbricadas no sistema urbano, podendo ser consideradas parte intrínseca de sua estrutura.

3.4 As influências do ambiente na organização das informações

O desempenho do ambiente físico nas representações mentais assim como em qualquer processo cognitivo é determinado, segundo Kohlsdorf (1989 e 1996; 69-70), pela capacidade de estímulo do mesmo, as suas possibilidades de orientar e as qualidades que oferece para ser identificado. Existem, portanto, certas características e leis de organização morfológica dos lugares e objetos que condicionam tanto as informações detectadas quanto a facilidade com que o ambiente pode ser codificado em informação significativa. Conjuntamente com estes fatores também interfere de modo significativo a visibilidade (qualidade de ser visível) de objetos e ambientes durante as interações do indivíduo com o meio.

As representações mentais e, por conseguinte, as imagens públicas, são tidas como fortemente influenciadas pelas características físicas do ambiente e pela configuração específica em que estas características aparecem (Lynch, 1960; Carr e Schissler, 1969; Appleyard, 1970a). Os autores variam no modo como descrevem estas características ambientais que interferem na formação das representações mentais: Rapoport (1977) enfatiza a questão das diferenças perceptualmente identificáveis; Appleyard (1970a) levanta como hipótese as características de forma, visibilidade, uso e significância; e, para Lynch (1960), são as qualidades de legibilidade e imageabilidade de objetos e lugares que configuram características ambientais relevantes. Os diversos entendimentos não são excludentes. Em Rapoport (*ibid.*) são os atributos físicos contextualizados e as inferências por estes despertadas que são destacados, Appleyard (*ibid.*) acrescenta, aos atributos físicos e suas inferenciais, os atributos espaciais - refletindo diversas dimensões de análise sobrepostas. Já as características definidas por Lynch (*ibid.*) são formulações complexas que implicam tanto nos atributos como em questões relacionais ou de contexto. Portanto, de modo geral, as características citadas referem-se aos

atributos físicos e abstratos, as relações mantidas entre os estímulos e a situação em que são observados, assim como a intensidade da exposição ao estímulo.

As qualidades de legibilidade e imageabilidade definidas por Lynch merecem ser descritas pela influência que têm tido na área da cognição ambiental.

3.4.1 Legibilidade

Na definição de Lynch (1960: 3-5) legibilidade é a qualidade visual do ambiente que diz respeito à facilidade com que as partes de uma localidade podem ser percebidas e organizadas num padrão ou estrutura (perceptiva) coerente: “se algo é legível, ela pode ser visualmente captada como um padrão relacionado de símbolos reconhecíveis” (*ibid.*: 3). Para Lynch, a legibilidade é afetada pela estrutura, identidade e significado do ambiente. Assim, certos lugares levam a uma melhor extração ou decodificação e entendimento da informação ambiental relevante (Kohlsdorf, 1989 e Passini, 1992: 110).

A legibilidade dentro desta definição é essencialmente considerada como uma qualidade física e espacial do ambiente. A complexidade da estrutura urbana, o nível de diferenciação dos elementos urbanos e seu aspecto visual são as principais variáveis influenciando a legibilidade (Ramadier e Moser, 1998). Fatores como função e intensidade de uso dos edifícios (Evans *et al.* 1982), regularidade e simplicidade do ambiente (DeJonge, 1962 *apud.* Harrison e Howard, 1972), e a facilidade com que se pode definir os cinco elementos urbanos definidos por Lynch (Gifford, 1997; 30) também são apontados como melhorando a legibilidade do ambiente. No entanto, conforme salientam Ramadier e Moser (1998):

“...as representações mentais não são baseadas somente em informação Euclidiana, dependem também de agrupamentos e processos cognitivos de categorização e hierarquização (...) e, desta forma, a legibilidade se torna o nível de clareza ou perceptibilidade que possibilita ao observador categorizar os arredores...”

Com esta afirmação de Ramadier e Moser (*ibid.*), o conceito de legibilidade passa a relacionar as qualidades do ambiente com aspectos específicos da cognição - a facilidade dos indivíduos categorizarem e imporem processos de economia cognitiva à informação disponível. A legibilidade dependeria, portanto, de

informação ambiental cognitivamente estruturada em vez de simples estímulo físico (*ibid.*). Com isto as variáveis que determinam a legibilidade não devem ser entendidas como referentes ao estímulo, mas sim aos padrões organizados de informação que o ambiente possibilita. A explicitação destes fatores realça tanto a importância dos aspectos cognitivos quanto a influência dos significados social e culturalmente construídos na cognição ambiental.

Os princípios da legibilidade urbana são colocados por Evans *et al.* (1982) como sendo generalizáveis para diferentes locais e Passini (1992; 110) salienta que a legibilidade é um pré-requisito da imageabilidade, embora por si só não garanta a segunda.

3.4.2 Imageabilidade

A imageabilidade refere-se àquela qualidade de um objeto físico ou ambiente que lhe dá a probabilidade de evocar uma representação mental forte num dado observador (Lynch, 1960; 8-13). O termo tem sido usado para descrever a facilidade com que um objeto ou lugar pode ser mentalmente representado (Passini, 1992; 110).

Para Appleyard (1970b) os elementos com alto nível de imageabilidade são os responsáveis pelo caráter responsivo da cognição ambiental urbana. Já Passini (1992; 122) coloca que a imageabilidade é culturalmente específica. Estes entendimentos são contraditórios e demonstram que os muitos fatores envolvidos na formação das unidades de informação não encontram uma correspondência direta neste conceito de Lynch.

Os diversos trabalhos na área da cognição ambiental urbana salientam que as diferenças perceptualmente identificáveis, a estrutura urbana, assim como os significados são importantes para a imageabilidade, e que a congruência de mais de um fator pode levar a representações mentais particularmente fortes. No entanto, significado e aparência física não são mutuamente excludentes – objetos e lugares podem ter alta imageabilidade baseado apenas em um fator (Passini, 1992: 111). Também é ressaltado que os altos níveis de imageabilidade não implicam em avaliações positivas (Peña, 1997), e os fatores intervenientes na imageabilidade

parecem ser distintos conforme a escala de representação do ambiente (Rapoport, 1977: 34).

3.5 Cognição ambiental, modelagem e redes

Na literatura existem diversas concepções de modelos voltados para a simulação dos processos cognitivos. Há um número significativo de trabalhos que se utilizam de modelagem computacional para procurar entender alguns dos aspectos envolvidos na cognição ambiental: navegação e exploração ambiental; conhecimento espacial; processos de estruturação das informações; percepção visual; tomada de decisões; preferências ambientais, entre outros³⁰. Estes modelos apresentam variadas formulações e modos de representar as informações ambientais, mas nenhum se assemelha em sua concepção ao que se quer para simular a ordem simbólica. Portanto, os mesmos não constituem um quadro de referência direto para o tema a ser abordado.

Modelos baseados em grafos e abordagens de redes para o estudo de aspectos ligados à cognição ambiental são menos comuns. Estas abordagens se diferenciam das primeiras por trazerem a estrutura espacial urbana enquanto parte ativa dos processos de modelagem.

Entre os trabalhos que pertencem a esta categoria merecem destaque os estudos na área da sintaxe espacial que correlacionam as características configuracionais do espaço urbano com aspectos comportamentais decorrentes da cognição ambiental. O procedimento comum a estes estudos é representar a estrutura espacial, normalmente por suas linhas ou campos de máxima visibilidade, descrevê-la por meio de uma ou mais medidas configuracionais e relacionar o *ranking* ou os valores atribuídos a cada espaço com as características investigadas.

De modo geral o enfoque destes trabalhos não é na cognição ambiental em si, nem no modo como esta afeta a compreensão do espaço urbano, mas sim no

³⁰ Modelos como o Tour de Kuipers (1978), Navigator de Gopal e Smith (1990) e os simuladores de mapas cognitivos de Yeap (1988) e Baird e Wagner (1980) são exemplos representativos de modelos cognitivos referentes à navegação urbana e estruturação espacial do conhecimento ambiental. Revisões sobre este tipo de modelo podem ser encontrados em Gopal e Smith (1990), Lemos (2000) e McDaniel (2010). O modelo de visão artificial de Marr (1982), por sua influência nos modelos de cognição espacial urbana, é provavelmente o mais importante trabalho na área da simulação dos processos de reconhecimento de padrões visuais. São exemplos de trabalhos de simulação de preferências os modelos de Peterson *et al.* (1970), Purcell (1986) e Bonaiuto *et al.* (1999).

papel ativo que a configuração espacial desempenha nos processos sociais (Hillier e Hanson, 1984), entre os quais, a própria questão da cognição ambiental. Estes estudos se concentram nos atributos configuracionais do ambiente que podem estar influenciando: o comportamento agregado dos indivíduos no espaço em termos de deslocamentos (Hillier *et al.* 1993; Penn *et al.* 1998; entre outros); os processos de navegação urbana (Peponis *et al.* 1990; Penn e Turner, 2003; Haq, 2003; Haq e Giroto, 2003); a construção das representações mentais do ambiente (Haq e Zimring, 2001; Kim, 2001; Dalton e Bafna, 2003; Kim e Penn, 2004), entre outros aspectos da cognição. Os resultados destes trabalhos apontam para uma correlação significativa entre as características configuracionais e os diversos aspectos cognitivos levantados, demonstrando a importância da estrutura configuracional do espaço e sua coerência interna para a cognição ambiental.

O trabalho de Kim e Penn (2004) vai um pouco além ao analisar o comportamento configuracional presente nas representações mentais externalizadas por meio de mapeamentos cognitivos, e correlacionar estes aspectos com a estrutura configuracional urbana. No entanto, nem mesmo este trabalho aborda como a estrutura urbana é alterada pela cognição ambiental, e tão pouco descreve as propriedades gerais do sistema urbano daí decorrentes.

Não se conhece, portanto, trabalhos anteriores que tenham tratado das questões referentes a estrutura urbana decorrente da cognição ambiental. A concepção teórica mais próxima daquilo que é necessário para descrever e representar a ordem simbólica é a noção de IRN de Portugali (1996).

3.5.1 IRN - *Inter-Representation Networks*

A noção de IRN (*Inter-Representation Networks*) colocada por Portugali (1996) se propõe a ver a cognição ambiental como um todo, integrando a memória biológica ou natural, interna ao indivíduo, com a memória artificial, localizada no ambiente. Esta abordagem propõe que os processos de apreensão da informação ambiental e as representações mentais sejam vistas como partes de uma rede maior, composta também pelos componentes do ambiente onde estão contidas as informações depositadas pelos indivíduos. Desta forma, o ambiente externo pode ser considerado um elemento ativo, integrante do processo de cognição.

Mente e ambiente são vistas como duas entidades existindo uma dentro da outra, ou uma envolvendo a outra em relações implícitas. O ambiente estaria, de certa maneira, contido na mente dos indivíduos sob a forma de representações mentais, e as mentes estariam contidas no ambiente sob a forma de uma multiplicidade de representações externas. Portanto, mente e ambiente são apenas relativamente independentes e formam uma única rede de interações que tem propriedades implícitas e explícitas (*ibid.*).

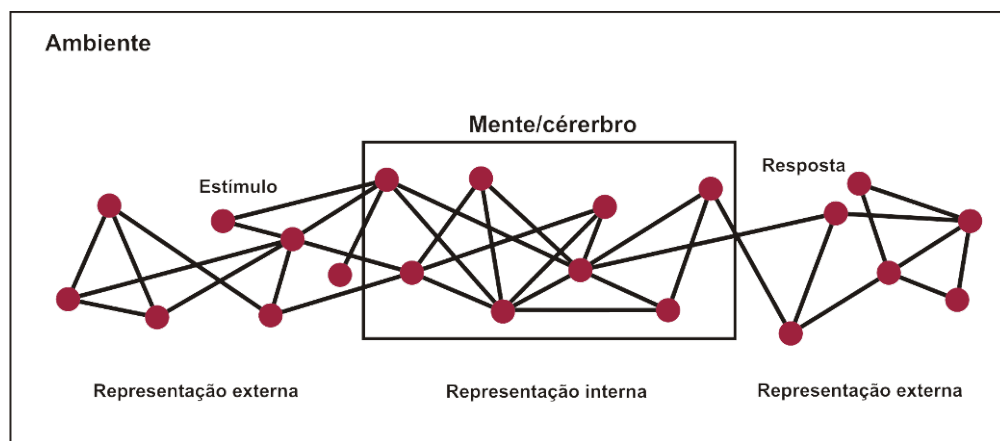


Figura 13 – A representação da noção de IRN conforme figura em Portugal (1996; 12).

A parte interna da rede corresponde aos processos cognitivos, isto é, comporta os processos pelos quais o ambiente externo, ou elementos dele, são codificados, estocados, manipulados e recuperados pelo indivíduo. As representações internas resultantes são postas como sendo construídas através da internalização dos princípios ordenadores presentes no ambiente³¹.

A parte externa da rede é referente ao modo como o modelo interno é externalizado, estocado e representado no ambiente externo. Esta parte da rede comporta o que Donald (1991) chama de "estocagem simbólica externa" e Vygotsky (1984) denomina de 'memória artificial", tendo por característica ser interpessoal, social e culturalmente acessível. Estão incluídas, nestes componentes, as informações ambientais de domínio "mais baixo" e relativamente passivo dos

³¹ Os princípios ordenadores são explicados dentro da noção de sinérgica de Haken (1979 e 1994) e envolvem, entre outras coisas, a noção sistêmica de que os processos de dinâmica mais lenta tendem a subordinar à sua lógica os processos mais rápidos. Assim, na cognição ambiental, as informações depositadas no ambiente assim como as informações culturalmente compartilhadas (que mudam lentamente) tendem a definir os resultados gerais da cognição ambiental individual (Haken e Portugal, 1996).

affordances de Gibson, assim como as informações referentes aos processos “mais altos” de formação de conceitos, etc. citadas por Vygotsky (*ibid.*), cuja característica é serem social e culturalmente construídas.

O reconhecimento de que os processos externos, referentes à memória coletiva, fazem parte do sistema cognitivo não é nova. Este entendimento já aparece no trabalho de Barker (1963), Ittelson *et al.* (1976) e Ittelson (1978) com relação ao comportamento. Também aparece em Rapoport (1977) quando este coloca que o ambiente construído é a expressão física dos esquemas cognitivos dos indivíduos, e estes esquemas - tornados visíveis - influenciam a formação de novos esquemas, num processo cíclico de codificação e decodificação do ambiente. A contribuição de Portugali é no sentido de atualizar este entendimento e incorporá-lo efetivamente na abordagem da cognição ambiental - dentro de um quadro referencial sistêmico e utilizando conceitos como a auto-organização para descrever a constante interação entre seus elementos internos e externos.

Embora a definição teórica seja uma rede, o trabalho de Portugali não se utiliza verdadeiramente de uma abordagem de redes. Nem a base explicativa dos processos, nem as medidas e procedimentos analíticos utilizados são de estudos de redes. A grande contribuição do trabalho de Portugali para aquele a ser desenvolvido aqui é a noção de IRN – a possibilidade de representar conjuntamente, num único sistema, os processos mentais e ambientais envolvidos na cognição ambiental.

3.5.2 Contribuições dos estudos de redes

Existem limitações teóricas e metodológicas - tanto nas abordagens tradicionais da cognição ambiental, quanto nas abordagens aqui revisadas que utilizam a modelagem enquanto estratégia metodológica - que necessitam ser superadas para se trabalhar com a ordem simbólica. As primeiras carecem de ferramentas analíticas capazes de descrever as propriedades globais e as características estruturais das representações mentais e das imagens públicas, limitando-se a uma análise descrita das mesmas. As segundas, ao utilizarem as ferramentas analíticas da sintaxe, carecem de uma definição mais plena das características globais dos sistemas analisados. Na sintaxe a definição das chamadas características globais é feita com base na relação de cada parte com o

todo, isto é, cada parte é definida com base no seu desempenho em função do todo. Enquanto a descrição da totalidade do sistema, isto é, do conjunto das partes como um todo unitário é feito por algumas medidas definidas enquanto valor médio da rede. Estes valores médios permitem a comparação entre redes, mas a área carece de estudos que relacionem os valores observados com as características funcionais e propriedades globais do sistema. Outro problema detectado é que a definição de médias para algumas medidas é inadequado devido ao padrão distributivo assumido pelas mesmas.

As ferramentas analíticas utilizadas nos estudos de redes são, em parte, capazes de vencer o tipo de limitação presente nas abordagens sintáticas da cognição ambiental, e conjuntamente, com a noção de IRN são a alternativa aqui adotada para se tratar da análise configuracional da ordem simbólica. Cabe, portanto, avaliar os possíveis pontos de contato entre os conceitos e processos descritos na cognição ambiental e os conceitos e entendimentos nas abordagens de redes, traçando um quadro geral de referência para a investigação da ordem simbólica:

a) Características qualitativas das representações mentais e imagens públicas x estrutura topológica da rede. Os estudos de redes indicam que a estrutura topológica é capaz de limitar ou enaltecer o desempenho de um sistema em diversos aspectos, entre os quais a sua navegabilidade, a sua hierarquização interna e sua suscetibilidade a falhas. Portanto, uma descrição da estrutura topológica provavelmente é capaz de revelar aspectos qualitativos presentes nas representações mentais e imagens públicas.

b) Estratégias funcionais da cognição x propriedade *small-worlds*. A propriedade *small-worlds* é esperada como sendo uma característica apresentada pela ordem simbólica, já que a mesma garantiria que as distâncias cognitivas (mentalmente traçáveis) entre os inúmeros componentes da estrutura urbana não fossem excessivamente longas e, assim, a navegação urbana seria facilitada. A cognição ambiental enfatiza a importância utilitária das estruturas de conhecimento ambiental e a importância da navegação urbana nas interações com o ambiente. Portanto, de algum modo, as representações mentais devem fazer com que a estrutura urbana adquira a propriedade *small-worlds*. Os estudos de redes reconhecem diversas estruturas topológicas capazes de apresentar tal propriedade.

c) Navegação urbana x características estruturais - Conforme apontado por Rosvall *et al.* (2005) as redes urbanas não são otimizadas para serem navegadas com baixos níveis de informação, portanto, as mesmas requerem algum mecanismo cognitivo para tornar a navegação viável. A navegação, como vista numa rede, requer a leitura de pistas que nos ajudem a ter uma visão mais abrangente da estrutura e assim direcionar as buscas para o local adequado (Sneppen *et al.* 2005). Redes com excessos de homogeneidade implicam em falta de pistas. Para Kleinberg (2000 e 2000a) também é necessário um equilíbrio entre o número de relações próximas e remotas para que a navegabilidade seja facilitada. Na cognição ambiental um paralelo pode ser traçado entre estas características de navegabilidade e o modo como são construídas as representações mentais. Primeiramente, a formação de unidades de informação durante a cognição ambiental pode ser entendido como um meio para destacar as heterogeneidades do ambiente e assim criar referências (pistas) para a navegação urbana. Em segundo lugar, conforme salientado anteriormente (p. 96), as unidades de informação podem ser agregações de componentes entendidos como um conjunto diferenciável. Além disso, também existem as informações relacionais que geram associações entre as unidades de informação. Assim, as representações mentais parecem atender às necessidades de navegabilidade conforme definido nos estudos de redes: destacam heterogeneidades, gerando pistas; e criam relações próximas e remotas entre os componentes do sistema urbano. Portanto, também é esperado que a estrutura presente na ordem simbólica contemple algum tipo de equilíbrio entre relações próximas e remotas.

d) Representações mentais e suas estruturas incompletas, soltas ou fragmentadas x a noção de sistemas abertos - Esta característica das representações mentais, que num primeiro momento parece um problema do processamento cognitivo, pode ser melhor entendida num quadro de referência sistêmico. As representações mentais não precisam apresentar localmente relações exaustivas, definido uma estrutura com alta transitividade, já que as primeiras não constituem um sistema fechado. Os estudos de redes têm indicado que os sistemas abertos podem relaxar na sua transitividade (Latora e Marchiori, 2001) sem que isto constitua necessariamente numa deficiência funcional. As representações mentais, consideradas isoladamente, são um sistema aberto, cingido em relações múltiplas com o sistema físico urbano.

Portanto, nas interações diretas com o ambiente, o indivíduo pode-se valer do espaço físico circundante para preencher as lacunas existentes em suas representações mentais. Por outro lado, lacunas excessivamente extensas acarretam num aumento significativo de esforço cognitivo na exploração ambiental e, portanto, possivelmente representem uma deficiência na estruturação das informações ambientais.

e) Estabilidade das imagens públicas x robusteza - Os trabalhos na área da cognição ambiental têm indicado que a imagem pública tende a apresentar certa estabilidade no tempo, embora as alterações pontuais no ambiente urbano estejam permanentemente acontecendo. Nos estudos de redes a estabilidade de um sistema está associado às suas características de robusteza e vulnerabilidade, as quais estão diretamente associadas com o nível de interconectividade entre os componentes. Portanto, o padrão de interconectividade presente na ordem simbólica é esperado como compatível com as características encontradas em redes robustas (descrito na p. 44-45).

f) Redundância das informações nas representações mentais x presença de ciclos - A redundância das informações presentes nas representações mentais é tida como uma característica necessária para garantir maior confiabilidade no conhecimento ambiental. Nos estudos de redes Buhl *et al.* (2006) observam que a eficiência de funcionamento apresentado por uma rede rapidamente aumenta com a inclusão de alguns ciclos, mas que a mesma rapidamente se satura, não sendo possível melhorar significativamente seu desempenho a partir de um ponto. E que este ponto se localiza muito antes dos incrementos no número de arestas tornarem o padrão da rede similar a uma grelha. Assim, as representações mentais são esperadas como apresentando uma certa quantidade de ciclos, mas não um número próximo a uma grelha, já que as representações mentais também têm por princípio garantir a economia cognitiva.

Como pode ser observado, existem muitos pontos em que os conhecimentos da área cognitiva podem ser associados aos conhecimentos produzidos nos estudos de redes, um lançando novas bases explicativas sobre o outro.

3.6 Entendimentos sobre a ordem simbólica

Com base na revisão teórica delineada no presente capítulo e no anterior, podemos detalhar a definição de ordem simbólica apresentada na introdução deste trabalho (p. 2-6), e alargar os entendimentos sobre a sua provável estrutura e funcionamento, direcionando a investigação a ser realizada.

A ordem simbólica é a dimensão informacional, coletivamente acessível, do sistema urbano - o potencial informativo compartilhado por seus habitantes. Comporta as informações amplamente compartilhadas que foram cognitivamente trabalhadas pelos indivíduos, assim como as possibilidades de exploração direta do ambiente. Em outras palavras, é o sistema urbano mentalmente estruturado, com suas relações de possibilidade para a aquisição de novas informações e transformação da estrutura percebida. Assim sendo, pode-se dizer que a ordem simbólica é a explicitação do modo como o sistema urbano está mentalmente acessível para a coletividade de seus habitantes.

A ordem simbólica, portanto, é constituída por cinco tipos de componentes:

- a) o componente informativo do ambiente enquanto informação em potencial, ou seja, a informação em extensão - no sentido de abarcar a totalidade da memória artificial ou estocagem simbólica externa;
- b) as relações de posição relativa mantidas entre esses componentes, definido o contexto em que cada informação é percebida;
- c) os componentes abstratos, mentalmente estruturados, definidos enquanto unidades de informação, que ficam numa posição de referência com componentes ou porções do ambiente urbano e estão armazenados na mente dos indivíduos;
- d) as informações relacionais que associam estas unidades de informação entre si;
- e) as relações estabelecidas entre o ambiente e seu componente informativo e os componentes abstratos ou unidades de informação mentalmente guardadas.

Em linguagem de redes, a ordem simbólica apresenta dois tipos de elementos que podem ser transcritos em vértices e três componentes passíveis de representação enquanto arestas. Tanto vértices quanto arestas representam aspectos físicos ou cognitivos do sistema, havendo, portanto, vértices e arestas referentes à dimensão física e espacial, e vértices e arestas que representam os

aspectos cognitivos da ordem simbólica. Deste modo, a ordem simbólica apresenta algumas interconectividades que não são referentes a adjacências ou contigüidades físicas. Estas inter-relações são associações funcionais, trocas de alguma natureza que ocorrem entre elementos que, inclusive, podem estar espacialmente separados. As relações que se estabelecem entre o ambiente urbano e os processos cognitivos humanos podem ser interpretadas como associações funcionais de carácter cognitivo e, portanto, também são passíveis de serem representadas através de arestas no grafo representante da ordem simbólica.

As unidades de informação contidas na ordem simbólica podem ter diferentes origens cognitivas - percepção direta, informação responsiva, categorização, distintividade, agrupamento por similaridade, visibilidade no ambiente, etc., e as motivações de sua seleção podem ser deflagradas pelos atributos visíveis ou inferidos da informação ambiental. Assim sendo, as unidades de informação não formam um conjunto homogêneo. As mesmas utilizam-se de diversos processos temporais e cognitivos para a sua formação, havendo, portanto, unidades de informação de naturezas distintas. Os pontos em comum entre as unidades de informação é que as mesmas são significantes (compreensíveis), e possuem algum tipo de utilidade para as interações com o ambiente. Entre os aspectos utilitários destacam-se as funções de reconhecimento de lugares, a navegação urbana, a compreensão das atividades presentes no espaço e a comunicação social.

A diversidade dos processos cognitivos empregados na estruturação das informações ambientais provavelmente tem uma relação com as variadas necessidades informacionais requeridas para uma interação eficiente entre indivíduo e ambiente. Como resultado desta diversidade, aparecem diferentes tipos de unidades de informação que apresentam configurações lineares, pontuais e de áreas. Utilizando a definição do Lynch (1960), as unidades de informação tipo área correspondem aos bairros, as unidades de informação lineares incorporam as vias e os limites, e as pontuais incluem os nós e os marcos referenciais. Nesta última categoria, os nós definidos por Lynch podem ser desdobrados em nós viários e lugares ou localidades, conforme distinção sugerida pelo próprio Lynch (1960: 47).

As unidades de informação, portanto, provavelmente desempenham papéis distintos dentro da ordem simbólica, e estas diferenciações devem se refletir em

variações nas suas características configuracionais e nas interferências que as mesmas exercem no sistema como um todo.

Ao pensar no sistema de espaços urbanos e na ordem simbólica enquanto redes podemos supor que a estrutura de espaços físico da cidade deve estar mais próxima do critério de menor custo na definição das suas conexões, como qualquer rede com estrangimentos geográficos. Já a ordem simbólica é mais condizente com uma rede onde a prioridade está na redução das distâncias topológicas entre elementos, pois os estrangimentos estão no número de informações requeridas para relacionar quaisquer locais dentro da rede. Portanto, conforme os entendimentos traços por Gastner e Newman (2006a), parece que as redes dos espaços urbanos e da ordem simbólica possuem lógicas estruturais distintas.

A dinâmica da ordem simbólica e sua estrutura configuracional dependem da sobreposição entre a informação estruturada (componentes internos) e as potencialidades da informação ambiental disponível (componentes externos) mas, numa análise de estado, a estrutura observada pode ser descrita pela estrutura física urbana e as unidades de informação presentes naquele momento. A simplificação passível de ser imprimida na análise de estado deve-se ao fato das informações potenciais do ambiente - aquelas não manifestas enquanto conhecimento efetivo naquele momento - encontram-se num estado de indistinção, constituindo, portanto, um ambiente genérico.

A estrutura presente na ordem simbólica num dado momento deve, de algum modo, conseguir transformar a estrutura física da cidade em um sistema que apresenta as características qualitativas descritas nos estudos da cognição ambiental para as representações mentais e imagens públicas. Portanto, a estrutura configuracional presente na ordem simbólica deve ser compatível com um sistema que apresenta: a) facilidades de relacionar componentes próximos e distantes (saber se orientar localmente e no âmbito global do sistema); b) a possibilidade de navegação com informação limitada (o conhecimento ambiental é incompleto), e; c) hierarquização interna (seletividade, eliminação ou redução da interferência das informações de baixa prioridade).

PARTE II - A construção do modelo de simulação

4. MEDIDAS DE DESCRIÇÃO DAS REDES

De modo a abordar os problemas centrais de pesquisa e verificar as diversas hipóteses levantadas foi elaborado um modelo computacional baseado em grafos. O mesmo tem por objetivo permitir a simulação das interações que se imaginam por detrás da ordem simbólica, testar as hipóteses levantadas e realizar as análises do comportamento do sistema e de seus componentes. O *software*, denominado Morphometrics, é um *fork*³² do *software* Medidas Urbanas 1.15 (Polidori *et al.* 2001) onde foi implementado um conjunto de operações matemáticas que descrevem o comportamento da rede como um todo e o comportamento individual dos componentes em função da estrutura global da rede. O programa permite a visualização dos resultados espacializados no grafo que representa o sistema, assim como a exportação dos resultados definidos por componente, de modo a permitir a realização das análises estatísticas complementares.

Neste capítulo são descritas as medidas empregadas na descrição das características configuracionais da ordem simbólica e do espaço urbano. Este conjunto de medidas, implementado no *software* Morphometrics, pode ser dividido em dois grandes grupos: as medidas que descrevem as características dos vértices e requerem procedimentos complementares de análise do padrão distributivo ou de definição de médias para descrever as características do sistema; e as medidas que descrevem diretamente as características globais da rede.

4.1 Medidas que definem as características dos componentes do sistema

As medidas que definem as características configuracionais dos componentes do sistema descrevem cada vértice em função das configurações locais ou globais da rede. As características que são descritas em função da configuração global da rede partem do princípio de que as propriedades da rede podem ser vistas como um “recurso” distribuído de modo desigual entre os seus vértices.

Muitas das medidas que descrevem as características individuais dos vértices, ao serem analisadas enquanto padrão distributivo, são capazes de definir

³² Um *fork* é um desenvolvimento de *software* onde o desenvolvedor inicia um projeto independente com base no código de um projeto pré-existente, ou seja, quando um *software* é desenvolvido com base em outro, podendo haver alterações nas rotinas deste e novas funcionalidades são implementadas.

por meio de suas particularidades distributivas características configuracionais de caráter global do sistema.

4.1.1 Medidas que descrevem as características de conectividade local

As medidas que descrevem as características de conectividade local definem o padrão de conexões apresentado pelo vértice e seus vizinhos imediatos. Fazem parte deste conjunto de medidas:

a) o Grau do Vértice (k) definido pelo número de arestas que incidem no vértice (p. 26). O padrão distributivo do Grau do Vértice é capaz de distinguir entre diferentes famílias de redes. O mesmo descreve o intervalo de variação e as frequências de ocorrência dos diversos valores na rede. A revisão sobre os principais padrões não-triviais de distribuição e suas implicações nas características estruturais da rede encontram-se no capítulo 2 (p. 37-40).

O padrão distributivo pode ser definido com base na distribuição da $P(k)$, que corresponde a probabilidade de vértices com grau igual a k para redes de grandes dimensões ou pela fração de vértices com grau igual a k quando a rede é passível de ser descrita em sua totalidade. Para as situações onde os dados apresentam grandes flutuações, principalmente devido ao tamanho reduzido da rede analisada, pode ser usada a distribuição acumulada:

$$P_{cum}(k) = \sum_{k' > k} P(k') \quad (1)$$

A determinação do padrão distributivo encontrado é definido com técnicas mais ou menos sofisticadas, dependendo no nível de precisão requerido para a análise³³.

b) o Coeficiente de Agrupamento (γ) definido por Watts e Strogatz (1998) é uma medida local que descreve o nível de transitividade da rede³⁴. A mesma define em que medida os vértices adjacentes a um dado vértice também se encontram conectados entre si. O valor para cada vértice i é dado pela razão entre o número de ligações existentes entre os vizinhos de i e o número máximo de ligações possíveis entre estes:

³³ Para uma revisão sobre o assunto veja Clauset *at al.* (2009).

³⁴ Uma revisão sobre esta e outras formas de descrever a transitividade da rede e as implicações de cada modo de cálculo podem ser encontradas em Newman (2003a). Para a medida aqui adotada cabe ressaltar que a mesma acaba por privilegiar a contribuição dos vértices de menor grau no valor da rede.

$$\gamma_i = \frac{|E(G'_i)|}{\frac{N'(N'-1)}{2}} \quad (2)$$

onde $|E(G'_i)|$ é o número de conexões no subgrafo G' composto pelos vértices adjacentes a i , e N' é o número de vértices no subgrafo G' .

A aplicação do Coeficiente de Agrupamento para redes reais pode apresentar alguns problemas na correta quantificação da organização local presente nas mesmas, dependendo de seu do tipo de estrutura (Vragović *et al.* 2004). Devido às dúvidas surgidas quanto à definição do comprimento dos ciclos a serem utilizados para a definição da transitividade em redes urbanas (veja revisão na p. 69), a medida foi implementada de modo a permitir que o usuário defina a vizinhança a ser considerada.

c) a Eficiência Local (E_L) definida por Latora e Marchiori (2001) descreve a transitividade da rede em termos da eficiência das interações entre os vértices dado o padrão local de conectividade da rede. A medida revela quão eficiente é a conectividade entre os vizinhos de i quando i é removido e, neste sentido, está relacionado com a tolerância local ao erro³⁵. A medida é descrita para cada vértice i através do computo da eficiência do trajeto entre todos os vértices pertencentes ao subgrafo G_i composto pelos vizinhos imediatos de i , onde $i \notin G_i$.

A eficiência do trajeto entre vértices é definido como sendo inversamente proporcional à distância entre os mesmos. Quando não existe um caminho que permita conectar j a k , a distância entre os vértices é infinita e, por conseqüência, a eficiência da conectividade entre eles é considerada nula.

A definição da E_L é dada por:

$$E_L = \frac{\sum_{\substack{j,k \in G \\ j \neq k}} \frac{1}{d_{jk}}}{N'(N'-1)/2} \quad (3)$$

onde j e k são vizinhos de i , d_{jk} é a distância entre j e k e N' é o número de vértices vizinhos de i . A medida, portanto, é normalizada por um grafo completo de mesma ordem da vizinhança de i , garantindo assim a possibilidade de comparação entre vértices sem que o tamanho da vizinhança de cada um interfira nos resultados.

³⁵ Existem outros conceitos de tolerância ao erro, onde a mesma é definida pela resposta do grafo inteiro à remoção de i .

As duas medidas que descrevem a transitividade associada a cada vértice apresentam diferenças conceituais que merecem ser destacadas. O Coeficiente de Agrupamento segue a definição clássica de transitividade e descreve a razão entre as triangulações dos quais um vértice participa e o número máximo de triangulações possíveis na sua vizinhança imediata. A Eficiência Local, por outro lado, avalia quanto as distâncias entre os vizinhos de um vértice são reduzidas pela sua participação, dando ênfase na otimização das conexões a nível local.

4.1.2 Medidas que descrevem a interconectividade do sistema

A interconectividade apresentado pelo sistema pode ser descrito pelo padrão de ciclos (p. 27) de diferentes tamanhos associados a cada vértice:

a) o Número de Ciclos com diferentes comprimentos topológicos dos quais um vértice participa descreve a facilidade com que o mesmo se comunica dentro da rede em diferentes raios de abrangência. Esta medida também dá uma noção do nível de redundância nas associações entre os vértices e, portanto, está associado a características de robusteza e estabilidade da rede (Vazquez *et al.* 2005).

O padrão de distribuição do Número de Ciclos por comprimento, ao ser analisado para o conjunto de vértices, descreve o padrão global de interconectividade do sistema e pode indicar a presença de estrangulamentos ou afunilamentos na estrutura do mesmo.

4.1.3 Medidas que descrevem as distâncias entre componentes

As medidas baseadas nas distâncias entre vértices descrevem cada vértice em função das distâncias geodésicas que o separam dos demais vértices da rede. Determinam, portanto, a posição relativa de um vértice tendo em conta a estrutura global da rede. A descrição da distância entre vértices é uma questão importante na estrutura de um grafo e, ao ser expressa como uma qualidade individual de cada vértice, define a facilidade de alcançar todos os vértices do ponto de vista de um vértice específico.

É importante observar que estas medidas estão fortemente condicionadas por dois fatores. O primeiro é a localização (ou posição relativa) do vértice na rede e, o segundo é o padrão geral das conexões presente na rede. Quando o padrão de

conexões é relativamente homogêneo e estas conexões possuem um caráter local - como na representação do sistema urbano por unidades morfológicas mínimas - a influência locacional será preponderante. Esta influência locacional pode ser problemática ao se faz a análise para um recorte da área urbana. Além do problema gerado pelo efeito de borda, o padrão apresentado pelos componentes dentro da área recortada pode não refletir o seu desempenho dentro da estrutura urbana global. Este problema, inerente às medidas baseadas em distância, foi salientado por Crucitti *et al.* (2005) e Porta *et al.* (2006) e exigem que os resultados obtidos sejam avaliados com cautela.

Para todas as medidas a distância entre quaisquer dois vértices i e j é dado pela distância geodésica entre o vértice i e o vértice j , onde $i \neq j$, e o comprimento do caminho é definido pelo número de ligações percorridas entre i e j . As medidas que descrevem os vértices com base nas distâncias são:

a) a Excentricidade, conforme definido anteriormente (p. 28), corresponde a distância máxima que separa um vértice de todos os demais na rede, isto é, o maior dos menores caminhos mínimos de um vértice. A medida somente é aplicável a grafos conexos.

b) a Moda da Distância é outra possibilidade de expressar a distância entre os vértices do grafo, inclusive de grafos desconexos. A Moda da Distância de um vértice é a distância geodésica que mais freqüentemente o separa dos demais vértices no grafo.

c) a Distância Média de um vértice é definido pela razão entre o somatório das distâncias geodésicas que separam um vértice i dos demais vértices j do grafo e o número de pares ij presentes no grafo, sendo $i \neq j$. Assim, a Distância Média (\bar{d}) para um vértice i é definido como:

$$\bar{d}_i = \frac{\sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} d_{ij}}{N-1} \quad (4)$$

onde N é o número de vértices do grafo e d_{ij} é o comprimento do caminho mínimo entre i e j .

A Distância Média descreve quão bem posicionado está um vértice no grafo com respeito à minimização das distâncias a todos os demais vértices. Esta medida só tem significado para grafos conexos. Por definição, quando não existem conexões que permitam alcançar j a partir de i , a distância entre eles é infinita.

d) a Acessibilidade (A) descreve a facilidade com que um vértice pode ser alcançado a partir de qualquer outro vértice na rede. Um vértice é acessível na medida em que a distância geodésica que o separa de todos os demais é pequena. Quanto mais próximo aos demais um vértice estiver, maior a sua acessibilidade³⁶. Assim, a Acessibilidade de um vértice i é definida pelo inverso da soma dos caminhos mínimos entre i e j , sendo $i \neq j$:

$$A_i = \sum_{\substack{j \in G \\ i \neq j}} \frac{1}{d_{ij}} \quad (5)$$

onde j é todo o vértice da rede menos o vértice i e d_{ij} é a distância entre i e j .

Os valores resultantes da medida de Acessibilidade, do mesmo modo que as demais medidas baseadas em distância, são influenciados pelo o número de vértices do grafo. Neste sentido, quando são requeridas comparações entre grafos de ordens distintas a medida é aplicada na sua versão normalizada. A normalização da medida é feita pelo valor máximo que um vértice pode assumir num grafo completo de mesma ordem³⁷. Com a normalização os valores assumidos pela medida variem de 0 a 1, onde 0 corresponde a um vértice desconectado e portanto inacessível, e 1 define um vértice diretamente acessível a partir de todos os demais. O valor normalizado da Acessibilidade é definido como:

$$A_{Ri} = \frac{\sum_{\substack{j \in G \\ i \neq j}} \frac{1}{d_{ij}}}{N - 1} \quad \text{Equação (6)}$$

onde d_{ij} é a distância entre i e j e N é o número de vértices do grafo.

³⁶ O conceito de acessibilidade aparece no trabalho de Freeman (1979) enquanto Centralidade por Proximidade. A definição com base na distância média (sem a inversão de valores) advém de Sabidussi (1966 *apud*. Freeman; 1979).

³⁷ A definição normalizada com base no inverso da distância média é atribuída a Beauchamp (1965 *apud*. Freeman; 1979) e aparece no trabalho de Porta *et al.* (2006 e 2006a) e Crucitti *et al.* (2005 e 2006) aplicado a sistemas urbanos.

As demais medidas baseadas em distância também possuem versões normalizadas pelo mesmo critério.

Todas as medidas baseadas em distância podem ser analisadas quanto ao seu padrão distributivo na rede. O mesmo é capaz de indicar o nível de desigualdade dentro do sistema para esta característica, mas o tipo de padrão distributivo é tido como variando pouco em redes espaciais (veja revisão das aplicações em redes urbanas na p. 70-71).

4.1.4 Medidas que descrevem distâncias a partir de componentes específicos

As distâncias que separam os componentes do sistema também podem ser definidas a partir da posição de um ou mais vértices específicos, definido aquilo que se pode chamar de Profundidade Direcionada:

a) a Profundidade Direcionada de um vértice é a menor distância que o separa do(s) vértice(s) definido(s) como ponto(s) de origem da medição. A este(s) ponto(s) de origem é designado o valor 0 já que o(s) mesmo(s) não necessitam de conexões para atingir os vértices designados. Aqueles diretamente conectados recebem o valor 1, os que requerem dois passos topológicos são designados como 2 e assim sucessivamente. Assim, a medida descreve o nível de proximidade de um dado vértice a um outro vértice ou conjunto de vértices selecionados como relevantes por algum critério. No caso da utilização de um conjunto de vértices, o valor assumido por cada vértice é o da menor das distâncias que o separa de todos os vértices do conjunto.

O padrão distributivo da medida descreve a capacidade do(s) vértice(s) definido(s) como origem estarem próximos de todos os demais vértices do sistema e o padrão geral em que esta proximidade acontece.

4.1.5 Medidas que descrevem a conectividade indireta entre componentes

As medidas baseadas no papel desempenhado pelos vértices na intermediação das relações dentro da rede descrevem a estrutura configuracional com base na participação de cada vértice nos percursos dentro da rede. As interações entre dois vértices não adjacentes depende da intermediação realizada por outros vértices e suas conexões, isto é, a existência de uma seqüência de

vértices conectados que formam um caminho entre os dois. A esta qualidade dos vértices de fazerem parte dos menores caminhos entre pares de vértices podemos chamar de centralidade. Um vértice é central na medida em que este possui importância para a rede devido a sua participação na conectividade entre pares de vértices. Assim, este conjunto de medidas traz consigo de modo implícito a idéia de deslocamentos e fluxos dentro da rede. Pode-se dizer que vértices que ficam entre outros pares de vértices possuem um poder de controle e influência estratégicos sobre os demais na medida em que medeiam as interações (ou fluxos) que ocorrem na rede. A concepção por detrás das diferentes medidas de centralidade está baseada neste fato.

Estão incluídas neste conjunto de medidas:

a) a Centralidade por Perpasso (C_p), originalmente definida por Freeman (1977 e 1979), é a expressão mais direta da idéia de centralidade. Um vértice é central na medida em que este fica entre muitos outros vértices, no sentido de que este é perpassado por muitos dos menores caminhos entre pares de vértices. A centralidade de um vértice é definida pela constância com que o mesmo serve de intermediário para as relações entre os demais vértices da rede. Isto equivale a dizer que o vértice não é importante por si só, mas pelo papel que desempenha para os outros.

A determinação do valor da Centralidade por Perpasso depende de dois fatores: o número de caminhos mínimos que passam pelo vértice e a existência de múltiplos caminhos mínimos conectando os pares de vértices. Assim, quando existe apenas um caminho mínimo entre um par de vértices, a cada vértice que participa do caminho mínimo é atribuído o valor 1. No caso de existir mais de um caminho mínimo entre o par de vértices, o valor atribuído ao vértice é proporcional à sua participação nos mesmos:

$$pc_{jk} = \frac{1}{n_c} * n_c(i) \quad (7)$$

onde n_c é o número de caminhos mínimos entre j e k , $n_c(i)$ é o número de caminhos mínimos entre j e k que contém o vértice i , sendo $j \neq k \neq i$.

A Centralidade por Perpasso de um vértice i é definido como o somatório de todas as participações nos caminhos mínimos que passam pelo vértice i :

$$C_{P_i} = \sum_{\substack{j,k \in G \\ j \neq k \neq i}} p_{C_{jk}}(i) \quad (8)$$

onde $p_{C_{jk}}(i)$ é a participação de i no(s) caminho(s) mínimo(s) entre j e k , onde $j \neq k \neq i$.

O valor de C_P é dependente do tamanho da rede e, portanto, é útil definir uma versão normalizada da medida para permitir a comparação entre grafos de ordens distintas. O valor normalizado da Centralidade por Peripasse (C_P^n) é dado pela razão entre o valor atribuído ao vértice e o máximo valor que um vértice pode assumir num grafo de mesma ordem (Freeman, 1979):

$$C_P^n = \frac{2 \sum_{\substack{j,k \in G \\ j \neq k \neq i}} C_P}{N^2 - 3N + 2} \quad (9)$$

onde N é o número de vértices do grafo.

b) a Centralidade por Campo de Tensões (C_{CT}) parte do princípio de que cada par de vértices é capaz de gerar uma tensão sobre a rede que origina um campo de intensidade homogênea que abrange, além do próprio par, todos os vértices contidos no(s) menor(es) caminho(s) entre estes. Nesta definição de centralidade um vértice é central na medida em que participa de muitos destes campos de tensões, ou seja, na medida em que é um condutor das tensões na rede.

A tensão gerada por cada par de vértices pode ser definida como um valor único para todos os vértices, de forma a avaliar apenas as qualidades topológicas da medida. Mas também pode receber valores específicos por vértice, de modo a representar características especiais dos vértices em termos de sua atratividade, importância ou capacidade de influenciar na rede. No primeiro caso a tensão entre qualquer par de vértices é definido como 1. No segundo caso a tensão é específica por par, e definida pela multiplicação das suas tensões. No presente estudo, onde não estão consideradas as caracterizações qualitativas do espaço urbano nem da ordem simbólica, a medida será definida com uma tensão constante de valor 1 entre todos os pares de vértices.

Na determinação do valor da Centralidade por Campo de Tensões existem dois fatores intervenientes: o número de campos de tensões incidentes sobre o vértice, e a distância que separa os pares de vértices geradores destas tensões. A medida assume que a tensão gerada por cada par de vértices sofre um decaimento em

decorrência da distância que separa os mesmos. Assim, a intensidade do campo de tensão gerada é definida como inversamente proporcional à distância geodésica entre o par:

$$Ict_{jk} = \frac{T_{jk}}{d_{jk+1}} \quad (10)$$

onde T_{jk} é a tensão entre o par de vértices j e k , sendo $j \neq k$, e d_{jk} é a distância geodésica entre j e k .

A Centralidade por Campo de Tensões de cada vértice i é definida pelo somatório da intensidade dos campos de tensão gerados por todos os pares de vértices cujos caminhos mínimos passam em i :

$$C_{CT} = \sum_{\substack{j,k \in G \\ j \neq k \neq i}} Ict_{jk}(i) \quad (11)$$

onde $Ict_{jk}(i)$ é a intensidade do campo de tensão entre j e k incidente no vértice i .

Cabe salientar que na medida Centralidade por Campo de Tensões a soma das tensões contidas ao longo de qualquer caminho mínimo entre um par de vértices é igual à tensão entre o par, mas a tensão total gerada sobre a rede depende do número e da configuração dos caminhos mínimos. Isto significa que cada par de vértices pode colaborar de forma distinta para o comportamento observado na rede.

A versão normalizada da medida de Centralidade por Campo de Tensões também é dado pela razão entre o valor atribuído ao vértice e o máximo valor que um vértice pode assumir num grafo de mesma ordem³⁸. Portanto, não havendo diferenciações nas tensões de cada vértice, a formulação dada a C_{CT} normalizada é:

$$C_{CT}^n = \frac{2 \sum_{\substack{j,k \in G \\ j \neq k \neq i}} C_{CT}}{N^2 - 3N + 2} \quad (12)$$

c) a Centralidade Freeman-Krafta (C_{FK}) definida por Krafta (1994),³⁹ com base na medida de Centralidade por Perpasso de Freeman (1977 e 1979), também está fundamentada na idéia de que um vértice é central na proporção em que participa dos menores caminhos entre pares de vértices. Ao mesmo tempo, similarmente à

³⁸ O máximo valor também é depende das tensões geradas entre os pares de vértices, caso fossem utilizadas tensões específicas para os vértices.

³⁹ A medida originalmente definida por Krafta considera os estoques construídos os geradores das tensões em cada vértice representante do espaço físico.

medida Centralidade por Campo de Tensões, cada par de vértices é capaz de gerar uma tensão de intensidade variável que se espalha por todos os vértices contidos no(s) menor(es) caminho(s) entre estes. Pelos motivos expostos anteriormente, aqui esta medida será definida com uma tensão constante de valor 1 entre os pares de vértices.

Deste modo, na determinação do valor da medida de Centralidade Freeman-Krafta, existem três fatores intervenientes: o número de campos de tensões incidentes sobre o vértice, a existência de múltiplos caminhos mínimos conectando os pares de vértices, e a distância que separa os pares de vértices geradores das tensões.

No computo da Centralidade Freeman-Krafta a intensidade da tensão gerada por cada par de vértices é proporcional à distância geodésica entre o par:

$$It_{jk} = \frac{T_{jk}}{d_{jk+1}} \quad (13)$$

onde T_{jk} é a tensão entre o par de vértices j e k , sendo $j \neq k$ e d_{jk} é a distância geodésica entre j e k .

A definição da participação do vértice no(s) caminho(s) mínimo(s) entre o par de vértices é dada por:

$$pc_{jk} = \frac{1}{n_c} * (It_{jk} * n_c(i)) \quad (14)$$

onde It_{jk} é a intensidade da tensão entre j e k , n_c é o número de caminhos mínimos entre j e k , $n_c(i)$ é o número de caminhos mínimos entre j e k que contém o vértice i , sendo $j \neq k \neq i$.

Por fim, o valor da Centralidade Freeman-Krafta de um vértice i é definido como o somatório de todas as participações nos caminhos mínimos que passam pelo vértice i :

$$C_{FK_i} = \sum_{\substack{j,k \in G \\ j \neq k \neq i}} pc_{jk}(i) \quad (15)$$

onde $pc_{jk}(i)$ é a participação de i no(s) caminho(s) mínimo(s) entre j e k , onde $j \neq k \neq i$.

A versão normalizada da medida de Centralidade Freeman-Krafta também é dado pela razão entre o valor atribuído ao vértice e o máximo valor que um vértice pode

assumir num grafo de mesma ordem. Não havendo diferenciações entre as tensões geradas por cada par de vértices, a medida normalizada é definida como:

$$C_{FK}^n = \frac{2 \sum_{j,k \in G, j \neq k \neq i} C_{FK}}{N^2 - 3N + 2} \quad (16)$$

As três medidas que descrevem o papel dos vértices na intermediação entre as relações indiretas dentro da rede são correlatas, isto é, estão medindo uma mesma propriedade. As variações no modo de computar as características de centralidade de cada vértice acarretam em diferenças sutis que merecem ser destacadas.

As variações entre medidas manifestam-se sob três aspectos: a amplitude dos valores atribuídos; as variações nos *rankings* assumidos pelos vértices; e, principalmente, ao comportamento associado aos vértices com os valores mais baixos. Estas diferenças podem ser observadas nos gráficos de dispersão que fazem a comparação do desempenho dos vértices para as medidas normalizadas de centralidade duas a duas (Figura 14), assim como no gráfico comparativo das três medidas onde os valores atribuídos em cada medida foram ordenados de menor a maior (Figura 15).

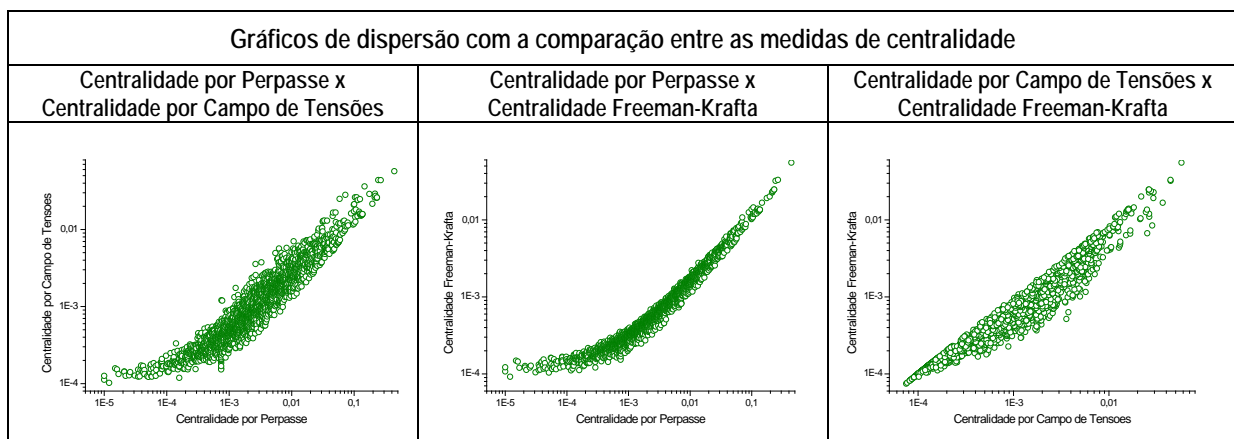


Figura 14 - Gráficos de dispersão em escala log-log comparando os valores atribuídos por vértice nas medidas Centralidade por Perpasso, Centralidade por Campo de Tensões e Centralidade Freeman-Krafta.

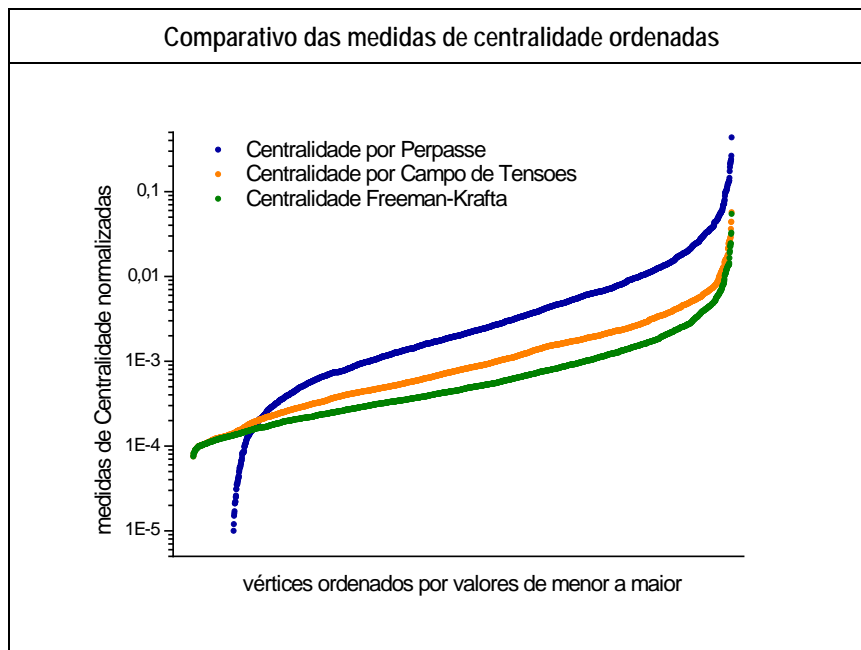


Figura 15 – Gráfico comparativo da distribuição de valores das medidas Centralidade por Perpasse (azul), Centralidade por Campo de Tensões (laranja) e Centralidade Freeman-Krafta (verde), onde as medidas estão em escala logarítmica. Os valores foram ordenados de forma crescente para cada medida de modo independente.

As diferenças entre medidas podem acarretar em diferenças na capacidade de descrever as características configuracionais da rede relevantes para a ordem simbólica. A comparação do desempenho entre medidas será feito quando do emprego destas medidas no capítulo 7 e 8 deste trabalho.

4.1.6 Medidas que descrevem a interferência no comportamento da rede

As medidas baseadas na definição da capacidade de um vértice interferir no comportamento da rede descrevem um vértice em função de seu papel para o funcionamento da rede como um todo. Nesta categoria se encaixa a medida Centralidade por Informação:

a) a Centralidade por Informação (C_i) definida por Crucitti *et al.* (2005) e Porta *et al.* (2006 e 2006a) descreve a importância de um vértice em função da sua capacidade de interferir positivamente na eficiência da conectividade da rede. O grau de interferência de um vértice na conectividade da rede é medida pela queda da eficiência na rede causada pela remoção das conexões incidentes nele. Portanto, a medida relaciona a importância do vértice com a habilidade da rede em responder à desativação do vértice. O desempenho da rede antes e depois da desativação de

um dado vértice é medido pela Eficiência Global da rede (E_G) descrita no item sobre as medidas que definem as características globais do sistema (p. 130-131).

A definição da Centralidade por Informação de um vértice i está vinculado à diferença no valor da medida Eficiência Global antes e depois da desativação de i :

$$C_I = E_G - E'_G \quad (17)$$

onde E_G é a eficiência do grafo antes da desativação de i e E'_G é a eficiência do grafo depois da desativação de i . Cabe esclarecer que o valor de E'_G é computado para o grafo com N vértices e $K-k_i$ conexões, onde k_i são as arestas incidentes em i .

A versão normalizada da medida Centralidade por Informação é definida para assumir valores entre 0 e 1, sendo descrito por:

$$C_I = \frac{E_G - E'_G}{E_G} \quad (18)$$

4.2 Medidas que definem as características globais do sistema

As medidas globais definem características configuracionais referentes à rede como um todo. As mesmas podem depender do padrão global de atingibilidade e conectividade presente no sistema ou da intensidade com que certos padrões locais se manifestam. As medidas globais podem ser entendidas como descrições de estado do sistema num dado momento.

4.2.1 Medidas que descrevem as características de conectividade

As medidas referentes às características de conectividade global do sistema descrevem o mesmo em função do padrão de conectividade, isto é, das possibilidades de passagem e um vértice qualquer aos demais vértices da rede. Estas medidas definem os níveis de fragmentação e de fragilidades estruturais presentes no sistema e estão associadas ao conceito de robustez das análises de redes (p. 44-45).

Todas as medidas incluídas neste grupo são conceitos tradicionais e foram definidas quando da revisão dos conceitos em grafos (capítulo 2, p. 25-34). Fazem parte deste conjunto de medidas:

- a) o Número de Componentes, definido pela contagem dos componentes constantes no grafo (p. 29);
- b) a Conectividade de Arestas (p. 30);
- c) a Conectividade de Vértices (p. 30);
- d) o Número de Pontes, descrito pela contagem da quantidade de pontes presentes no grafo (p. 30);
- e) o Número de Vértices de Articulação, descrito pela contagem da quantidade de vértices de articulação presentes no grafo (p. 30).

A detecção da presença, quantidade e/ou intensidade destas características na estrutura da rede é definida por meio de diversos algoritmos computacionais de busca e detecção de padrões de ocorrências que satisfazem as condições estabelecidas no conceito da medida global. Os procedimentos contidos nos algoritmos computacionais não serão aqui descritos.

4.2.2 Medidas que descrevem o padrão global de transitividade

A transitividade presente na rede pode ser descrita pelo Coeficiente de Agrupamento apresentado anteriormente:

- a) o Coeficiente de Agrupamento (γ) pode ser definido como uma medida global da rede e é computado como a média dos valores referentes a todos os vértices i pertencentes ao grafo:

$$\gamma = \frac{\sum_{i \in G} \gamma_i}{N} \quad (19)$$

onde N é o número de vértices do grafo.

4.2.3 Medidas que descrevem as características de dimensão e atingibilidade

As medidas que descrevem as dimensões da rede e suas características de atingibilidade global definem o padrão de distâncias que separa os componentes do sistema. O conjunto de medidas diz respeito à capacidade que o grafo oferece de facilmente alcançar qualquer vértice a partir de qualquer outro vértice dentro do sistema. Estas medidas somente fazem sentido para redes conexas e são

pertinentes para ajudar a detectar a propriedade *small-worlds* das análises de redes (p. 43 - 44). Fazem parte deste conjunto de medidas:

a) o Diâmetro da rede (p. 28), aqui definido na sua versão clássica, isto é, enquanto a máxima distância geodésica que separa dois vértices dentro de um grafo ou, em outras palavras, é o maior valor de excentricidade dos vértices do grafo. A medida dá uma idéia da extensão da rede;

b) o Raio da rede (p. 29), que define o limite superior da acessibilidade dentro de uma rede;

c) o Caminho Mínimo Característico (L) definido por Watts e Strogatz (1998) descreve a distância geodésica média da rede e é expresso pela média dos caminhos mínimos calculados entre todos os pares possíveis de vértices do grafo⁴⁰:

$$L = \frac{\sum_{i \neq j \in G} d_{ij}}{N(N-1)} \quad (20)$$

onde N é o número de vértices e d_{ij} o caminho mínimo entre i e j , sendo $i \neq j$.

O Caminho Mínimo Característico dá uma idéia do padrão geral de facilidade de acesso entre vértices, onde valores mais baixos de L indicam um grafo com melhor acessibilidade interna.

d) o Modo da Distância que descreve a distância geodésica que mais freqüentemente separa qualquer par de vértices dentro da rede.

4.2.4 Medidas que descrevem o padrão global de conectividade

O padrão de conectividade global da rede pode ser descrito pela medida Eficiência Global:

a) a Eficiência Global é uma medida definida por Latora e Marchiori (2001) que descreve quão eficientemente é possível realizar as interações entre vértices dado o padrão global de conectividade da rede. A eficiência com que as interações acontecem é posto como sendo inversamente proporcional às distâncias que separam os vértices uns dos outros. Quando não existe um caminho que permita conectar j a k , a distância entre os vértices é infinita e, por conseqüência, a

⁴⁰ Em Watts (1999, p. 29) aparece a definição do Caminho Mínimo Característico usando a mediana em vez da média da rede. Esta alternativa é utilizada para se trabalhar com redes excessivamente grandes para serem completamente mapeadas e por isso seus cálculos são baseados em amostragens. Nestes casos o uso da mediana facilitaria o computo da medida.

eficiência da conectividade entre eles é considerada nula. A Eficiência Global é definida como:

$$E_G = \frac{\sum_{\substack{j,k \in G \\ j \neq k}} \frac{1}{d_{jk}}}{N(N-1)/2} \quad (21)$$

onde j e k são vértices da rede, N é o número de vértices da rede e d_{jk} é a distância entre j e k , sendo $j \neq k$.

Os valores da Eficiência Global estão normalizados pelo número de conexões de um grafo completo com o mesmo número de vértices. Assim, os valores resultantes ficam contidos num intervalo de 0 a 1, onde 0 significa que não existem conexões entre quaisquer vértices e 1 representa um grafo completo.

A concepção de eficiência utilizada na medida Eficiência Global e Eficiência Local vista anteriormente (p. 117), permite a medição da conectividade global e local⁴¹ para grafos desconexos e traz a possibilidade de considerar que as conectividades entre vértices possam ser valoradas. Para a finalidade do presente trabalho a questão da valoração das arestas será desconsiderada.

⁴¹ A concepção de eficiência surgiu como uma alternativa para descrever através de um único conceito as qualidades conectivas globais e locais de um grafo, substituindo respectivamente, as medidas Caminho Mínimo Característico (L) e Coeficiente de Agrupamento (γ) apresentadas anteriormente.

5. A ORDEM SIMBÓLICA COMO UM GRAFO

Cidade e ordem simbólica permitem a representação por grafos. A ordem simbólica pode ser pensada como uma rede cujos componentes são os espaços físicos urbanos e as unidades de informação, e cujas inter-relações entre componentes são tanto físicas quanto cognitivas.

A adoção de modelos baseados em teoria dos grafos pressupõe que os fenômenos estudados possam ser descritos por dois componentes: os elementos do sistema definidos enquanto unidades discretas, e as relações ou interações existentes entre estes. Porém, qualquer sistema complexo se apresenta de forma multifacetada, permitindo inúmeras interpretações na sua representação. No caso específico da análise de estado da ordem simbólica, as possibilidades de interpretações variadas se referem tanto à representação do espaço urbano, quanto da informação mentalmente estruturada - as unidades de informação. Conforme visto anteriormente (capítulo 2, p. 60-65 e 67-74), os critérios de representação escolhidos interferem fortemente nos resultados das análises de redes. Devido a estas implicações, o presente capítulo é dedicado à definição e explicitação dos critérios utilizados na representação da ordem simbólica como um grafo. Tanto as definições do modo de representar o ambiente urbano, quanto das unidades de informação necessitam ser discutidas e testadas.

5.1 Os componentes do sistema

Para a ordem simbólica existem dois aspectos a serem representados conjuntamente no grafo: o ambiente urbano que é a base sobre a qual todo e qualquer conhecimento sobre a cidade é construído; e as unidades de informação que são os componentes cognitivamente detectados. Portanto, um grafo representando a ordem simbólica possui componentes (vértices e arestas) referentes ao ambiente urbano, e componentes referentes às unidades de informação. Devido às bases teóricas distintas que levam à definição dos critérios de representação de cada um destes aspectos, os mesmos serão discutidos separadamente a seguir.

5.1.1 O ambiente urbano e sua estrutura

Na representação do ambiente urbano, a primeira questão que se coloca é a inclusão ou não das áreas destinadas às edificações como elementos do grafo. Na ordem simbólica os lotes e suas edificações são um meio importante na veiculação do componente informativo. Para a simulação da formação da ordem simbólica e sua dinâmica temporal a inclusão dos lotes na representação parece fundamental, já que estes são um dos principais (e mais dinâmicos) transformadores do componente informativo da cidade. Mas, numa abordagem de leitura de estado, como no trabalho desenvolvido aqui, é possível simplificar a representação do ambiente urbano assumindo que as informações que os lotes e suas edificações carregam podem estar retidas agregadamente nos espaços urbanos de acesso, similarmente ao empregado por Krafta *et al.* (1998). Na descrição configuracional da ordem simbólica esta simplificação se justifica tanto pelo enfoque mais geral que esta abordagem exige, quanto pela economia de dados e processamento computacional.

A próxima questão que se coloca é a divisão do espaço público em unidades discretas. Para a ordem simbólica interessa adotar um critério que permita refletir tanto as características do ambiente quanto os aspectos envolvidos na cognição ambiental. Conforme colocado anteriormente (p. 64), a descrição por unidades morfológicamente definidas, tanto máximas quanto mínimas, favorece a análise configuracional do espaço urbano e as mesmas se adaptam mais facilmente às abordagens cognitivas. As unidades máximas, embora reflitam aspectos visuais ou de continuidade de movimento (conforme o critério de discretização adotado) nos parecem excessivamente abrangentes para abordar a ordem simbólica. As mesmas podem englobar diversos seguimentos de espaço público passíveis de serem cognitivamente classificados de modo distinto. A descrição por unidades mínimas atende melhor a este quesito e será o princípio geral adotado neste trabalho.

As unidades mínimas a serem empregadas incorporam tanto as vias de circulação, quanto os demais espaços abertos de acesso público tais como praças, largos e parques aos quais os agentes urbanos possuem livre acesso e pelos quais podem circular. Para comportar uma análise cognitiva do ambiente urbano e permitir uma correspondência entre espaços públicos e as unidades de informação na representação da ordem simbólica, a divisão espacial deve garantir uma distinção

entre ambos. Assim, similarmente ao empregado em Faria (2002), é proposto que o espaço referente às vias de circulação seja segmentado nas intersecções entre vias e nas mudanças significativas de direção⁴² ou dimensão transversal. Para os demais espaços públicos não destinados exclusivamente à circulação, as unidades espaciais ficam delimitadas por seu limite com as vias de circulação e/ou lotes, independente da sua forma ou dimensão.



Figura 13 – Exemplo de transformação do sistema urbano num grafo para um trecho da área central de Boston, USA: (a) imagem de satélite de 2006; (b) mapeamento das vias e praças; (c) representação dos espaços públicos como um grafo seguindo os critérios acima descritos. Fonte: imagem de satélite do Google Earth; mapa e grafo da autora.

A presente definição procura garantir uma descrição estável para cada unidade espacial, isto é, as informações perceptíveis de qualquer ponto dentro da unidade são relativamente constantes, além de possibilitarem uma correspondência com as possíveis ações nelas exercidas. Deste modo, na representação do ambiente urbano como um grafo, cada unidade mínima, assim definida, é representada por um vértice. As arestas correspondem às possibilidades de acesso físico de um espaço para outro. Vértices e arestas representantes do espaço físico são denominados de componentes físicos da ordem simbólica.

⁴² Mudanças significativas de direção são entendidas como variações na direção que impedem a visualização de uma extremidade à outra no trecho entre vias. A determinação da subdivisão de um trecho de via depende, portanto, do ângulo de mudança de direção, da posição do ponto de inflexão no trecho, do comprimento e da largura da via.

5.1.2 As unidades de informação e sua representação

Na representação da ordem simbólica como um grafo é necessário incorporar, conjuntamente aos espaços públicos, as unidades de informação constantes na ordem simbólica assim como as informações relacionais presentes entre estas.

As informações relacionais, aqui designadas de conectividades cognitivas, dizem respeito às informações ambientais que surgem em decorrência das relações ou associações que são estabelecidas entre unidades de informação, pelo fato das mesmas apresentarem compartilhamento ou adjacência espacial no âmbito físico do sistema.

A representação das unidades de informação apresenta duas questões, a primeira é definir os critérios que determinam quais vértices, representantes do espaço público, fazem parte das unidades de informação. A segunda é como representar num grafo e, portanto, a partir de vértices e arestas, uma unidade de informação.

Como o estudo desenvolvido aqui é uma análise de estado, a determinação das unidades de informação presentes numa dada porção de ambiente urbano está baseado na existência de um estudo empírico anterior que detectou e localizou as mesmas. Assim, na representação da ordem simbólica é avaliado, a partir do mapeamento das unidades de informação constantes nos estudos empíricos, a correspondência entre os vértices representantes dos espaços públicos e a localização das unidades de informação. Os critérios seguidos nesta correspondência estão definidos por tipo de unidade de informação:

a) Unidades de área – fazem parte da unidade de informação todos os vértices representantes dos espaços públicos que na sua totalidade, ou na sua quase totalidade (mais de 60%), estejam contidos dentro da região delimitada no estudo empírico de referência;

b) Unidades lineares – são descritas por todos os vértices representantes dos trechos direcionalmente concordantes que fazem parte (integralmente ou mais de 60%) da seqüência linear delimitada. Isto elimina quaisquer trechos transversais de espaço público que interceptam a unidade de informação linear – como é o caso das intersecções de vias perpendiculares em avenidas com canteiro central;

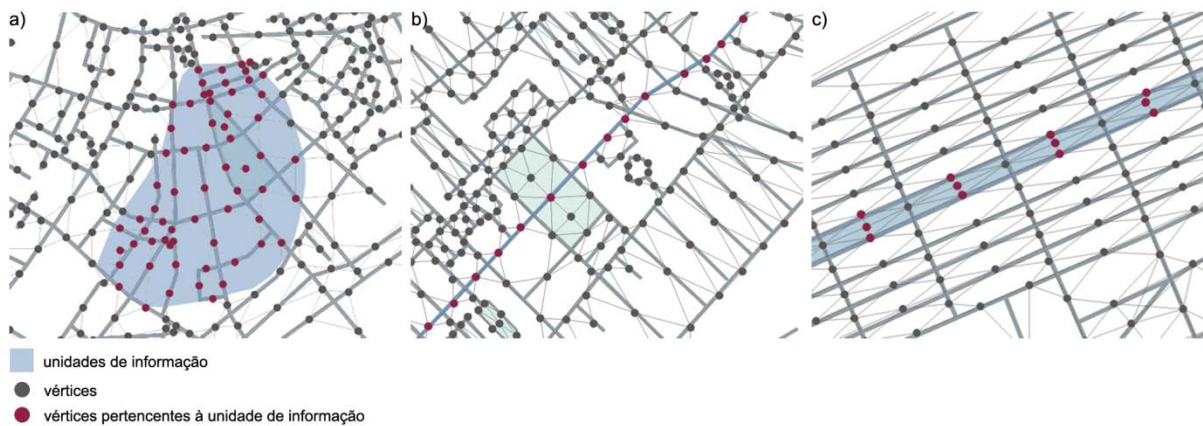


Figura 14 – Exemplo de definição dos vértices que fazem parte de uma: a) unidade de informação do tipo área; b) unidade de informação linear referente a uma rua; c) unidade de informação linear referente a uma avenida com canteiro central.

c) Unidades pontuais – para as unidades pontuais os critérios são específicos para cada tipo de unidade: nós viários, lugares e marcos referenciais arquitetônicos. Quando referentes a nós viários, a unidade de informação é descrita pelos vértices interconectados pelo nó. No caso de lugares, fazem parte da unidade de informação todos os vértices que definem o lugar delimitado. Para os marcos referenciais arquitetônicos é necessário incluir um vértice que represente especificamente a edificação, já que a mesma adquiriu um significado único, não mais passível de representação conjunta com as demais edificações associadas ao mesmo trecho de espaço público⁴³. Conjuntamente com o vértice representando a edificação, fazem parte deste tipo de unidade de informação todos os espaços públicos de onde o mesmo é visível com um nível de detalhe suficiente para ser identificado.

⁴³ A base teórica que explica esta impossibilidade, e a simulação de como uma edificação consegue adquirir uma significação específica, capaz de transformá-la num marco referencial, está exposto em Faria (2002) e Faria e Krafta (2003).

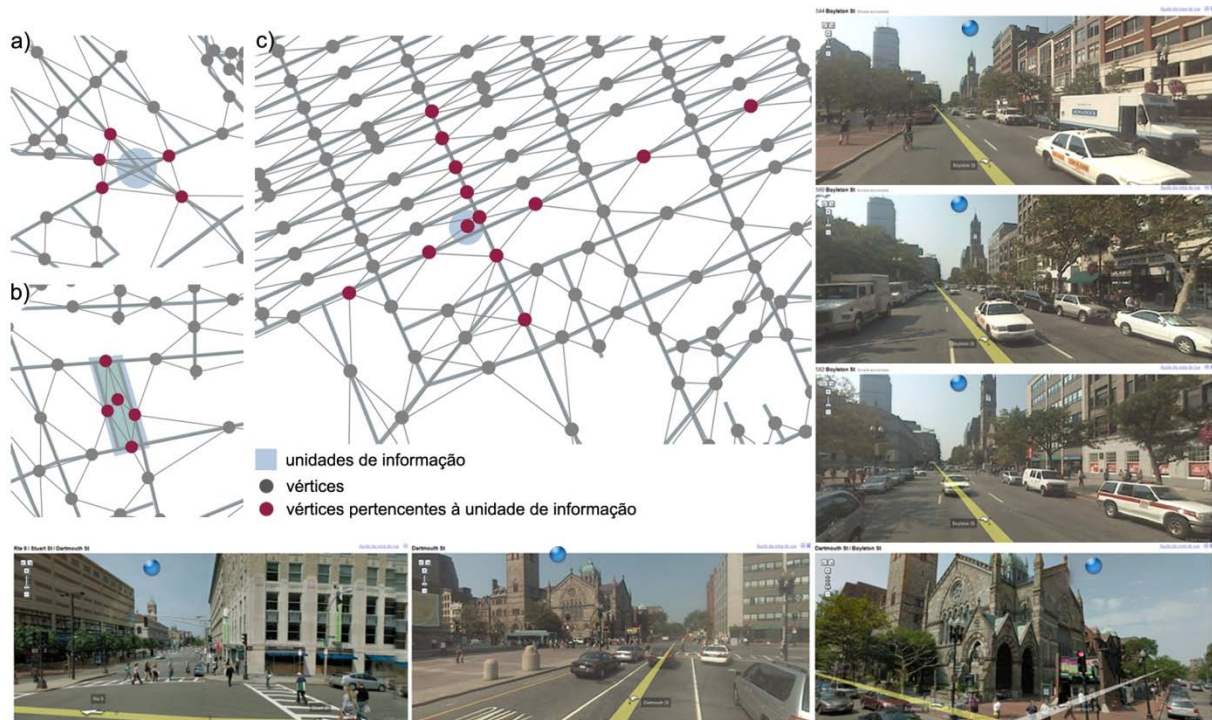


Figura 15 – Exemplo de definição dos vértices que fazem parte de unidades de informação pontuais referentes à: a) nós viários; b) lugares; c) marcos referenciais arquitetônicos. Parte do conjunto de imagens do Google Maps que ajudaram a definir a área de visualização de um marco referencial arquitetônico.

A representação das unidades de informação requer, além da determinação de quais espaços públicos fazem parte dessas unidades, a definição de como simular uma unidade de informação num grafo. A questão que se apresenta é: quais as relações que se estabelecem entre os espaços públicos, e destes com a mente humana, ao ser formada uma unidade de informação? Conforme visto anteriormente (p. 78-99), na área da cognição não existe um consenso sobre os mecanismos de estruturação ou ordenamento dos estímulos em unidades de informação. As diferentes teorias cognitivas permitem interpretações diversas. Com base nessas diferentes possibilidades interpretativas foram elaboradas cinco alternativas ou hipóteses de representação das unidades de informação e da estrutura geral da ordem simbólica para serem testadas:

a) Hipótese de Representação I – usa como princípio o entendimento de que a percepção do ambiente é direta e não mediada por esquemas interpretativos (Gibson, 1986). Os entendimentos e conceitos relativos ao que é percebido são construídos *a posteriori* não sendo, portanto, fundamentais para o estabelecimento da estrutura dada ao conhecimento ambiental. Esta hipótese de representação das

unidades de informação irá assumir que, uma vez detectadas, qualquer fração do espaço urbano pertencente a unidade de informação passa a ser diretamente acessível a partir de qualquer outro espaço também pertencente à unidade. Nenhuma concepção mental, centralizadora, é requerida para a sua representação. Aqui será explorada a possibilidade de representar a ordem simbólica através dos componentes físicos acrescido das novas conectividades originadas pelos processos cognitivos. A estas conexões de origem cognitiva denominamos de “arestas cognitivas”, para distingui-las das arestas físicas entre vértices. Assim, com esta proposição descritiva, seria possível representar a ordem simbólica sem o uso de concepções mentais para mediar a estrutura física da cidade e a ordem percebida - toda a informação já está no ambiente físico. Tudo que seria necessário são arestas cognitivas que conectam os vértices contidos numa dada unidade de informação.

A estrutura de uma unidade de informação, nesta formulação, é um subgrafo em que cada vértice encontra-se conectado com todos os demais que formam a unidade de informação, ou seja, uma clique.

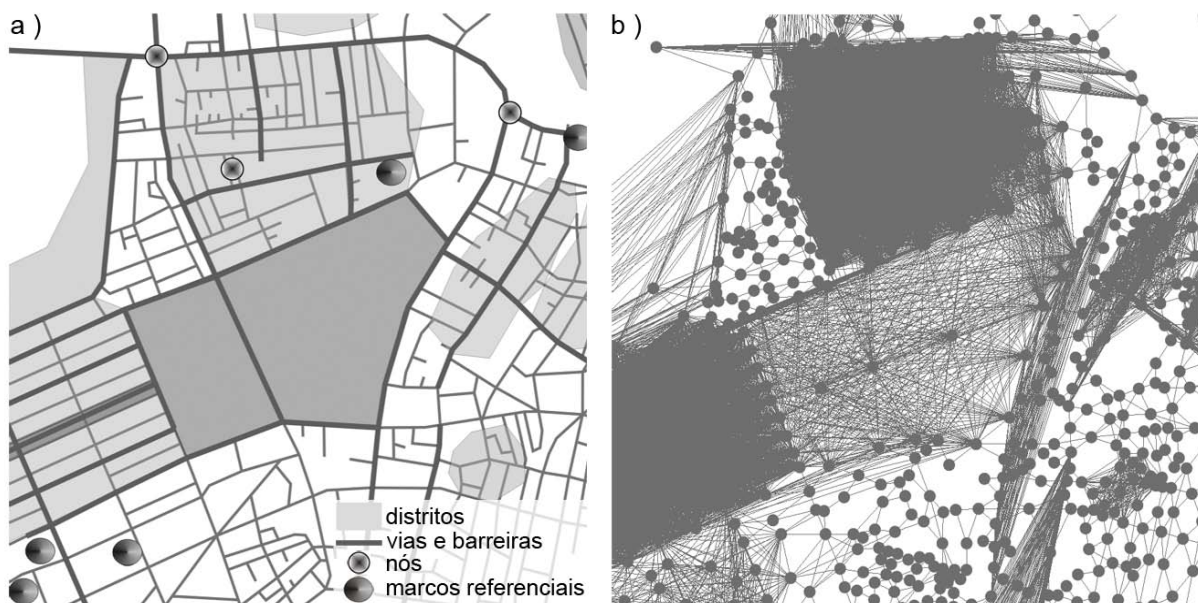


Figura 16 - (a) Mapa do espaço físico e a demarcação das unidades de informação. (b) Representação das unidades de informação e da ordem simbólica na forma de um grafo conforme a hipótese de representação I.

b) Hipótese de Representação II – parte do entendimento de que a percepção do ambiente é indireta, no sentido de que a cognição ambiental só é possível devido à presença de concepções mentais abstratas que organizam as informações ambientais detectadas (Kintsch, 1970; Downs e Stea, 1973; Rapoport, 1977: 31-34; Logie, 1989; Passini, 1992: 111; Peña, 1997, Ramadier e Moser, 1998, entre muitos outros). A estruturação cognitiva é alcançada pela criação de entidades, ou concepções mentais, que possuem correspondência com as porções do ambiente urbano entendidas como formando uma unidade de informação significativa. Nesta alternativa de representação é assumido que as entidades mentalmente construídas passam a fazer parte do próprio sistema urbano. Também é assumido que os espaços componentes de uma unidade de informação não são diretamente acessíveis entre si, mas dependem da entidade mental para mediar esta acessibilidade. Assim, para cada unidade de informação, é criado um vértice que representa a entidade ou concepção mental que organiza os trechos do espaço urbano a ela associada. Este “vértice cognitivo” é conectado através de arestas cognitivas a todos os vértices do espaço físico que fazem parte da unidade de informação. No caso dos marcos referenciais arquitetônicos, a própria edificação já desempenha o papel organizador e, portanto, nenhum vértice novo é acrescentado.

As unidades de informação que compartilham um mesmo vértice de espaço urbano, ou cujos espaços urbanos estão diretamente conectados entre si são entendidas como estando associadas entre si por uma informação relacional e, portanto, encontram-se conectadas por uma aresta representando a conectividade cognitiva.

Os critérios ditados por esta formulação introduzem uma certa modularidade na estrutura do grafo.

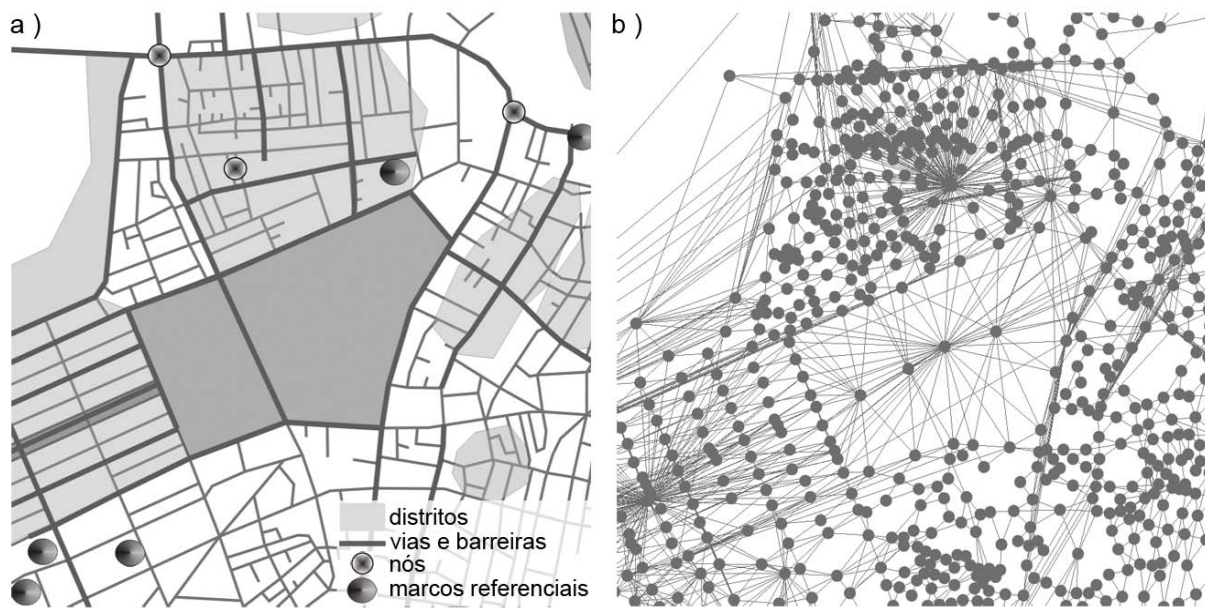


Figura 17 - (a) Mapa do espaço físico e a demarcação das unidades de informação. (b) Representação das unidades de informação e da ordem simbólica na forma de um grafo conforme a hipótese de representação II.

c) Hipótese de Representação III – assume que a percepção do ambiente tem um caráter múltiplo (Neisser, 1994) e hierárquico (Rapoport, 1977: 128; Kaplan e Kaplan, 1982; Purcell, 1986; Souza, 1996; Cohen, 2000). A mesma utiliza informação tanto direta quanto indireta e, portanto, a representação da ordem simbólica também requer a incorporação dos vértices cognitivos referentes às entidades mentais no sistema urbano. As unidades de informação são entendidas como dependentes da percepção indireta e definidas conforme descrito na hipótese II. Mas entende que, além destas entidades, também existiriam pequenas porções do ambiente urbano que devido a sua maior homogeneidade, seriam entendidas como sendo uma “mesma coisa”, isto é, seus trechos componentes seriam de certa forma, inseparáveis uns dos outros e os mesmos seriam apreensíveis por percepção direta. Para estas porções do ambiente urbano a acessibilidade cognitiva entre os trechos de espaço físico seria, portanto, direta. Deste modo, esta possibilidade de representação apresenta informações ambientais de dois níveis hierárquicos distintos onde, além das unidades de informação, são também representadas algumas das subestruturas presentes nas mesmas.

Nesta representação são utilizados os vértices cognitivos e suas arestas cognitivas para representar as entidades mentais e suas relações com o espaço físico e as cliques para representar os trechos de máxima homogeneidade nelas contidas. A

inclusão das informações referentes às conectividades cognitivas seguem o mesmo critério empregado na hipótese II.

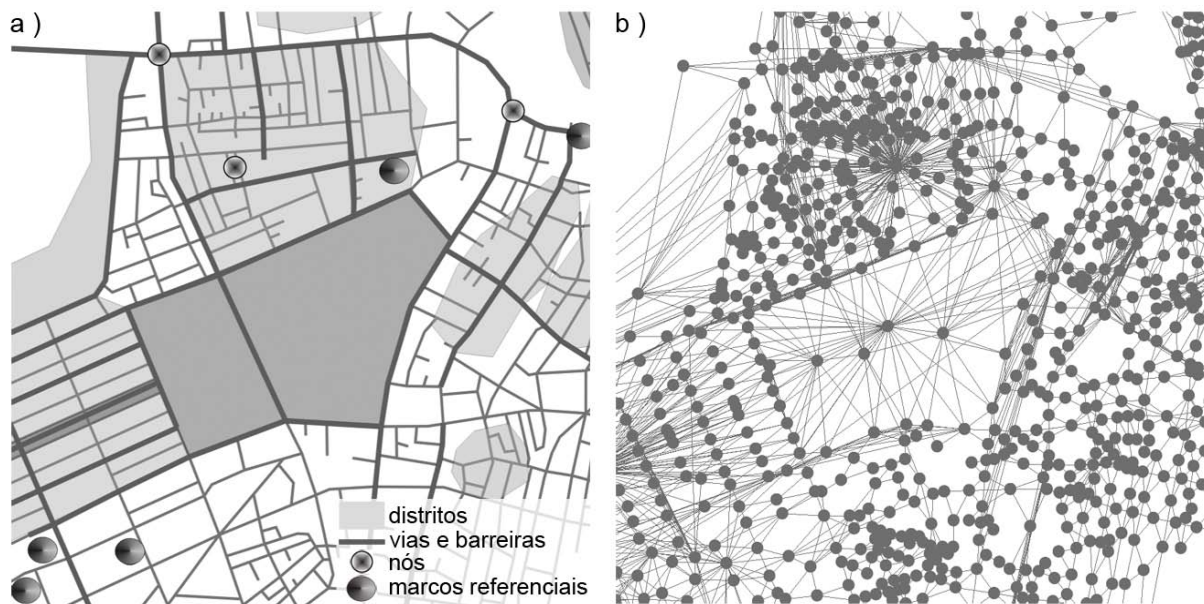


Figura 18 - (a) Mapa do espaço físico e a demarcação das unidades de informação. (b) Representação das unidades de informação e da ordem simbólica na forma de um grafo conforme a hipótese de representação III.

e) Hipótese de Representação IV – parte do princípio que a percepção do ambiente é indireta e a ordem simbólica é formada pela incorporação de entidades mentais no sistema urbano. No entanto, esta hipótese de representação assume que os diferentes processos envolvidos em sua formação leva a que as mesmas possuam estruturas distintas. As unidades de informação que correspondem a espaços transperceptuais (Downs e Stea, 1977), formadas por processos de agregação e, portanto, dependentes da construção temporal, acabam por apresentar uma estrutura interna mais abstrata, mais conceitual (Harrison e Howard, 1972; Rapoport, 1977: 215). Nestas, a entidade cognitiva passaria a “condensar” numa única entidade (ou totalidade) as porções do ambiente por ela representadas, passando a entidade a “substituir” a própria estrutura urbana. Encaixam-se nesta categoria as unidades de informação tipo área e lineares. Já as unidades de informação que permitem a apreensão de um único ponto mantêm-se compostas pela entidade mental e os espaços físicos a ela relacionados. Cada um dos espaço físicos componentes retém sua relação direta com a entidade mental mas não é substituído por esta pois a mesma não os suplanta pela relação criada. As relações existentes

unidades pontuais correspondentes a marcos referenciais arquitetônicos seguem os critérios da hipótese II, já que as relações entre os vértices de onde um marco é visível só fazem sentido mediante a intervenção do próprio marco.

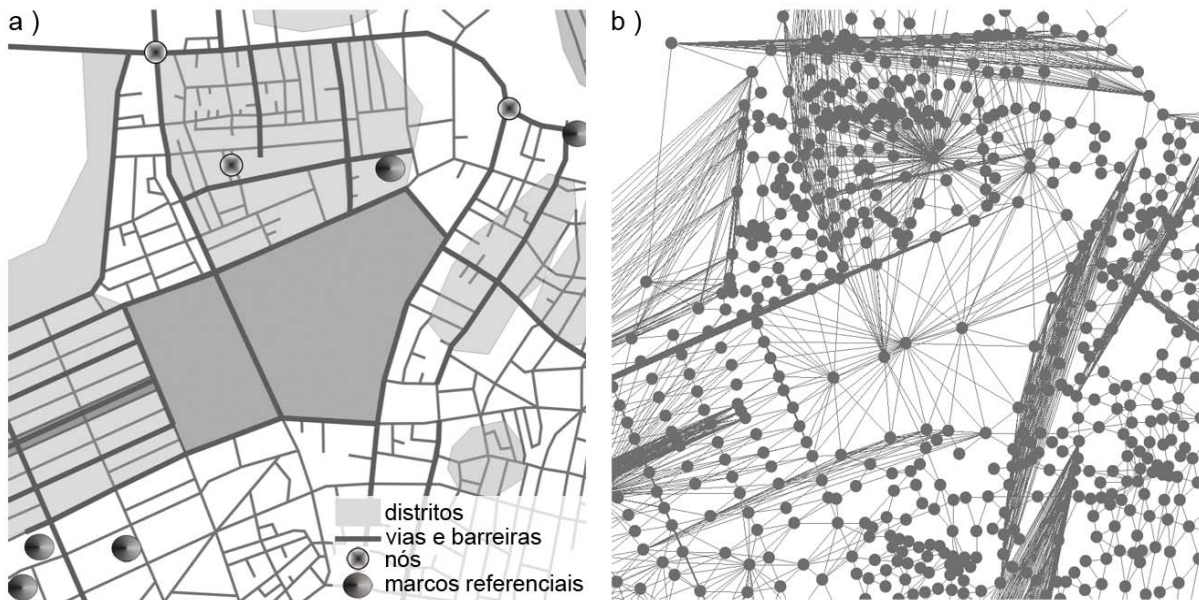


Figura 20 – (a) Mapa do espaço físico e a demarcação das unidades de informação. (b) Representação das unidades de informação e da ordem simbólica na forma de um grafo conforme a hipótese de representação V.

Cada hipótese de representação levantada gera uma rede com estrutura distinta. Para verificar se alguma das proposições de representação acima descritas pode ser considerada válida, uma opção possível, é realizar uma análise comparativa entre as características estruturais da rede representando o sistema urbano e as características apresentadas pelas redes das diferentes representações da ordem simbólica. A formulação que conseguir transformar as características da rede urbana, de forma a gerar a melhor simulação das características descritas como decorrentes da cognição ambiental, pode ser considerada uma conjetura válida para simular a ordem simbólica.

5.2 A análise das hipóteses de representação da ordem simbólica

Para realizar o teste de representação das unidades de informação foi selecionada a área de Boston estudada por Lynch (1960). A mesma foi desenhada com base na imagem de satélite de 2006 acessada pelo Google Earth durante o ano

de 2007⁴⁴. As vias expressas foram representadas de forma simplificada e dentro dos mesmos critérios para todas as redes analisadas. A escolha recaiu sobre esta área devido à mesma apresentar o que Lynch chama de uma boa imagem pública, isto é, a área apresentaria uma ordem simbólica eficiente e com um comportamento adequado. A área conta, ainda, com a análise mais detalhada no trabalho do referido autor.

Na definição das áreas de visibilidade dos marcos referenciais arquitetônicos foram utilizados os recursos disponíveis nos bancos de dados do Google Earth e Google Maps (<http://maps.google.com/maps?ll=42.354679,-71.059282&z=16&t=h&hl=pt>), principalmente os passeios virtuais no ambiente 3D do primeiro e nas seqüências de vídeo por rua do segundo.

Para a representação da hipótese III foi utilizada a descrição geral constante no trabalho de Lynch (1960: 16-25) e a descrição mais detalhada das zonas de Beacon Hill e Scollay Square (*ibid.*: 160-181). No restante da área foram utilizados como recursos para detectar as homogeneidades locais uma análise dos padrões de distribuição dos usos, de desmembramento dos lotes, da volumetria das edificações e aspectos visuais da paisagem urbana conforme observado nos dados do Google Earth e Google Maps. Especial cuidado foi tomado com respeito às renovações arquitetônicas da área, de forma a que as mesmas não interferissem no julgamento das homogeneidades do ambiente.

5.2.1 Os critérios de validação das hipóteses de representação

O conjunto de medidas que descreve a forma topológica de um grafo delinea muita das características estruturais que o sistema representado apresenta. A forma topológica também está intimamente ligada com a habilidade de difusão e padrão de acessibilidade apresentado pela rede e, portanto, com as características relacionais que se estabelecem no sistema. Como as conseqüências da cognição ambiental incidem principalmente sobre o padrão de acessibilidade cognitiva que temos dos espaços urbanos através das representações mentais, podemos supor que a análise

⁴⁴ O conjunto de testes para a avaliação das hipóteses de representação da ordem simbólica foi realizado sobre a rede urbana conforme constante da imagem de satélite de 2006. Existem algumas regiões dentro da área que sofreram mudanças estruturais desde o período de levantamento do Lynch. Porém, como o mapa usado como base é o mesmo para todos os testes realizados, estas alterações interferem aproximadamente do mesmo modo em todas as hipóteses, não alterando os resultados obtidos.

da forma topológica do grafo, e a comparação de suas qualidades estruturais com as qualidades esperadas para um sistema urbano cognitivamente estruturado, podem auxiliar na definição de qual a hipótese de representação mais adequada para a ordem simbólica.

Com base nos entendimentos da área da cognição ambiental pode-se dizer que alguns dos propósitos gerais da estruturação cognitiva, traduzidos para uma linguagem de redes, são:

1. Tornar mais fácil a navegação urbana – para tanto a acessibilidade entre localizações distantes terá que ser facilitada e, por conseguinte, algum tipo de conectividade de longo alcance deve emergir;
2. Saber se localizar – entre outras coisas, o conhecimento de onde estamos implica em manter os espaços urbanos localmente conectados, isto é, facilmente acessíveis, o que significa que o nível de transitividade da rede deve se manter relativamente estável;
3. Reduzir a carga de informação ambiental – isto implica em que algum tipo de hierarquia deve ser imposto aos espaços urbanos de forma que aqueles de menor importância possam ser cognitivamente desconsiderados. Isto equivale a dizer que alguns espaços (e seu conteúdo informativo) se tornarão mais facilmente acessíveis enquanto outros se tornarão mais imperceptíveis ou inacessíveis dentro do sistema. Assim, o nível de heterogeneidade ou de diferenciação entre elementos deve aumentar.

O atendimento a estas condições significa que a forma topológica de um grafo representando a ordem simbólica, em comparação com a do espaço físico urbano, deve apresentar as seguintes características:

- a) um incremento nas desigualdades entre vértices;
- b) uma redução na distância média entre vértices;
- c) um aumento significativo na acessibilidade global do grafo, ou seja, deve haver uma diminuição no seu diâmetro;
- d) a manutenção do nível de transitividade.

Em outras palavras, o sistema urbano deverá adquirir propriedades do tipo *small-worlds* e ampliar as diferenciações entre seus vértices.

5.2.2 Descrição topológica da rede urbana e das hipóteses de representação

A análise das cinco hipóteses de representação e da estrutura física do ambiente urbano foi feita por um conjunto inter-relacionado de medidas que descrevem a forma topológica de um grafo: Grau do Vértice, Coeficiente de Agrupamento, Distância Média, Modo da Distância, Excentricidade, Caminho Mínimo Característico, Diâmetro e Raio da rede. As mesmas dão uma visão geral das características locais e globais da estrutura da rede.

5.2.2.1 Grau do Vértice e seu padrão distributivo

Conforme esperado para uma representação por unidades morfológicas mínimas, o Grau do Vértice (k) no espaço físico apresenta um intervalo de valores relativamente estreito, variando de 1 a 18. O valor mais freqüente é 5 e a média 4,55, portanto, a rede possui uma escala característica. Estes valores caracterizam um grafo relativamente denso e altamente conectado com um vértice típico de Grau 5.

GRAU DO VÉRTICE						
	Espaço físico	Representação da ordem simbólica				
		Hipótese I	Hipótese II	Hipótese III	Hipótese IV	Hipótese V
Intervalo	1 a 18	1 a 257	1 a 248	1 a 248	1 a 80	1 a 245
Média	4,55	65,37	6,1	6,25	4,9	8,88
Modo	5	5	5	5	4	5

Tabela 01 – Comparativo dos valores do Grau do Vértice entre o espaço físico e as hipóteses de representação da ordem simbólica.

As cinco hipóteses de representação da ordem simbólica ampliam significativamente o intervalo de abrangência do Grau do Vértice. Em todas as hipóteses, exceto para a IV, a escala característica da rede desaparece. Conforme esperado para a representação da ordem simbólica, todas as formulações de representação introduzem uma nova hierarquia na distribuição de k , ampliando as diferenciações entre vértices. A forma que esta hierarquização assume em cada proposição descritiva pode ser mais bem compreendida pela análise do padrão distributivo de k apresentado a seguir.

A análise do padrão distributivo foi feita através da avaliação preliminar dos histogramas de freqüências e, conforme o caso, a posterior análise da sua distribuição de probabilidades acumuladas. O uso da distribuição das probabilidades

acumuladas reduz as pequenas flutuações presentes nos dados, o que melhora os resultados das técnicas de análise em redes para sistemas de dimensões reduzidas. Por outro lado, os dados adjacentes não são estatisticamente independentes, o que torna a definição da linha de ajuste mais difícil (Newman, 2003)⁴⁵.

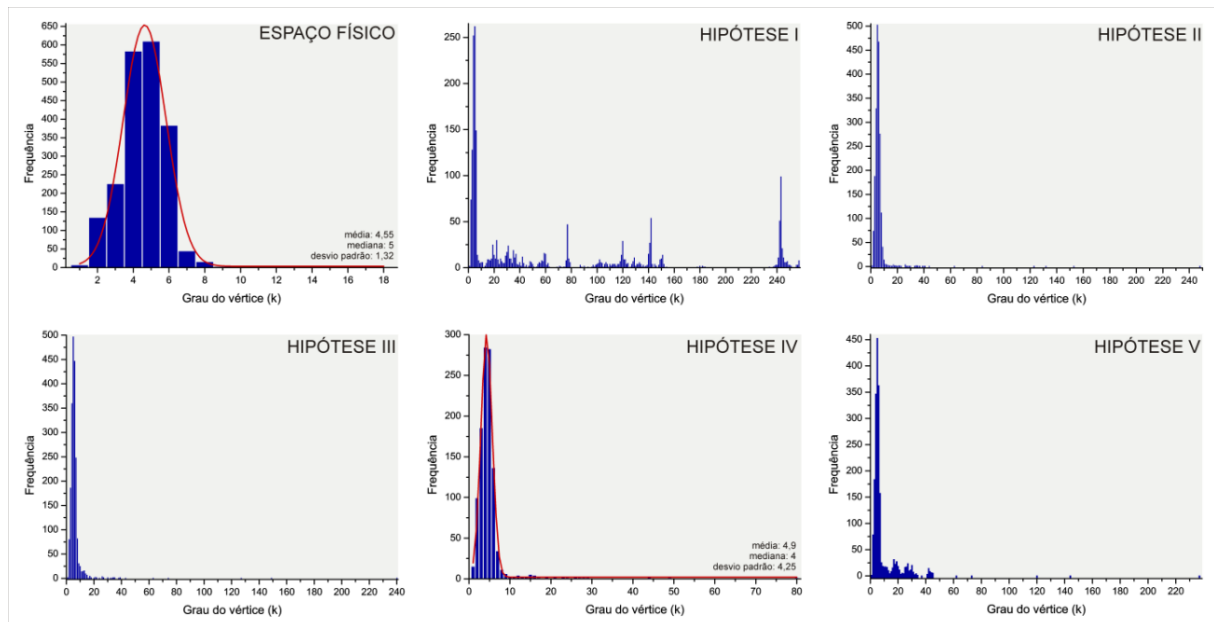


Figura 21 – Histogramas de freqüências do Grau do Vértice para o espaço físico e hipóteses de representação da ordem simbólica. O espaço físico e a hipótese IV apresentam as linhas de ajuste para uma distribuição Gaussiana e os respectivos valores de média, mediana e desvio padrão.

Pelo histograma de freqüências é possível verificar que o espaço físico apresenta uma distribuição aproximadamente Gaussiana com média 4,55 e desvio padrão 1,32. Este tipo de distribuição indica uma rede bastante uniforme com forte concentração de valores junto à média. A linha de ajuste apresenta um $R^2_{ajustado}=0,974$ e a probabilidade $>F=1,589e^{-7}$ para a Anova, indicando um excelente encaixe⁴⁶. Este padrão de distribuição está associado à natureza geográfica da rede e os conseqüentes constrangimentos físicos que limitam o número de conexões possíveis para cada entidade de espaço físico (Crucitti *et al.* 2005). O decaimento mais longo à direita é provocado principalmente pela inclusão dos espaços abertos não destinados exclusivamente à circulação na representação.

⁴⁵ Por questões de limitações temporais na realização do trabalho o método empregado no estudo exploratório de definição do modo de representação da ordem simbólica é um método simplificado, condizente com um estudo onde a precisão é menos importante que a definição do comportamento geral. Nos estudos efetivos da estrutura configuracional da ordem simbólica, apresentados no capítulo 7, são empregados métodos mais sofisticados de análise.

⁴⁶ Os histogramas de freqüência foram gerados e analisados para as linhas de ajuste no *software* OriginPro 8.

Os mesmos, por sua configuração espacial diferenciada, apresentam menores constrangimentos geográficos no número de conexões possíveis.

Para as hipóteses de representação da ordem simbólica são observados três tipos de comportamento nos histogramas de frequência. A hipótese I apresenta vários picos distribuídos ao longo de todo o intervalo de valores, caracterizando uma distribuição multimodal. A hipótese IV é condizente com uma distribuição Gaussiana com uma assimetria positiva acentuada. A linha de ajuste tem um $R^2_{ajustado}=0,992$ e a probabilidade $>F=0$ para a Anova. Já, as demais hipóteses, possuem um único pico próximo aos valores mais baixos e uma cauda de decaimento para os valores mais altos com duas ordens de magnitude. O comportamento desta cauda pode ser mais bem visualizado nos gráficos log-log da distribuição das probabilidades acumuladas.

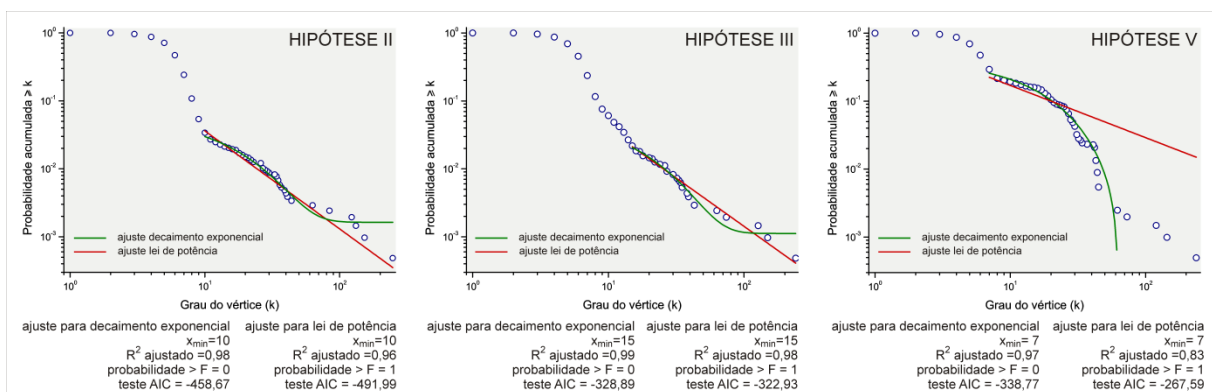


Figura 22 – Gráficos log-log da probabilidade acumulada para as hipóteses II, III e IV de representação da ordem simbólica com as respectivas linhas de ajuste e valores do $R^2_{ajustado}$, da probabilidade $>F$ para a Anova e do teste AIC.

A análise do comportamento da cauda das hipóteses II, III e V foi realizada sobre a distribuição das probabilidades acumuladas e feito de forma simplificada, já que o número de pontos na cauda é insuficiente para determinar adequadamente o padrão distributivo⁴⁷. Além disso, o objetivo aqui é compreender a tendência geral do comportamento da rede, não sendo requerido para isso uma definição precisa do padrão distributivo. A análise realizada foi restrita a uma avaliação de qual a melhor linha de ajuste para os dados: se um decaimento exponencial ou uma lei de potência. A estimativa do k_{min} (valor mínimo do Grau do Vértice) para a linha de

⁴⁷ Para uma definição mais exata do padrão distributivo seria necessário que a cauda tivesse ao menos 100 pontos e seguir os procedimentos descritos em Clauset *at al.* (2009).

ajuste foi definida com base no máximo ajuste possível para a mesma. Nas três hipóteses analisadas, a melhor linha de ajuste é um decaimento exponencial, embora para as hipóteses II e III tanto o R^2 ajustado quanto a pouca diferença entre os modelos de ajuste no teste AIC (Akaike's Information Criterion) indicam que a linha de ajuste seguindo uma lei de potência não está totalmente descartada. Os valores de k_{min} , do R^2 ajustado, da probabilidade $>F$ para a Anova e do teste AIC específicos de cada proposição encontram-se na figura 22.

O padrão distributivo do Grau do Vértice indica que as hipóteses II, III e V podem ser consideradas similares em termos do comportamento da rede associado à distribuição de k . Redes como estas tendem a apresentar uma maior estabilidade geral, a possuir alto grau de hierarquização interna e podem possuir a propriedade *small-worlds*. Todos estes comportamentos são condizentes com o que se espera encontrar na ordem simbólica.

Os padrões distributivos apresentados por todas as hipóteses também sinalizam que deve existir algum tipo de constrangimento no sistema, limitando o número de conexões por vértice. Muito provavelmente estes constrangimentos são de ordem cognitiva, já que unidades de informação excessivamente abrangentes tenderiam a ser menos informativas e, portanto, menos úteis na interação com o meio⁴⁸.

5.2.2.2 Coeficiente de Agrupamento

O Coeficiente de Agrupamento (γ) para o espaço físico, assim como para as hipóteses de representação da ordem simbólica II, III, IV e V, apresenta valores duas ordens de magnitude maiores que os de uma rede aleatória com o mesmo número de vértices e Grau do Vértice médio. Para a hipótese I esta diferença é menor: uma ordem de magnitude. Isto indica que, mesmo com a vizinhança de um passo topológico (ciclos de comprimento 3)⁴⁹, a medida foi capaz de detectar a forte estruturação local das redes.

⁴⁸ Alguns estudos da área cognitiva sugerem que o nível de generalidade e, conseqüentemente, o tamanho das unidades de informação utilizadas nas interações com o ambiente está associado à escala do contexto em que são empregadas. Haveria uma relação entre a abrangência das unidades de informação e as dimensões do ambiente usado como contexto.

⁴⁹ A questão do uso de vizinhanças com diferentes abrangências no computo do Coeficiente de Agrupamento em redes urbanas foi apresentado na revisão teórica na p. 68-69.

COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO										
		Espaço físico	Ordem simbólica					Grafos regulares de referência		
			Hipótese I	Hipótese II	Hipótese III	Hipótese IV	Hipótese V	$k = 4$	$k = 5$	$k = 6$
Vizinhança	um passo	0,4258	0,6991	0,5075	0,5111	0,4534	0,5534	0	0,5	0,4
	dois passos	0,2597	0,4315	0,1643	0,1674	0,2082	0,2036	0,182	0,444	0,24
	um passo	0,0022	0,0303	0,0028	0,003	0,0044	0,0043			
		Redes aleatórias ($\langle \gamma \rangle_{rand} = \langle k \rangle / N$)								

Tabela 02 – Comparativo dos valores do Coeficiente de Agrupamento entre o espaço físico e as hipóteses de representação da ordem simbólica. Como valores de referência a medida foi computada para grafos k -regulares de diversos Graus e para redes aleatórias de mesma ordem.

Pela comparação com os valores dos grafos k -regulares é possível verificar que o padrão apresentado pelo espaço físico e pela hipótese IV é bastante próximo ao de uma rede regular do tipo grelha ($k = 6$), independentemente da vizinhança utilizada. Para as hipóteses II, III e V os valores para a vizinhança de um passo são mais próximos de redes regulares com $k = 5$ e mas mais próximas de $k = 4$ para vizinhanças de dois passos (ciclos de comprimento 4). A hipótese I só se assemelha a rede regular $k = 5$ com vizinhança de dois passos. Estas variações na similaridade com os grafos regulares de referência (conforme a vizinhança utilizada) indicam que as hipóteses I, II, III e V possuem uma estrutura com diversos níveis de organização e, muito provavelmente, uma significativa modularidade interna. Diferentemente, a hipótese IV apresenta uma estrutura muito mais uniforme, similarmente ao apresentado pelo espaço físico.

Na comparação do espaço físico com as diferentes hipóteses de representação da ordem simbólica é possível observar que, considerando a vizinhança de um passo, todas as alternativas de representação da ordem simbólica levam ao aumento da transitividade. Na hipótese I e, em menor medida para hipótese V, estes incrementos são mais significativos. Já nas hipóteses II, III e principalmente na hipótese IV, os aumentos no Coeficiente de Agrupamento são mais discretos e parecem estar relacionados sobretudo com o efeito de aglutinação local gerado pelas unidades de informação pontuais. Para a medida com vizinhança de dois passos topológicos as hipóteses II, III e, em menor medida, as hipóteses IV e V apresentam uma redução nos valores do Coeficiente, mas para a hipótese I o Coeficiente continua apresentando um aumento ao ser comparado com o grafo do espaço físico.

Avaliando o significado do Coeficiente de Agrupamento à luz das teorias cognitivas, supõe-se que, em termos de valor global da rede, o mesmo apresente valores semelhantes para o espaço físico e ordem simbólica. Um leve decréscimo seria até esperado, já que a cognição ambiental favorece o surgimento de conectividades que tendem a relacionar localidades dentro da rede que não estão de outra forma conectadas entre si. Além disso, a finalidade maior da cognição ambiental não é sobrecarregar com mais informações locais, além do necessário. Incrementos significativos, como os que aparecem na hipótese I, não parecem coerentes com o comportamento esperado para a ordem simbólica.

Quanto ao comportamento individual dos vértices, espera-se que a estruturação cognitiva introduza um aumento na heterogeneidade da distribuição dos valores do Coeficiente de Agrupamento. A suposição está baseada no fato de que, na ordem simbólica, alguns vértices desempenham papel fundamental na estruturação local da rede, enquanto outros desempenham funções de estruturação global. Para verificar o nível de heterogeneidade na distribuição dos valores foi usado o Coeficiente de Gini. O mesmo assume valores entre 0 e 1, onde 0 corresponde à total igualdade entre vértices e 1 à máxima desigualdade na distribuição.

COEFICIENTE DE AGRUPAMENTO						
	Espaço físico	Representação da ordem simbólica				
		Hipótese I	Hipótese II	Hipótese III	Hipótese IV	Hipótese V
Coeficiente de Gini (um passo)	0,1758	0,2197	0,1935	0,1941	0,2490	0,2049
Coeficiente de Gini (dois passos)	0,1680	0,2372	0,4147	0,3857	0,3242	0,3965

Tabela 03 – Comparativo dos valores do Coeficiente de Gini calculados para a distribuição do Coeficiente de Agrupamento com vizinhanças de um e dois passos topológicos para o espaço físico e as diferentes hipóteses de representação da ordem simbólica.

Conforme pode ser observado na tabela acima, todas as hipóteses de representação da ordem simbólica foram capazes de aumentar a heterogeneidade entre vértices, embora os incrementos sejam bastante discretos, principalmente com a vizinhança de um passo. Com a vizinhança de dois passos o espaço físico apresenta-se mais homogêneo, enquanto as desigualdades na distribuição dos valores apresentam-se mais acentuadas para a ordem simbólica.

Baseando nas análises feitas, as hipóteses de representação da ordem simbólica obtiverem desempenhos diferentes para o Coeficiente de Agrupamento.

Os melhores resultados são os obtidos pela hipótese IV considerando-se a vizinhança de um passo e pela hipótese II para a vizinhança de dois passos. Ambos conseguem, mesmo com o aumento do número de conexões dentro do sistema, manter o Coeficiente de Agrupamento relativamente próximo ao apresentado pelo espaço físico e ampliam de forma mais significativa o nível de heterogeneidade na distribuição do mesmo. No entanto, a hipótese IV não denuncia a provável presença de diversos níveis hierárquicos na organização da ordem simbólica, conforme seria esperado.

Considerando-se também a questão da medida ter um provável desempenho melhor com vizinhança de dois passos (Jiang e Claramunt, 2004), a hipótese II de representação da ordem simbólica pode ser avaliada como a melhor alternativa. As hipóteses III e V estão dentro de um padrão de comportamento similar às duas anteriores, mas com menor ênfase nas características esperadas. Já a hipótese I apresenta inconsistências, principalmente pelo aumento do valor do Coeficiente para a rede e a pouca capacidade de gerar heterogeneidade no sistema.

5.2.2.3 Distância entre vértices e dimensões do grafo

Para as medidas de distância e dimensões do grafo o que interessa é verificar se as hipóteses de representação conseguem reduzir as distâncias dentro do grafo⁵⁰. A redução das dimensões e distâncias dentro do grafo da ordem simbólica é condizente com as teorias da cognição ambiental, onde as representações mentais são tidas como importantes para a navegação urbana e capazes de reduzir as informações ambientais necessárias para relacionar espaços físicos relativamente distantes geograficamente.

Todas as medidas de distância são afetadas pelo tamanho da rede, por isso, para poder comparar os valores entre redes de ordens distintas, é feito a normalização das medidas tendo por critério o valor máximo que a medida pode assumir num grafo conexo de mesma ordem. Portanto, os valores absolutos das medidas são divididos por $N - 1$, onde N é o número de vértices do grafo.

⁵⁰ A capacidade de reduzir o sistema representado é uma das características das representações mentais. Este fato pode ser demonstrado em parte pelas diferenças de sensação de distância entre um indivíduo que conhece o ambiente urbano e, portanto, possui uma representação mental elaborada, e um indivíduo visitante que ainda não elaborou a sua representação mental daquele ambiente. O indivíduo que possui a representação mental tende a achar tudo mais próximo do que aquele que não possui.

Avaliando o comportamento das medidas de distância expressas por vértice (Distância Média, Modo da Distância e Excentricidade) é possível verificar que todas as hipóteses de representação da ordem simbólica reduzem significativamente os valores presentes na estrutura física. As hipóteses I, II, III e V são praticamente equivalentes, contudo a hipótese que mais reduz as medidas é a hipótese II, enquanto o pior desempenho é obtido pela hipótese IV.

		MEDIDAS DE DISTÂNCIA POR VÉRTICE					
		Espaço físico	Ordem simbólica				
			Hipótese I	Hipótese II	Hipótese III	Hipótese IV	Hipótese V
Distância média	Intervalo valores normalizados	0,0063 – 0,0143	0,0022 – 0,0058	0,0021 – 0,0058	0,0023 – 0,006	0,0038 – 0,0104	0,0027 – 0,0063
	Intervalo valores absolutos	12,66 – 28,69	4,37 – 11,58	4,37 – 11,96	4,42 – 12,0	4,13 – 11,38	5,29 – 12,71
	Média	18,808	6,6713	6,95278	7,48166	6,57767	8,2196
	Desvio padrão	3,07287	1,16344	1,1757	1,26448	1,10324	1,31836
Modo da distância	Intervalo valores normalizados	0,004 – 0,015	0,0015 – 0,0065	0,0015 – 0,0063	0,0015 – 0,0068	0,0037 – 0,0119	0,0015 – 0,0074
	Intervalo valores absolutos	8 - 30	3 - 13	3 - 13	3 - 13	4 - 13	4 - 14
	Média	18,3693	7,2887	6,99903	7,65792	7,1456	8,87234
	Desvio padrão	4,08791	1,66325	1,59412	2,04723	1,45001	1,95431
Excentricidade	Intervalo valores normalizados	0,0135 - 0,0255	0,005 - 0,009	0,0044 - 0,0087	0,0049 - 0,0092	0,0082 - 0,016	0,0054 - 0,0099
	Intervalo valores absolutos	27 - 51	10 - 18	9 - 18	9 - 18	9 - 16	11 - 20
	Média	37,295	13,56163	13,14881	13,895047	12,22253	15,43295
	Desvio padrão	5,79812	1,44575	1,51765	1,7018	1,53628	1,83262

Tabela 04 – Intervalo de valores absolutos e normalizados para a Distância Média, Modo da Distância e Excentricidade dos vértices para o espaço físico e as hipóteses de representação da ordem simbólica. A média e o desvio padrão são referentes aos valores absolutos.

Todas as medidas de distância por vértice apresentam uma distribuição aproximadamente Gaussiana tanto para o espaço físico, quanto para as hipóteses de representação da ordem simbólica. O que pode ser verificado pela média e desvio padrão das distribuições (tabela 04) é que na ordem simbólica a distribuição está muito mais concentrada junto à média, indicando que não só as distâncias foram reduzidas, mas que esta redução melhora o desempenho de uma quantidade maior de vértices no sistema. Esta alta concentração junto à média está associada a redes que possivelmente possuem a propriedade *small worlds* (Vázquez *et al.* 2002).

MEDIDAS DE DISTÂNCIA E DIMENSÕES DO GRAFO						
	Espaço físico	Ordem simbólica				
		Hipótese I	Hipótese II	Hipótese III	Hipótese IV	Hipótese V
Caminho Mínimo Característico (L)	18,81	6,67	6,95	6,95	6,58	7,86
L normalizado (L/N)	0,00939	0,00331	0,00337	0,00337	0,00602	0,00388
Diâmetro (D)	51	18	18	18	16	20
D normalizado (D/N)	0,0255	0,0089	0,0087	0,0087	0,0146	0,0098
Raio (R)	27	10	9	9	9	11
R normalizado (R/N)	0,0134	0,0049	0,0043	0,0043	0,0082	0,0054
Modo da distância	18	7	7	7	7	7
Ordem do grafo	2002	2014	2063	2063	1092	2026
Tamanho do grafo	4554	65735	6303	6478	2679	8745
L rede aleatória ($L \sim \ln N$)	3,30	3,30	3,31	3,31	3,03	3,30
L rede bidimensional ($L_2 \sim N^{1/2}$)	44,74	44,87	45,42	45,42	33,04	45,01
L rede tridimensional ($L_3 \sim N^{1/3}$)	12,60	12,62	12,73	12,73	10,29	12,65

Tabela 05 – Comparativo das medidas globais da distância e dimensões dos grafos para o espaço físico e as hipóteses de representação da ordem simbólica. Como valores de referência, a ordem e o tamanho das redes e os valores do Caminho Mínimo Característico para redes aleatórias e para redes regulares em grelha de duas e três dimensões.

A análise das medidas globais de distância e dimensões do grafo (Caminho Mínimo Característico, Diâmetro, Raio e Modo da Distância) indica que as diversas hipóteses de representação da ordem simbólica são capazes de reduzir as dimensões do sistema urbano. Também pode ser observado que, embora as hipóteses utilizem critérios distintos na construção das unidades de informação, a redução no valor das medidas, se comparadas com o espaço físico, é muito similar. Todas reduzem em mais de 55% os valores apresentados pelo espaço físico. Levando em consideração apenas este critério poderia se supor que as diferentes hipóteses são aproximadamente equivalentes. No entanto, estes valores estão associados a grafos de tamanhos bastante distintos. Isto significa que a quantidade de relações cognitivas empregadas para se conseguir a redução nas distâncias entre os elementos da rede varia entre hipóteses. Tendo em vista que a cognição ambiental tem por princípio não sobrecarregar a compreensão da realidade com informações desnecessárias, as hipóteses que conseguem “encolher” o sistema com menor acréscimo de conexões estariam mais em acordo com o esperado para uma representação da ordem simbólica. Tão pouco as reduções são tão similares assim se levarmos em consideração a ordem do grafo, conforme pode ser observado pelos valores das medidas normalizadas pelo número de vértices da rede. Baseado nestes critérios, podemos dizer que a hipótese I não apresenta um resultado satisfatório devido ao acréscimo no número de conexões e a hipótese IV possui uma capacidade menor de comprimir o sistema.

O comparativo entre as redes analisadas e as redes aleatórias e regulares para a medida Caminho Mínimo Característico indica que a estrutura da rede urbana é significativamente alterada pela ordem simbólica. Enquanto o espaço físico urbano se comporta aproximadamente como uma rede tridimensional regular, as representações da ordem simbólica se aproximam dos valores de uma rede aleatória de mesma ordem. Esta característica, conjuntamente com os valores altos do Coeficiente de Agrupamento, são um indício de que a ordem simbólica apresenta a propriedade *small-worlds* e, muito provavelmente, possui as características associadas à mesma.

5.2.3 Resumo da análise comparativa entre hipóteses

A análise da forma topológica das hipóteses de representação da ordem simbólica e sua comparação com o espaço físico nos levam a observar que:

a) Quanto ao Grau do Vértice as hipóteses II e III apresentam desempenhos muito similares e podem ser consideradas as que melhor atendem às características esperadas para um grafo que descreve a ordem simbólica. Ambas apresentam a maior heterogeneidade na distribuição de k e um padrão distributivo que fica entre um decaimento exponencial e uma lei de potência. Estas características são condizentes com redes que apresentam a propriedade *small worlds*, possuem forte hierarquização interna e alta estabilidade frente a alterações aleatórias internas. Todas são características esperadas para a ordem simbólica. A hipótese V apresenta características comparáveis, embora menos acentuadas, enquanto a hipótese IV possui o nível mais baixo de diferenciação entre vértices, possivelmente comprometendo a organização hierárquica do sistema. Já o comportamento da hipótese I indica forte modularidade interna. Embora a modularidade seja esperada na ordem simbólica, a excessiva homogeneização dentro de cada módulo contradiz as possibilidades de organização das informações ambientais em diversas escalas de resolução, conforme defendido por algumas teorias cognitivas.

b) O Coeficiente de Agrupamento parece indicar que a hipótese I apresenta problemas enquanto representação da ordem simbólica. O incremento mais significativo no valor da medida contraria os entendimentos da cognição ambiental onde é colocado que as representações mentais do ambiente urbano servem principalmente para ordenar as informações numa macroestrutura que permite

reduzir detalhes de micro escala. Se considerarmos a vizinhança de dois passos como a melhor opção para descrever sistemas urbanos, então a hipótese I também deixa a desejar na geração de heterogeneidades entre vértices. O melhor desempenho para todos os quesitos referentes a esta medida é a da hipótese II.

c) As medidas de distância e dimensões do grafo indicam que todas as hipóteses de representação da ordem simbólica realizam uma redução significativa nas dimensões do sistema urbano. O melhor desempenho em termos de redução das medidas por vértice é o da hipótese II e, para todas as medidas globais, é o das hipóteses II e III. O pior desempenho na redução das dimensões do sistema é sempre o da hipótese IV. Levando em consideração a quantidade de arestas cognitivas utilizadas para conseguir estes resultados, a hipótese I tem um desempenho ruim, já que sobrecarrega o sistema com novas conexões sem com isso atingir um desempenho significativamente melhor.

d) Conforme pode ser observado pelo comportamento das medidas Coeficiente de Agrupamento e Caminho Mínimo Característico, todas as hipóteses de representação da ordem simbólica foram capazes de transformar a estrutura bastante homogênea, similar a uma grelha, do espaço físico urbano em uma rede com a propriedade *small worlds*.

Com base neste quadro geral é possível descartar a hipótese I como proposta de representação da ordem simbólica. A hipótese IV, embora não apresente inconsistências significativas, obteve um desempenho pior nas medidas de distância e dimensões do grafo além de introduzir menor diferenciação entre os vértices. Por estes motivos a mesma também será desconsiderada enquanto representação válida. A hipótese V suscita alguns questionamentos de caráter teórico na área cognitiva devido ao seu desempenho no conjunto de medidas analisadas - conforme vem descrito no item a seguir - e por isso também não será adotada no presente trabalho. As hipóteses II e III possuem desempenhos bastante similares para grande parte das medidas topológicas, embora o desempenho melhor seja sempre da hipótese II. Aparentemente ambas as hipóteses podem ser consideradas opções válidas na representação da ordem simbólica.

Não obstante seja prematuro afirmar qual a forma mais adequada de representar a ordem simbólica, podemos supor que uma representação que

incorpore vértices cognitivos representando as concepções mentais no sistema urbano seja uma opção promissora. No presente trabalho será adotada a representação testada na hipótese II. Esta escolha leva em consideração o seu melhor desempenho nas medidas topológicas e um princípio geral da modelagem: a busca por uma representação a mais simples e parcimônia possível. Outro fator que reforça esta escolha é a falta de informações confiáveis sobre homogeneidades locais nos trabalhos empíricos a serem utilizados como base para a definição da ordem simbólica, o que poderia levar à incorporação de erros nas representações e assim invalidar o trabalho.

5.3 Implicações para a cognição ambiental urbana

Os resultados obtidos com as diversas hipóteses de representação dos processos cognitivos analisados pelas medidas que descrevem a forma topológica da rede suscitam algumas considerações que, conquanto não determinem diretamente a escolha da hipótese de representação a ser adotada, levantam algumas questões referentes às teorias cognitivas que merecem ser destacadas:

a) O padrão distributivo do Grau do Vértice observado nas hipóteses que adotaram concepções mentais sobrepostas ao sistema urbano (II e III) está em acordo com redes que possuem alta estabilidade interna, mesmo na ocorrência de mudanças aleatórias num número significativo de seus vértices. Esta estabilidade só será afetada se as mudanças incidirem nas próprias concepções mentais, já que as mesmas são os vértices mais bem conectados da rede. Este comportamento está em acordo com os dados constantes nos trabalhos empíricos na área da cognição ambiental urbana aonde vem reportado que as representações mentais do ambiente e, em maior medida, a imagem pública, apresentam alto grau de estabilidade apesar das mudanças pontuais que vão se somando ao longo do tempo na estrutura urbana. O comportamento observado também indica que mudanças qualitativas na ordem simbólica dependem da inclusão, remoção ou transformação das concepções mentais, conseqüentemente, de mudanças configuracionais na estrutura das unidades de informação.

b) As inconsistências apresentadas pela hipótese I, que partiu da percepção direta defendida pela teoria ecológica de Gibson (1986), parecem confirmar as observações de Heft (1996) sobre as dificuldades de transpor a representação de

uma estruturação temporal das informações (base explicativa da teoria) na forma de uma estruturação espacial estática. Na estruturação temporal apenas uma pequena fração da rede estaria disponível a cada momento, e nunca o somatório desses momentos como foi representado aqui. O fato também reforça o entendimento dos motivos que levam a teoria a negar a existência das representações mentais. Fica evidenciado a inadequação do uso desta base explicativa para abordar a estruturação espacial resultante da cognição ambiental em estudos centrados na configuração global do conhecimento ambiental.

c) A comparação do desempenho apresentado pela hipótese que adotou estratégias mistas (V) e as que adotaram estratégias únicas (II e III) na estruturação das informações ambientais levanta algumas reflexões sobre a natureza dos processos de estruturação cognitiva da informação ambiental. Se tivermos como hipótese que a cognição ambiental busca utilizar mecanismos de ordenamento das informações os mais eficientes possíveis, então uma estruturação utilizando simultaneamente critérios mistos, como a representada na hipótese V, seria menos provável de ser utilizada. A mesma se mostrou menos capaz na obtenção das características desejadas para uma representação mental eficiente: o aumento na hierarquização e uma redução das distâncias entre os componentes. A consideração levantada aqui não invalida a hipótese da cognição ambiental utilizar-se de processamentos múltiplos, apenas sugere que a estrutura final dada às informações ambientais é provavelmente semelhante.

d) O desempenho muito similar apresentado pelas hipóteses II e III parece indicar que um maior nível de detalhamento da estrutura interna das unidades de informação não interfere na qualidade da ordem simbólica como um todo. Para a cognição ambiental urbana este fato pode significar que as diversas escalas hierárquicas da informação ambiental possuem uma organização flexível de forma que a qualidade/quantidade das informações contidas nas escalas subordinadas não interfere necessariamente nos níveis mais abrangentes de organização das informações. O nível maior ou menor de conhecimento sobre o ambiente urbano na escala local não altera significativamente a eficiência da ordem simbólica, desde que as unidades de informação necessárias tenham sido detectadas. Este resultado vai ao encontro do entendimento de Gifford (1997; 40) sobre a relativa independência entre as diversas camadas hierárquicas contidas nas representações mentais e a

possibilidade de uso de cada camada separadamente, conforme as necessidades do indivíduo num dado momento. Também sustenta as observações de Harrison e Howard (1972) e Rapoport (1977: 215) sobre as grandes áreas serem representadas de forma muito geral, com poucos detalhes.

e) A supressão das informações ambientais contidas nas unidades de informação e sua substituição pela concepção mental, conforme representado na hipótese IV, também não é capaz de melhorar o desempenho da ordem simbólica. Este comportamento sugere que o comportamento da rede é fortemente dependente da estrutura de relações entre as concepções mentais. Em termos cognitivos esta observação pode significar que tão importante quando identificar unidades de informação ambiental relevantes é estabelecer relações entre elas de modo a favorecer uma estrutura global eficiente.

PARTE III - Estudos empíricos

6. ESTUDO DE CASO

Para realizar a análise configuracional da ordem simbólica é necessário partir de imagens públicas ou estruturas cognitivas definidas através de pesquisas empíricas para diversas cidades ou áreas urbanas dentro de critérios similares. Deste modo, é preferível a utilização de trabalhos empíricos realizados por um mesmo pesquisador. Também é importante que as áreas abordadas tenham aproximadamente as mesmas dimensões geográficas, não sejam excessivamente reduzidas e sejam referentes a localidades que desempenham um mesmo papel na estrutura urbana.

A similaridade em termos do tamanho das áreas abordadas deve-se às possibilidades de interferência no nível de abstração utilizado pelos indivíduos, conforme salientado no capítulo 3 (p. 91). Já a necessidade de áreas relativamente abrangentes é uma exigência definida pelas técnicas empregadas na análise de redes. O último critério é fundamento no fato de que normalmente diferentes regiões do sistema urbano possuem importâncias cognitivas distintas para a maioria da população – uma região periférica com a qual o indivíduo possui pouco contato dificilmente apresentará o mesmo nível de detalhamento na representação mental que uma área no centro funcional da cidade, a região onde ele reside, ou outra parte da cidade com a qual mantém interações constantes.

Baseado nestes critérios e na possibilidade de acesso a um banco de dados amplo e variado foi escolhido como trabalho empírico de referência o célebre estudo desenvolvido por Lynch para as cidades de Boston, Los Angeles e Jersey City na segunda metade da década de 1950, e apresentado em seu livro “A imagem da cidade” de 1960.

A seguir apresentamos a caracterização geral das imagens públicas das três cidades conforme descrito por Lynch. Estas servem de referência para a definição qualitativa das ordens simbólicas referentes a cada cidade e como indicador dos possíveis problemas que levam ao desempenho diferenciado das mesmas.

6.1 As três cidades e suas imagens públicas

6.1.1 Boston

A área abordada é uma península onde fica localizada o centro funcional da região metropolitana e diversos bairros residenciais de média a alta densidade. A rede urbana possui um traçado preponderantemente irregular que é cortado por uma pista de alta velocidade elevada e uma linha de trem rebaixada.

A cidade é tida como apresentando uma imagem pública de boa qualidade e possuindo uma estrutura geral que é compreendida por boa parte de seus habitantes (Lynch, 1960: 19). A imagem pública contém uma grande quantidade de unidades de informação algumas das quais, no entendimento de Lynch, constituem componentes marcantes ou vívidos⁵¹.

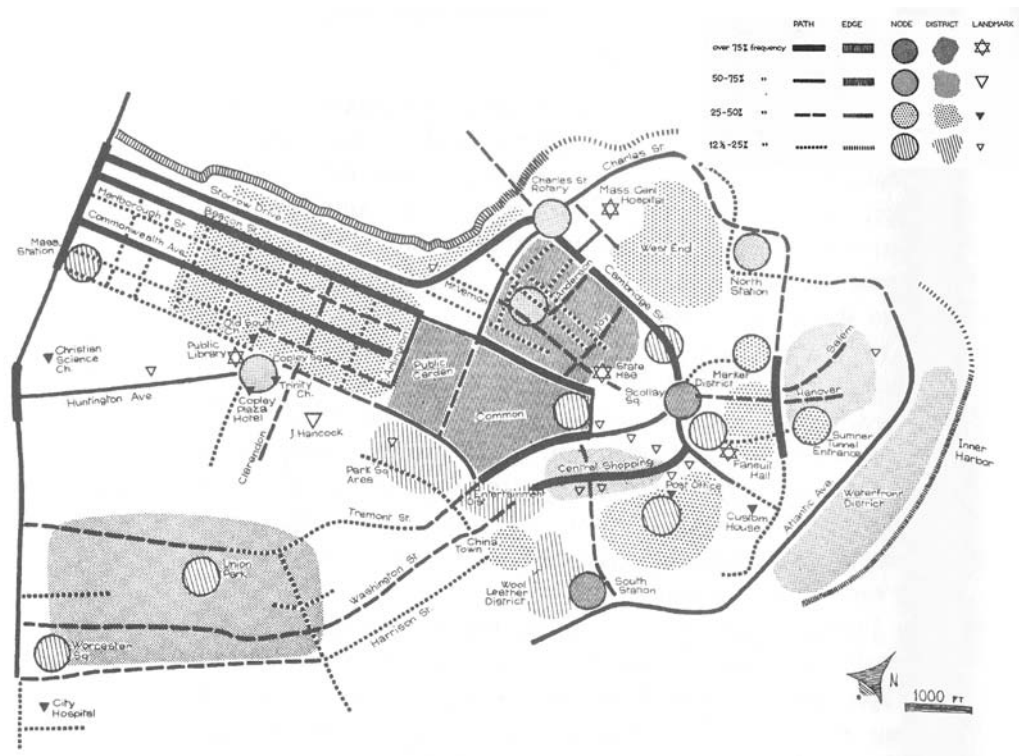


Figura 23 – Mapeamento das unidades de informação consensuais para a área central de Boston montado a partir das entrevistas verbais, conforme Lynch (1960: 146).

De modo geral a cidade apresenta bairros distintos, facilmente identificáveis, temáticos em termos de uso ou ambiência, definidos por seu aspecto físico geral,

⁵¹ No sentido de memoráveis, descritos com grande detalhe e entusiasmo nas entrevistas realizadas.

mas, ao mesmo tempo, com um arranjo incerto ou sem uma forma bem definida (*ibid.*: 17; 22; 66-67). Por outro lado, a estrutura viária é descrita como confusa, mesmo para o habitante experiente. A mesma é tida como difícil de estruturar ou imaginar como um todo. Partes do sistema podem ter um caráter forte, mas formam um conjunto de componentes parcialmente desconexos, associados um a um e até soltos. Não existe uma ordem básica entre os caminhos exceto a preponderância dos caminhos radiais advindos da base da península. Em boa parte da área analisada é mais fácil se movimentar no sentido longitudinal da península do que transversalmente (*ibid.*: 17; 23; 25; 66).

Entre as três cidades estudadas, Boston é posta como apresentando as melhores qualidades gerais na imagem pública. Para Lynch o principal problema estaria na falta de uma estruturação de fácil compreensão entre as unidades de informação referentes ao sistema viário.

6.1.2 Jersey City

A região estudada fica entre as cidades de Newark e Nova Iorque e pode ser considerada uma região periférica de ambas, apresentando diversos bairros residenciais e uns poucos pequenos centros com atividades diversas. A cidade é recortada por uma mudança abrupta na topografia, dividindo a cidade numa parte alta e outra baixa, por diversas linhas de trem rebaixadas e por vias de alta velocidade tanto elevadas quando rebaixadas.

A cidade é descrita como tendo uma imagem pública pobre, de baixa qualidade. É comentado que nenhum dos entrevistados possuía algo como uma visão abrangente da cidade na qual vivia à muito anos (*ibid.*: 15; 29; 32). Comparativamente, a imagem pública de Jersey City apresenta um número reduzido de unidades de informação - em geral descritos parcimoniosamente e de forma mais conceitual do que baseado em características perceptuais concretas (*ibid.*: 26; 30). As representações mentais da cidade são descritas por Lynch como fragmentadas, com grandes áreas sem elementos reconhecíveis, geralmente apresentando uma concentração maior de componentes em uma porção do mapa.

Existe uma escassez de bairros, marcos referenciais e pontos nodais reconhecíveis e compartilhados pela população. As unidades de informação

referentes à estrutura viária aparentam ser escolhidas com base na maior continuidade de percurso que as mesmas permitem. A escolha, portanto, está baseada no papel estrutural desempenhado e não tanto nos aspectos perceptuais do ambiente. Existe, ainda, um número significativo de limites ou barreiras fortes, tanto construídas quanto geográficas, que circunscrevem e dividem a cidade em diversas partes.

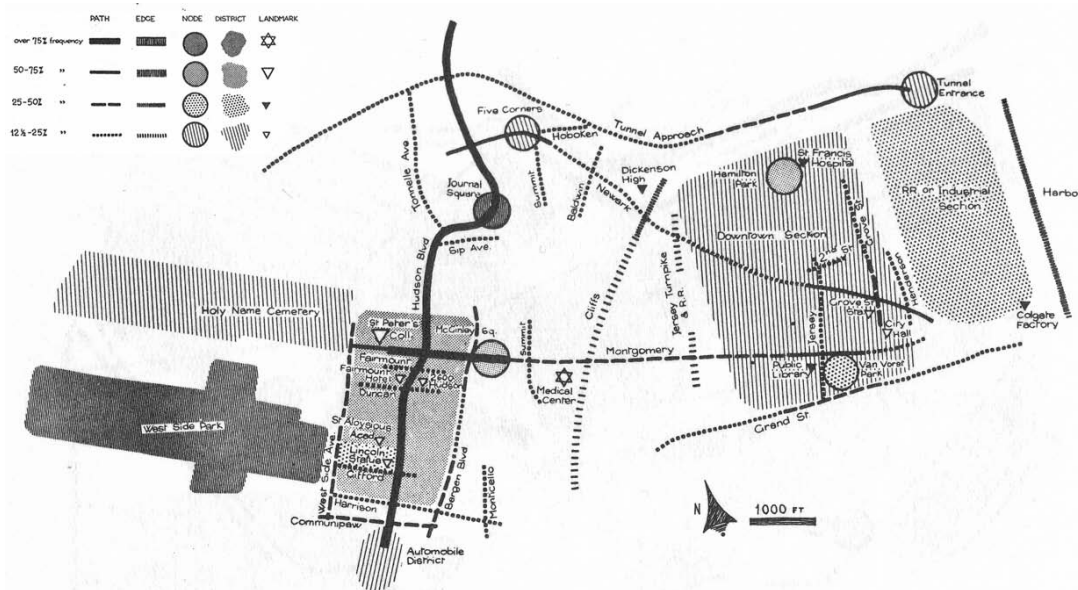


Figura 24 – Mapeamento das unidades de informação consensuais para a área central de Jersey City montado a partir das entrevistas verbais, conforme Lynch (1960: 148).

Das três cidades Jersey City é posta como possuindo a imagem pública de pior qualidade. Os problemas reportados se referem tanto à falta de elementos componentes quanto a fragmentação e falta de estrutura apresentada pela mesma.

6.1.3 Los Angeles

A área estudada em Los Angeles corresponde ao centro de uma grande região metropolitana. A mesma possui uma escala distinta das duas outras cidades e abrange, aproximadamente, ao centro de negócios e sua borda de transição. A estrutura viária segue uma grelha aproximadamente regular e duas vias rebaixadas de alta velocidade.

A imagem pública é descrita como apresentando uma qualidade mediana: melhor que Jersey City, mas inferior à de Boston. Apesar da estrutura de base

relativamente ordenada ditada pela grelha do sistema viário, os componentes da imagem pública são difíceis de localizar com precisão, dificultando a organização e compreensão do todo (*ibid.*: 33; 37; 43). O número de unidades de informação é comparável à de Boston mas, em geral, são descritas de forma mais abstrata e conceitual, similarmente ao que acontece em Jersey City (*ibid.*: 42).

Aparece um grande número de marcos referencias e poucos pontos nodais. Diversos dos distritos reconhecidos são lineares, confinados às laterais de uma via. As unidades de informação referentes a estrutura viária muitas vezes são confundidas em termos de sua posição relativa, porém são reconhecidas pelas atividades nelas localizadas e a intensidade de uso. Apesar da confusão entre vias, a maioria dos indivíduos entrevistados sabiam se orientar e manter a direção nos caminhos com relativa facilidade.

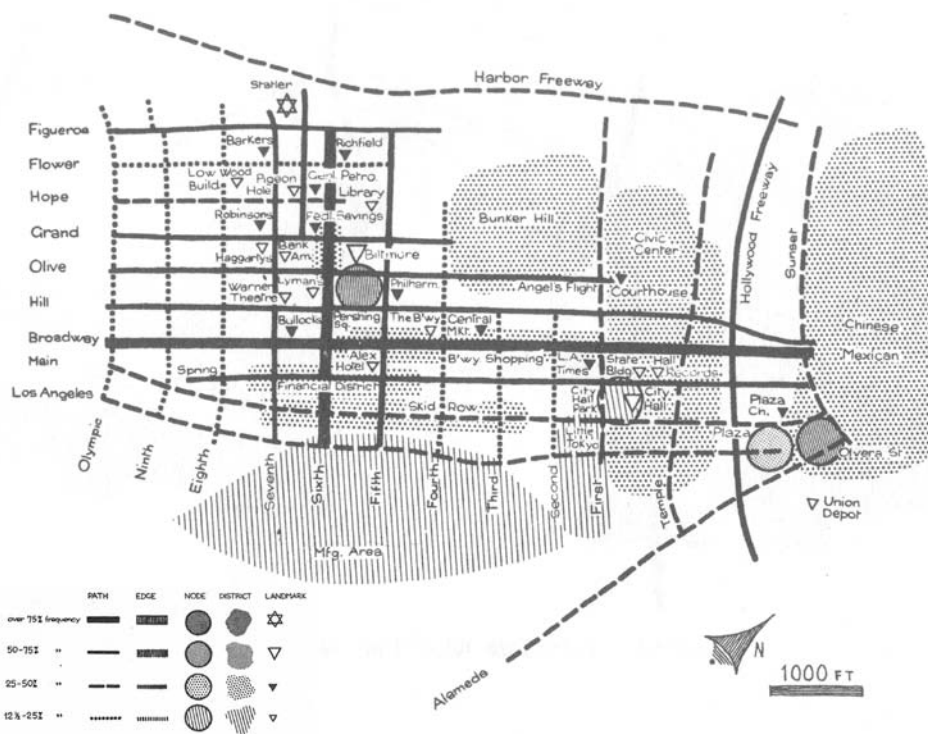


Figura 25 – Mapeamento das unidades de informação consensuais para a área central de Los Angeles montado a partir das entrevistas verbais, conforme Lynch (1960: 150).

As características descritas como sendo problemáticas na imagem pública de Los Angeles se referem às confusões em localizar corretamente as diferentes unidades de informação referentes às vias, a dificuldade de localizar precisamente os marcos referencias e a falta de distritos marcantes.

6.2 Definição dos componentes da ordem simbólica

O trabalho de Lynch apresenta diversos critérios de descrição e delimitação das unidades de informação presentes nas imagens públicas das três cidades, baseados no modo em que foram realizadas as externalizações das representações mentais⁵². Na definição dos componentes da ordem simbólica optou-se por utilizar as unidades de informação resultantes das entrevistas verbais. A escolha pelas entrevistas deve-se a que nestas há uma menor interferência de questões que podem limitar a citação das unidades de informação (Lynch, 1960; Dalton e Bafna, 2003), além de nas mesmas aparecem de forma mais evidenciada as relações entre componentes e a estruturação geral dada ao ambiente urbano⁵³.

Das unidades de informação presentes no mapeamento das entrevistas verbais nem todas foram utilizadas para definir a ordem simbólica. O número bastante reduzido de entrevistados (aproximadamente 30 em Boston e 15 em Jersey City e em Los Angeles)⁵⁴ fez com que aqueles componentes com menos de 25% de citação nas entrevistas fossem desconsiderados. Os mesmos foram entendidos como pouco significativos enquanto exemplos de unidades de informação consensuais.

As unidades de informação referentes a componentes naturais do ambiente (classificadas por Lynch dentro da categoria limites) também não foram representadas. Os motivos que levaram a esta eliminação devem-se ao desejo de focar a análise nas características configuracionais do sistema urbano. A incorporação dos componentes naturais do ambiente no grafo representado a ordem simbólica iria distorcer os resultados da análise no que diz respeito ao papel

⁵² Foram feitas solicitações de desenhos ou mapeamentos cognitivos e entrevistas verbais com os respondentes, além de levantamento a campo por especialistas. O trabalho apresenta análises por tipo de levantamento e cruzando os diferentes levantamentos.

⁵³ O uso de desenhos ou mapeamentos cognitivos é um problema para os respondentes que possuem dificuldades em desenhar um mapa. Outra questão é que neste tipo de solicitação muitas vezes componentes relevantes são deixados de fora devido aos mesmos apresentarem dificuldades em serem desenhados ou alocados. Mas o principal problema é que muitas das conexões entre elementos e a organização geral da estrutura urbana tendem a desaparecer ou ficar distorcidas com o uso dos mapeamentos cognitivos (Lynch, 1960: 145). Embora estas dificuldades possam elucidar certas questões envolvidas na cognição ambiental urbana, as mesmas não são objeto de investigação para o presente estudo.

⁵⁴ O número de entrevistados aqui citado refere-se ao que está escrito em Lynch (1960: 15) porém, no desenho original dos resultados de Boston (disponível em <http://dome.mit.edu/handle/1721.3/36506>) pode ser visto a anotação onde constam 19 entrevistados para gerar o mapa. O número real de entrevistados para as outras duas cidades não pode ser verificado já que os dados destas ainda não estão disponíveis em meio digital.

desempenho pelos espaços públicos, dificultando uma compreensão do papel desempenhado pelos mesmos.

As unidades de informação detectadas no trabalho de Lynch foram reclassificadas tendo em conta os aspectos estruturais das mesmas e não só de conformação geométrica, como parece ser o critério utilizado por Lynch. Os testes realizadas durante o estudo piloto evidenciaram a natureza configuracionalmente distinta de alguns elementos originalmente agrupados numa mesma classe. Neste sentido se sentiu a necessidade de acrescentar a categoria "lugares" de modo a contemplar elementos similares que se encontravam designados como "bairros" ou "nós", dependendo da abrangência geográfica dos mesmos. Do mesmo modo, as vias de circulação, independentemente da classificação como "vias" ou "barreiras", foram agrupadas numa mesma categoria. Assim, as unidades de informação passam a ter a seguinte classificação⁵⁵:

a) Unidades de informação tipo área – correspondem a regiões ou bairros mais ou menos extensos, que englobam uma fração do tecido urbano. Todos os elementos contidos nesta classe correspondem a elementos classificados como bairros no trabalho de Lynch;

b) Unidades de informação lineares – dizem respeito aos canais de circulação por onde os indivíduos circulam e experienciam a cidade. Foram encaixados nesta categoria todas as unidades originalmente definidas como vias, assim como os canais de circulação classificados como barreiras por Lynch. A reconhecida ambigüidade associada a estes últimos (entendidos como vias ou barreiras, dependendo da posição relativa ou uso que o indivíduo faz deles) corrobora com a decisão de uma classificação conjunta;

c) Unidades de informação tipo lugares – são referentes a regiões de diferentes tamanhos com estruturas urbanas singulares. Os grandes espaços abertos, unitários, originalmente definidos como bairros por Lynch, estão entre os componentes desta classe. Os nós descritos como sendo referentes a concentrações de algum uso ou carácter físico (Lynch, 1960: 47) também fazem parte deste tipo de unidades de informação;

⁵⁵ A nomenclatura adotada não pretende substituir ou invalidar a terminologia tradicional. A distinção de termos visa respeitar a classificação original de Lynch e seus critérios, assim como evidenciar a reorganização dada aos elementos por ele detectados nos estudos de caso.

d) Unidades de informação pontuais tipo nós – correspondem aos nós descritos por Lynch como estando associados à circulação e transporte. Todos os elementos contidos nesta classe correspondem a elementos classificados como nós no trabalho de Lynch;

e) Unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos – segue a mesma definição dos marcos referenciais de Lynch. Todos os elementos contidos nesta classe correspondem a elementos classificados como marcos por Lynch;

	Classificação dos componentes da imagem pública segundo Lynch				
	bairros	nós	Marcos referenciais	vias	barreiras
Unidades de informação tipo áreas	x				
Unidades de informação lineares				x	x
Unidades de informação tipo lugares	x	x			
Unidades de informação pontuais tipo nós		x			
Unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos			x		

Tabela 06 – Quadro de reclassificação das unidades de informação.

As figuras seguintes mostram como ficaram os mapeamentos das unidades de informação que irão compor a ordem simbólica para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles.

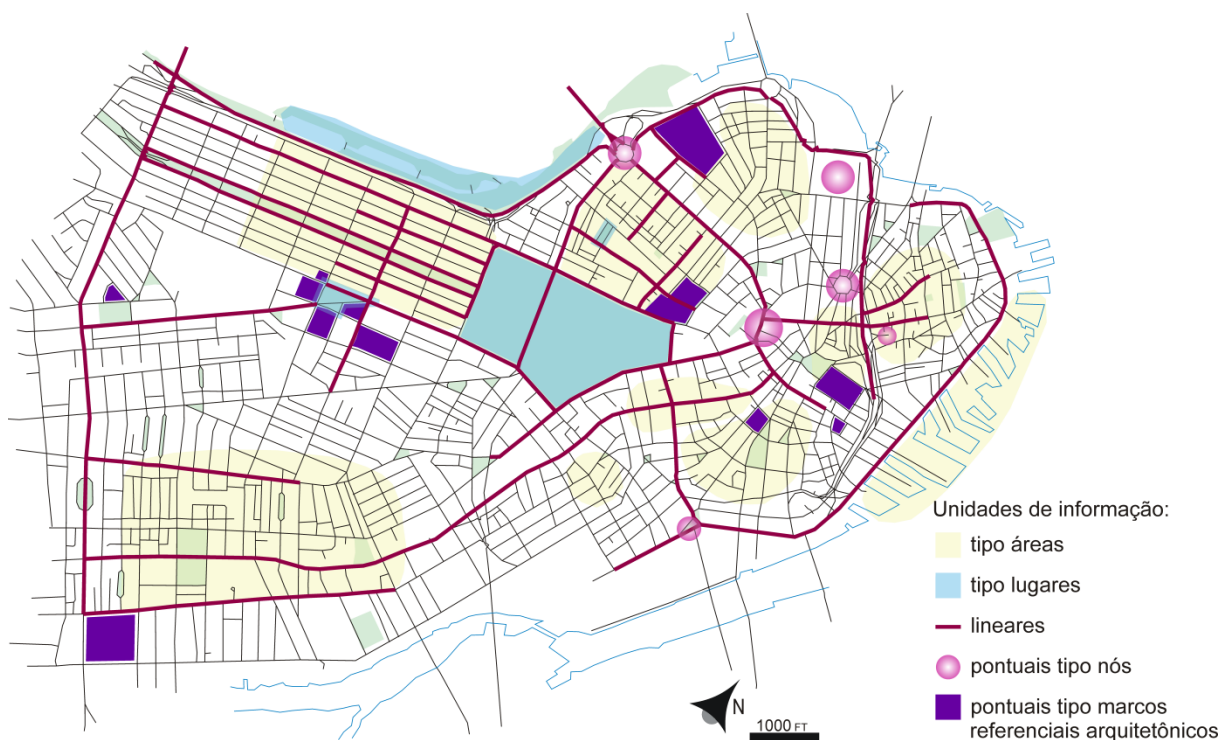


Figura 26 – As unidades de informação que compõem a ordem simbólica de Boston definidas por tipo.

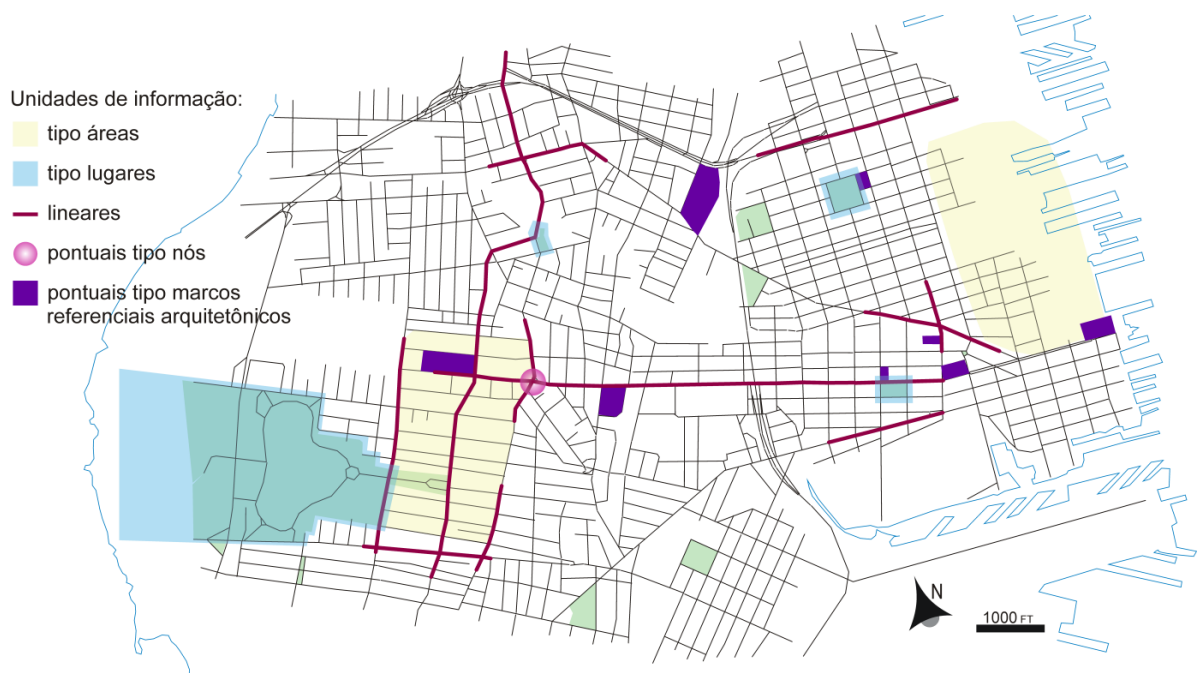


Figura 27 – As unidades de informação que compõem a ordem simbólica de Jersey City definidas por tipo.

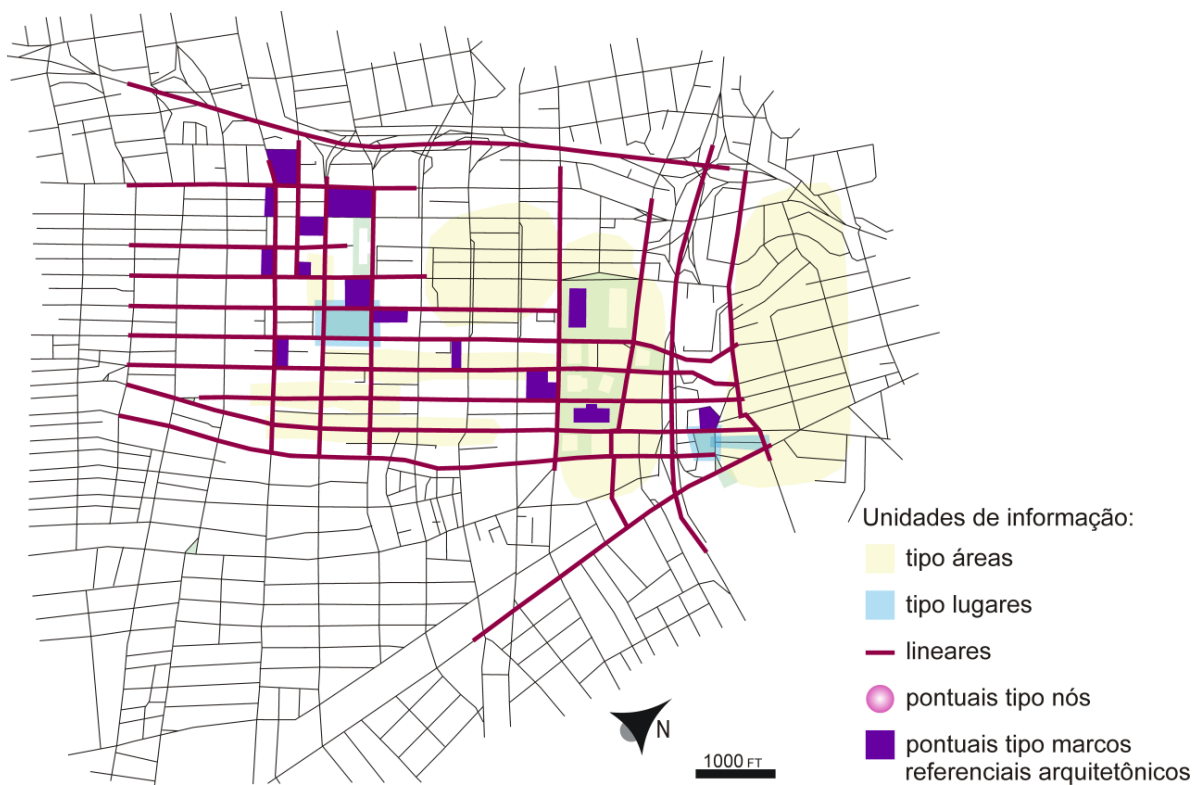


Figura 28 – As unidades de informação que compõem a ordem simbólica de Los Angeles definidas por tipo.

6.3 A estrutura física das cidades e a representação da ordem simbólica

A estrutura física das cidades foi definida a partir de imagens aéreas e mapas diversos da década de 1950, cruzado com imagens aéreas e de satélite mais recentes acessadas no Google Earth e nos bancos de dados históricos citados a seguir. Boston contou com a coleção de mapas e imagens aéreas do Atlas de Boston da *Boston's Planning and Economic Development Agency* disponíveis em <http://www.mapjunction.com>. Em Jersey City foram utilizados mapas da coleção de mapas históricos do *Rutgers Cartography Services, Geography Department, Livingston College* disponíveis em <http://elibrary.rutgers.edu> e em <http://mapmaker.rutgers.edu>. Para Los Angeles foram utilizados os mapas da *Bruman Map Collection* da UCLA, disponíveis em <http://hypercities.ats.ucla.edu>.

A transposição dos espaços físicos pertencentes a cada unidade de informação, selecionada do trabalho de Lynch, para a representação da ordem simbólica de cada cidade foi feita seguindo os critérios descritos anteriormente (p. 135-137). Embora os desenhos de Lynch não sejam mapas precisos, foi possível determinar com relativa facilidade a localização e abrangência de cada unidade de informação. As maiores dificuldades foram encontradas na determinação da área de visibilidade dos marcos referenciais arquitetônicos. Muitos foram demolidos, e as renovações ocorridas no ambiente urbano como um todo alteraram significativamente as possibilidades de visualização dos marcos ainda existentes. Na tentativa de minimizar este problema foram cruzadas diversas estimativas dos espaços de visualização dos marcos referenciais feitas com base nas: a) visualizações ao nível da rua disponíveis no Google Maps e Google Earth; b) manipulação das construções em 3D do Google Earth e; c) observação de fotografias antigas encontradas na Web (a lista de sites encontra-se na bibliografia). A determinação de altura, volumetria e implantação dos marcos demolidos nas três cidades foi feita a partir de fotografias encontradas na Web, onde foi possível localizar no mínimo um registro fotográfico para cada caso de marco demolido.



Figura 29 – Exemplos das imagens de Los Angeles utilizadas para definir a área de visualização dos marcos referenciais arquitetônicos. Na esquerda, de cima para baixo, os prédios da Bullock's, The Times, Grand Central Market e Philharmonic Auditorium. No centro, em cima: a rua Broadway com o prédio da Bullock's, prédio da Barker Brothers e vista aérea da região do City Hall. No centro, abaixo, quatro fotografias de aspectos gerais da área em estudo. Na direita, de cima para baixo: Court House; Statler Hotel, vista geral com o prédio da Atlantic Richfield Oil Corporation e Union Oil Corporation. Fonte: sites diversos, citação na bibliografia.

6.3.1 A ordem simbólica e sua supra-estrutura cognitiva

Ao representar a ordem simbólica como um grafo, passa a ser possível investigar diversos aspectos relativos a sua estrutura interna. A ordem simbólica pode ser entendida como possuindo uma estrutura de base, definida pelos componentes físicos e cognitivos e as relações existentes entre estes, conforme explicitado pela sua representação num grafo. Mas também pode-se falar na existência de uma supra-estrutura cognitiva, isto é, o extrato de sua estrutura que é composta pelas entidades cognitivas e as conexões mantidas entre estas, correspondendo, portanto, somente à informação mentalmente estruturada.

Ambas as estruturas presentes na ordem simbólica são alvo de investigação no presente trabalho e correspondem a aspectos distintos da ordem simbólica. A estrutura de base da ordem simbólica representa a sobreposição das unidades de informação sobre o espaço físico e, neste sentido, pode ser entendida como o

conjunto de componentes, informações e relações disponíveis aos indivíduos na exploração ativa do ambiente. Já a supra-estrutura cognitiva corresponde ao sistema de concepções mentais encontrada na ordem simbólica, e corresponde à estrutura presente na imagem pública. A mesma descreve o ordenamento de macro escala presente na ordem simbólica, destacando as relações próximas e remotas que permitem relacionar cognitivamente as diversas regiões conhecidas do sistema urbano.

A seguir apresentamos os grafos representando a estrutura base da ordem simbólica e a sua supra-estrutura para as três cidades.

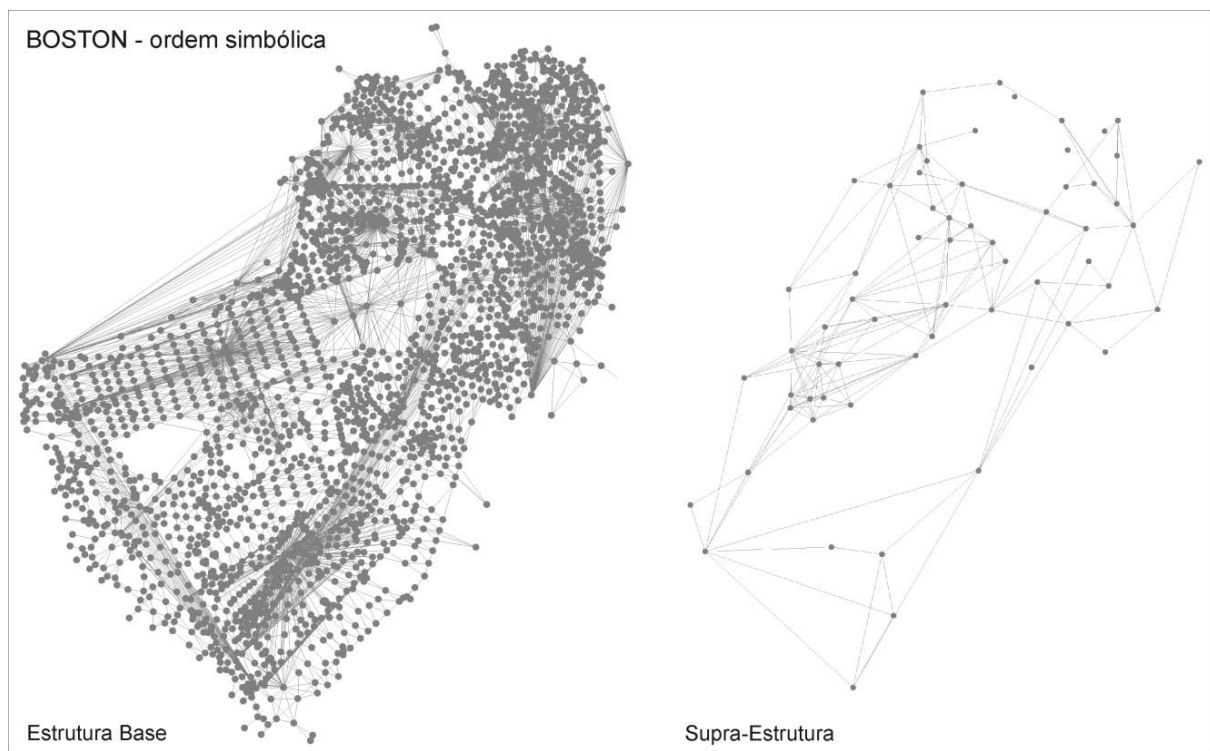


Figura 30 – Grafos representando a ordem simbólica em termos de sua estrutura base e supra-estrutura cognitiva para a cidade de Boston. Ambos os grafos encontram-se na mesma escala. Na supra-estrutura os vértices foram posicionados aproximadamente no centro da unidade de informação.

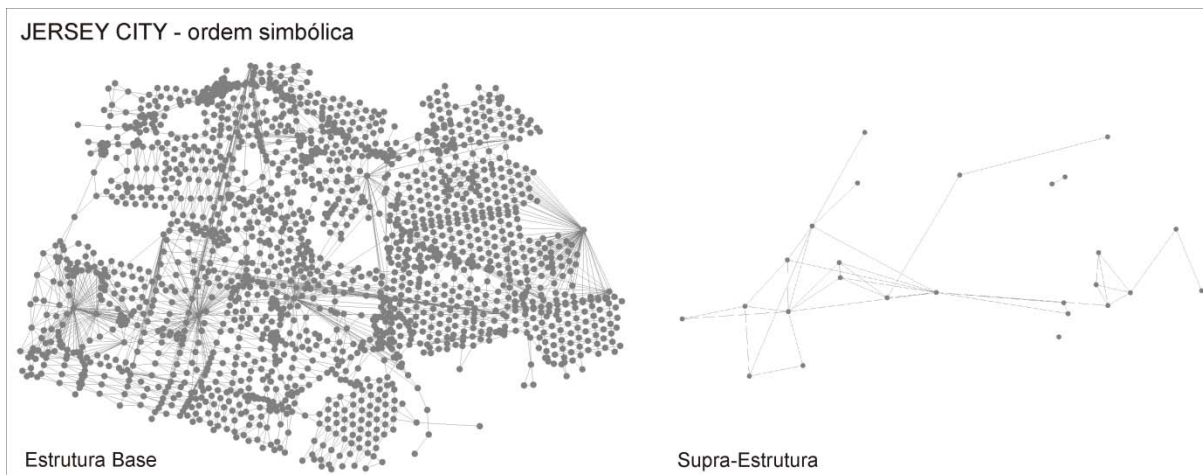


Figura 31 – Grafos representando a ordem simbólica em termos de sua estrutura base e supra-estrutura cognitiva para Jersey City. Ambos os grafos encontram-se na mesma escala. Na supra-estrutura os vértices foram posicionados aproximadamente no centro da unidade de informação.

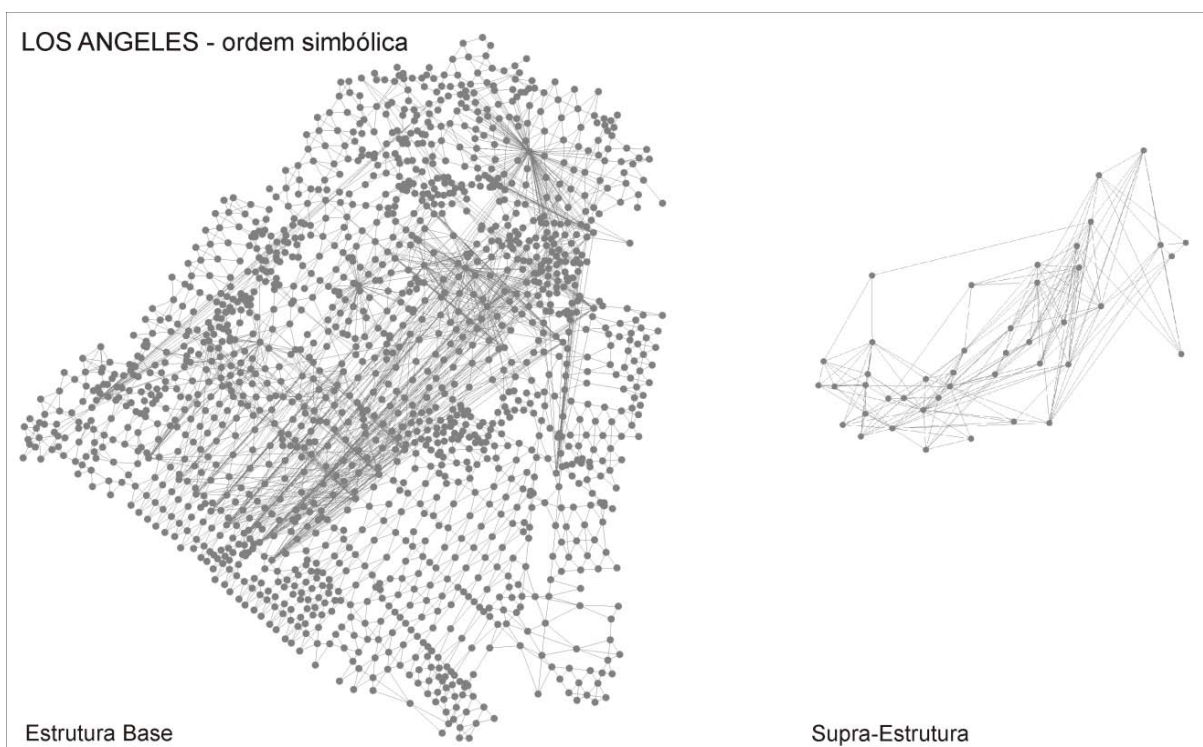


Figura 32 – Grafos representando a ordem simbólica em termos de sua estrutura base e supra-estrutura cognitiva para a cidade de Los Angeles. Ambos os grafos encontram-se na mesma escala. Na supra-estrutura os vértices foram posicionados aproximadamente no centro da unidade de informação.

7. AS QUALIDADES CONFIGURACIONAIS DA ORDEM SIMBÓLICA

Hipóteses:

As propriedades estruturais que o sistema urbano adquire com a ordem simbólica são distintas daquelas expressas pela configuração de seus espaços públicos e muito provavelmente se assemelham àquelas apresentadas por um sistema do tipo small-worlds.

Muitas das propriedades estruturais da ordem simbólica devem, de algum modo, estar relacionadas com as características qualitativas que esta ordem simbólica apresenta.

Os mapeamentos e análises estatísticas das medidas pertinentes na descrição das interações entre componentes são capazes de oferecer uma noção de como a cognição ambiental consegue transformar o tecido urbano num todo coerente e compreensível, facilitando as ações cotidianas dos indivíduos no espaço urbano.

O presente capítulo está voltado para a descrição das características configuracionais da ordem simbólica e sua supra-estrutura cognitiva. Para tanto são aplicadas diversas medidas que descrevem tanto o comportamento geral do sistema, quanto o desempenho individual de seus componentes. As medidas são avaliadas através de análises estatísticas e do comportamento espacial, e os resultados interpretados com o auxílio dos estudos teóricos em redes. As características observadas na rede da ordem simbólica são confrontadas com as características funcionais e qualitativas descritas para as imagens públicas de referência e seus elementos constituintes. Com isto é feita uma avaliação de possíveis correlações entre as características configuracionais da rede da ordem simbólica e o seu provável desempenho. A análise do comportamento da supra-estrutura cognitiva, além de atender a estes aspectos, também busca esclarecer se as influências nos resultados são advindas da estrutura morfológica do espaço urbano ou são o resultado dos processos cognitivos.

A descrição das características configuracionais da ordem simbólica e sua supra-estrutura cognitiva pode auxiliar no entendimento de: a) como a cognição

ambiental consegue estruturar o conhecimento sobre o ambiente urbano num todo coerente; b) de que modo esta estrutura altera as características estruturais da rede urbana; c) se existem ordens simbólicas com distintas tipologias estruturais, e; d) se existem desempenhos ou papéis distintos para cada tipo de unidade de informação.

Os tópicos deste capítulo estão voltados para a exploração das questões acima levantadas e, para tanto, utilizam procedimentos estatísticos específicos conforme as medidas empregadas e as características distributivas dos dados analisados. Por este motivo, os procedimentos seguidos encontram-se explicitados caso a caso.

7.1 A transformação das características configuracionais do espaço urbano

A rede de espaços urbanos é o resultado do processo de ocupação do solo e da necessidade de circulação entre estas ocupações. Conforme colocado na revisão sobre redes espaciais, a lógica que dita a estrutura dessas redes é aquela da minimização das distâncias geográficas. Em redes deste tipo existe pouca diferenciação entre os vértices, o Grau do Vértice é baixo, a transitividade é alta e o diâmetro da rede é grande⁵⁶. Todas estas características levam a uma rede pouco diferenciada em termos topológicos e com propriedades que dificultam sua navegabilidade e compreensão estrutural na presença de limitações nas quantidades de informação que podem ser manipuladas – como aquelas que acontecem na cognição humana⁵⁷. Portanto, necessariamente, a cognição ambiental se utiliza de alguma(s) estratégia(s) para introduzir novas características na rede urbana e, assim, garantir a operacionalidade da mesma na realização das atividades cotidianas de interação do indivíduo com o ambiente. A presença de algumas dessas características formaram os próprios pressupostos para a escolha da forma de representação da ordem simbólica, conforme visto no capítulo 5 (p. 132-159). Aqui, vamos re-examinar essas características de forma mais detalhada, conjuntamente como outros aspectos configuracionais das redes.

⁵⁶ Estas características só não estão presentes nas representações do espaço urbano por unidades morfológicas máximas devido ao artifício empregado de agregação de unidades espacialmente mais elementares (Dalton *et al.* 2003; Porta *et al.* 2006a).

⁵⁷ As limitações na quantidade de informação que pode ser processada pela mente humana acontece em todos os estágios da cognição e é citada por inúmeros autores em distintas modalidades cognitivas: Kintsch (1970), Anderson (1990), Logie (1989), Simon (1996), Canter (1974), Peña (1997), Jansson *et al.* (1992), Mervis e Rosch (1981), entre outros.

As transformações nas características configuracionais da rede urbana serão verificadas quanto às mudanças nos padrões estatísticos e espaciais. Interessa definir a intensidade com que as mudanças ocorrem e a possível generalidade que as mesmas assumem na ordem simbólica. Cada tipo de mudança é avaliado pelo comportamento observado num conjunto de medidas aplicadas às redes espaciais urbanas e às respectivas redes representando a ordem simbólica. Os resultados obtidos são comparados por cidade de modo a determinar as mudanças ocorridas e a sua intensidade. Outro aspecto analisado é se o desempenho de cada cidade condiz com a qualidade da respectiva imagem pública descrita por Lynch, indicando a provável relevância das características configuracionais observadas para a descrição e compreensão da ordem simbólica.

A forma como as mudanças ocorrem em cada cidade são comparadas entre si para avaliar a existência de comportamentos distintos ou similares e, assim, traçar uma primeira conjectura sobre a generalidade das características observadas.

7.1.1 Alterações nas características de disponibilidade informacional da rede

Entendemos como informação a possibilidade de associar os componentes da rede de forma direta ou semi-direta. Uma associação é direta quando existe uma aresta entre dois vértices componentes, e é semi-direta quando a associação envolve um terceiro vértice como intermediário ou como associação em comum.

As medidas de Eficiência Global, Coeficiente de Agrupamento, Grau do Vértice e Tamanho do grafo podem ser utilizadas para descrever diversos aspectos na alteração do nível de informação presente na rede urbana com a ordem simbólica. A comparação do comportamento observado na rede de espaços urbanos e aquele presente na ordem simbólica pode dar uma indicação da intensidade deste aumento informativo e da natureza local ou global da informação introduzida.

As alterações na disponibilidade informacional dizem respeito ao:

a) Aumento na quantidade da informação disponível – o aumento de informação disponível na rede está vinculada ao número de arestas que esta passa a apresentar com a ordem simbólica. Quanto maior o número de arestas, maior o número de associações diretas e semi-diretas proporcionadas pela rede. Deste modo, genericamente, o aumento na quantidade de informação disponível está

relacionado com a diferença entre o Tamanho do grafo representando a rede urbana e aquele representando a ordem simbólica. O valor deste ganho pode ser expresso pelo aumento em porcentagem de novas arestas.

b) Ganho em informação estrutural – as conexões estabelecidas entre as entidades cognitivas, isto é, as conectividades cognitivas, podem ser entendidas como as informações estruturais introduzidas no sistema urbano com a ordem simbólica. As informações estruturais servem de pistas sobre a estrutura mais geral da rede: vinculam as unidades de informação entre si e, assim, facilitam os deslocamentos e a exploração da rede, permitindo a conexão entre diferentes porções da rede. O número de arestas entre os vértices cognitivos da ordem simbólica descreve a quantidade de informação estrutural que foi introduzida na rede urbana. De modo a permitir a comparação entre as cidades, o número de conexões estruturais é normalizado pela Ordem do grafo da rede urbana.

c) Ganho em significado – está associado ao aumento no número de conexões dos espaços físicos com a ordem simbólica. Quando um vértice da rede urbana passa a ser associado a uma ou mais entidades cognitivas, pode-se dizer que o mesmo também passa a ser vinculado aos significados associados a cada entidade. Neste sentido, ganhos em significado podem ser descritos pelo número, ou porcentagem, de vértices da rede urbana que aumentam o seu Grau do Vértice na rede da ordem simbólica.

d) Ganho na informação de posicionamento local – ganhos na informação do posicionamento local do vértice dizem respeito ao conhecimento de onde se está localmente. Os aumentos na transitividade da rede com a ordem simbólica podem ser interpretados como referentes a este tipo de informação, já que os novos ciclos de comprimento 3 surgem, principalmente, na associação de dois vértices físicos adjacentes com um mesmo vértice cognitivo. Nesta situação, o vértice cognitivo ajuda a reforçar o reconhecimento de uma posição precisa na rede. A variação no

valor do Coeficiente de Agrupamento para a rede, com vizinhanças de um passo topológico, pode ser usada para descrever os ganhos neste tipo de informação⁵⁸.

e) Aumento na eficiência das potenciais associações indiretas – outro aspecto que pode ser avaliado sobre a disponibilidade informacional diz respeito à facilitação no estabelecimento de associações entre os espaços físicos topologicamente distantes na rede urbana. Este tipo de informação reflete a potencialidade informacional da rede referente à apreensão da estrutura global do sistema. Quanto menor o número de informações (ou associações) necessárias para relacionar um espaço físico com outro qualquer, maior a facilidade ou eficiência no estabelecimento de associações remotas e, portanto, de entender a estrutura geral do ambiente. A medida de Eficiência Global pode ser usada para estimar estes ganhos. A variação entre o valor apresentado pela rede urbana e aquele apresentado pela ordem simbólica dão uma idéia do incremento na facilidade de estabelecer associações remotas dentro da rede com a ordem simbólica.

A descrição do comportamento observado para as diversas medidas que definem cada tipo de informação e o computo dos ganhos informacionais do sistema urbano ao ser cognitivamente estruturado encontram-se resumidos no quadro a seguir (tabela 07).

⁵⁸ As variações na medida por vértice são sensíveis ao número de vizinhos que também estão conectados a uma mesma entidade cognitiva: quanto maior o número, maior será o ganho em transitividade por vértice. Assim, vértices no interior de uma unidade de informação tipo área tendem a aumentar a transitividade mais que os vértices na borda. Do mesmo modo, os vértices associados a um marco referencial, quando próximos a este, tendem a incrementar seus valores mais do que aqueles mais distantes, onde os espaços vizinhos nem sempre estão associados àquela mesma unidade de informação – no caso extremo de um ponto isolado de visualização, o vértice perde transitividade. Também o pertencimento a mais de uma unidade de informação tende a aumentar mais significativamente os valores de transitividade de um vértice.

	Boston	Jersey City	Los Angeles
Aumento na quantidade de informação disponível:	34,87%	13,81%	26,06%
$ EG $ (espaço físico)	6080	4613	3622
$ EG' $ (ordem simbólica)	8202	5250	4566
$ EG' - EG $	2118	637	944
Ganhos em informação estrutural:	0,061	0,020	0,116
$ EG ''$ (entre vértices cognitivos)	167	39	190
$ EG '' / VG $	0,061	0,020	0,116
% $ EG' $	2,04%	0,74%	4,14%
Ganhos em significado:	53,75%	24,45%	28,70%
$ VG $ (espaço físico)	2690	1959	1589
Num. espaços físicos $k' > k$	1446	479	456
Ganhos em informação de posicionamento local:	18,31%	6,56%	5,32%
γ (espaço físico)	0,415	0,427	0,432
γ' (ordem simbólica)	0,491	0,455	0,455
$\gamma - \gamma'$	0,076	0,028	0,023
% espaços com ganhos	45,20%	19,35%	20,40%
% espaços das UI com ganhos	91,98%	85,75%	79,02%
Aumento na eficiência das associações indiretas	173,52%	87,44%	88,51%
E_G (espaço físico)	0,0642	0,0677	0,0818
E_G' (ordem simbólica)	0,1756	0,1269	0,1542
$E_G' - E_G$	0,1114	0,0592	0,0724

Tabela 07 – Quadro descritivo das mudanças nas características da disponibilidade informacional na rede urbana com a ordem simbólica. Valores computados a partir do tamanho do grafo ($|EG|$), ordem do grafo ($|VG|$), Grau do Vértice (k), Coeficiente de Agrupamento (γ) e Eficiência Global (E_G). Dados para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles.

Em termos do comportamento geral observado é possível dizer que a quantidade de informação disponível na ordem simbólica, representado pelo aumento no número de associações diretas, é de 14 a 35% maior do que na rede urbana, destas, 0,74 a 4,14% representam ganhos em informação estrutural, ou seja, são associações envolvendo exclusivamente as concepções mentais que estruturam a ordem simbólica. A partir desta nova disponibilidade informacional, o aumento na eficiência das associações indiretas na rede é na ordem de 87 a 174%. Quanto à quantidade de espaços físicos que são alterados em seu conteúdo informacional podemos dizer que, com a ordem simbólica, 24 a 54% dos espaços físicos passam a adquirir significados e, destes, 79 a 92% também aumentam a informação de posicionamento local.

Assim, o comportamento geral observado confirma a preponderância das informações referentes à estrutural global do sistema como o principal foco das representações mentais do ambiente urbano - 87 a 174% em ganhos na eficiência

das associações indiretas, contra 5 a 18% de informação local - conforme preconizado pelos estudos na área da cognição ambiental.

Em todos os aspectos analisados, o comportamento entre cidades pode ser considerado similar. As diferenças estão na intensidade com que os diferentes ganhos informacionais ocorrem em cada uma. Jersey City é a cidade que apresenta os menores ganhos de informação, e Boston é onde são encontrados os maiores ganhos em quase todas as modalidades informacionais. Tendo como base o *ranking* qualitativo de Lynch (1960) para as três cidades, podemos verificar que, consistentemente, maiores ganhos em informação correspondem a uma melhor qualidade da imagem pública. A única exceção encontrada é referente aos ganhos em informação estrutural. Neste quesito a cidade de Los Angeles obtém um ganho significativamente superior ao de Boston.

Existem duas possibilidades explicativas para este fato: ou esta característica não é determinante na definição da qualidade da ordem simbólica, ou - o que nos parece mais provável - existe um limiar acima do qual as informações estruturais seriam excessivas, originando aspectos negativos para a ordem simbólica.

A segunda hipótese explicativa vai ao encontro das dificuldades encontradas nas representações mentais de Los Angeles, onde as posições relativas de vias e marcos referenciais são descritos como difíceis de organizar, muitas vezes gerando confusões na localização de cada um (*ibid.*: 33; 37; 43). O excesso de informações estruturais pode estar por detrás dessas confusões. Muitas das unidades de informação (principalmente lineares e marcos referenciais arquitetônicos) encontram-se relacionadas entre si por um conjunto denso de arestas. É possível que as múltiplas relações num conjunto restrito de unidades de informação torne a quantidade de informação deste tipo (associações cognitivas) excessivamente alta para um bom desempenho das representações mentais dos indivíduos.

A relação de equilíbrio entre relações próximas e relações remotas preconizada pelo trabalho de Kleinberg (2000 e 2000a) como importante para a navegação em redes, na ordem simbólica, encontra um paralelo na relação entre a quantidade de informação de posicionamento local e de informação estrutural presente na rede. A razão entre informação local e informação estrutural em Boston e Jersey City apresenta valores muito próximos, respectivamente 8,9/1 e 8,8/1, já

Los Angeles apresenta uma relação significativamente diferente: 1,3/1. Aparentemente, a relação encontrada em Boston e Jersey City deve estar mais próxima de uma relação adequada do que aquela presente em Los Angeles. Este possível desequilíbrio entre tipos de informação é uma outra possibilidade explicativa para as dificuldades de organização das informações reportadas para Los Angeles.

Embora de modo muito preliminar, uma primeira estimativa do que seria um aumento na disponibilidade informacional satisfatória, insuficiente ou excessiva poderia ser traçado a partir dos valores obtidos nas três cidades. Ganhos como aqueles apresentados por Jersey City seriam insuficientes para garantir uma boa qualidade de sua imagem pública, enquanto que ganhos similares aos de Boston aparentemente seriam adequados. Proporcionalidades entre informações locais e informações globais como as encontradas em Boston e Jersey City parecem mais adequadas para o bom funcionamento da cognição do que as presentes em Los Angeles. Testes com um número mais significativo de cidades são necessários para determinar a validade destes parâmetros.

7.1.2 Compressão espacial e acessibilidade cognitiva

As representações mentais do ambiente tornam possível o estabelecimento de associações entre locais geograficamente distantes com um número relativamente reduzido de passos ou informações associativas, facilitando a apreensão do espaço urbano como um todo. A facilitação na apreensão da estrutura urbana pode ser descrita em termos de compressão espacial e acessibilidade cognitiva que a ordem simbólica introduz no sistema urbano.

Denominamos de compressão espacial a redução nas dimensões da rede urbana resultante da estruturação cognitiva contida na ordem simbólica. As diferenças nas dimensões da rede podem ser observadas pela variação das medidas de Diâmetro, Raio e Caminho Mínimo Característico (L) nos grafos representando o sistema urbano e ordem simbólica.

A acessibilidade cognitiva diz respeito ao padrão de acessibilidade da rede urbana considerando-se as facilidades de alcançar os demais vértices usando as novas associações ou “atalhos” gerados pela cognição ambiental. A descrição da

acessibilidade cognitiva é feita a partir da comparação dos padrões de distribuição estatística e espacial das medidas baseadas em distância para as redes da ordem simbólica e dos espaços urbanos. Das medidas baseadas em distância, as de Excentricidade e Acessibilidade são as mais expressivas. A primeira por descrever as máximas distâncias mínimas para os vértices dentro da rede, e a segunda por ser a medida que melhor explicita o comportamento médio dos vértices em redes urbanas. As análises são realizadas com as medidas normalizadas de modo a permitir a comparação entre os grafos de ordens distintas.

	Boston	Jersey City	Los Angeles
Compressão espacial:	69,53 a 73,44%	34,69 a 52,52%	31,81 a 50%
D (espaço físico)	64	49	42
D' (ordem simbólica)	17	32	27
D - D'	47 (73,44%)	17 (34,69%)	15 (35,71%)
R (espaço físico)	32	27	22
R' (ordem simbólica)	9	16	15
R - R'	23 (71,88%)	11 (40,74%)	7 (31,81%)
L (espaço físico)	21,63	20,81	16,56
L' (ordem simbólica)	6,59	9,88	8,28
L - L'	15,04 (69,53%)	10,93 (52,52%)	8,28 (50%)

Tabela 08 – Quadro resumo da análise da compressão espacial descrita pelo Diâmetro (D), Raio (R) e Caminho Mínimo Característico (L). Dados para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles.

A compressão espacial apresenta diferenças marcantes entre cidades, tanto em termos da intensidade quanto na forma como ela acontece. No que diz respeito à intensidade, Jersey City e Los Angeles apresentam valores equiparáveis, enquanto Boston se distingue significativamente das duas por atingir quase o dobro de compressão espacial. Em termos da forma como esta ocorre, pode ser observado que em Boston as reduções na dimensão da rede urbana acontecem mais acentuadamente no diâmetro, ou seja, no sentido de reduzir as distâncias para os vértices que se encontravam mais distantes. Este comportamento indica que deve existir uma alteração no *ranking* dos vértices para a questão da minimização das distâncias. Já, em Jersey City e Los Angeles, as reduções são significativamente maiores quando analisadas pelo Caminho Mínimo Característico. O fato indica que as mudanças incidem mais nas distâncias médias entre os componentes, não implicando necessariamente em alterações expressivas no *ranking* dos vértices.

Acessibilidade cognitiva:		Boston	Jersey City	Los Angeles
E (espaço físico)	mínimo - máximo	0,0119 a 0,0238	0,0138 a 0,0250	0,0139 a 0,0264
	média	0,0169	0,0201	0,0201
	desvio padrão	0,0025	0,0021	0,0027
E' (ordem simbólica)	mínimo - máximo	0,0033 a 0,0062	0,0081 a 0,0161	0,0092 a 0,0166
	média	0,0045	0,0111	0,0120
	desvio padrão	0,0005	0,0015	0,0012
$\bar{E} - \bar{E}'$		0,0124	0,0090	0,0081
A (espaço físico)	mínimo - máximo	0,0351 a 0,1013	0,0433 a 0,0872	0,0523 a 0,1106
	média	0,0642	0,0677	0,0818
	desvio padrão	0,0095	0,0076	0,0126
A' (ordem simbólica)	mínimo - máximo	0,0942 a 0,2953	0,0547 a 0,2508	0,0645 a 0,2917
	média	0,1756	0,1269	0,1542
	desvio padrão	0,0341	0,0334	0,0432
$\bar{A}' - \bar{A}$		0,1114	0,0592	0,0724

Tabela 09 – Quadro resumo da análise da acessibilidade cognitiva pelo padrão de distribuição estatístico das medidas de Excentricidade (E) e Acessibilidade (A). Dados para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles.

As mudanças introduzidas pela cognição ambiental não se limitam à redução das distâncias dentro da rede, mas ocorrem no sentido de otimizar a acessibilidade cognitiva entre seus componentes. A análise do padrão estatístico das medidas baseadas em distância sugere que a ordem simbólica muda a estrutura urbana no sentido de facilitar a alcançabilidade dentro da rede para um maior número de vértices.

As mudanças na Excentricidade demonstram, além da redução significativa da média da rede, um aumento considerável da concentração das distribuições junto à média - conforme denunciado pela redução nos valores do desvio padrão (tabela 09). Há, portanto, uma redução nas diferenciações entre vértices para esta propriedade, fato este, característico de redes com a propriedade *small-worlds* (Vázquez *et al.* 2002).

Para a medida de Acessibilidade as mudanças são no sentido de ampliar as diferenciações entre vértices. Assim, a ordem simbólica consegue desempenhar um duplo papel no comportamento da rede: reduz as distâncias máximas, garantido uma melhor alcançabilidade geral e, ao mesmo tempo, introduz uma maior diferenciação entre os vértices para a alcançabilidade média, de modo a permitir uma maior hierarquização entre os vértices.

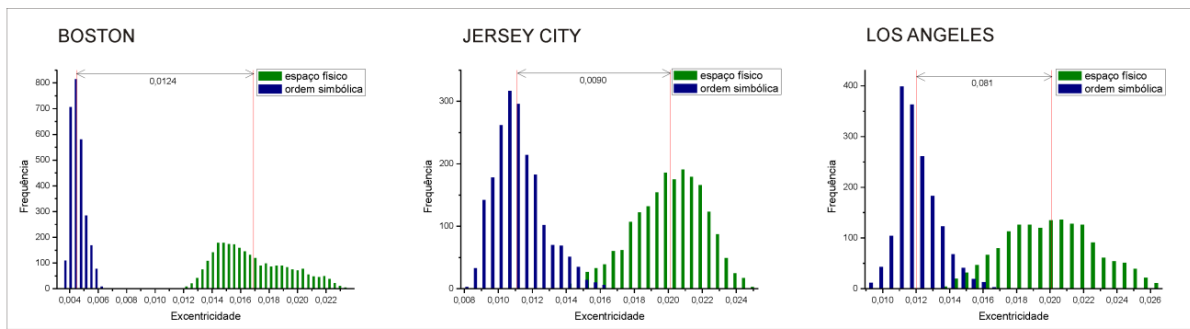


Figura 33 – Comparativo das freqüências de distribuição para a Excentricidade na rede urbana (verde) e ordem simbólica (azul). Linhas vermelhas verticais indicam os valores médios das redes. Dados para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles.

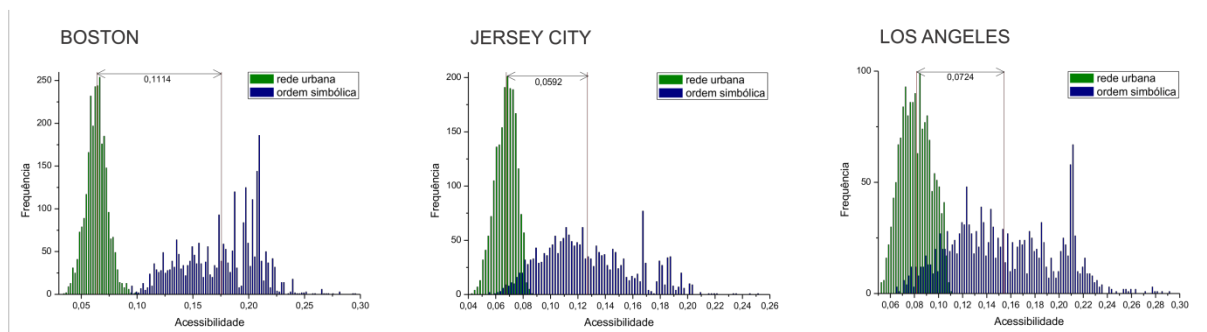


Figura 34 – Comparativo das freqüências de distribuição para a Acessibilidade na rede urbana (verde) e ordem simbólica (azul). Linhas vermelhas verticais indicam os valores médios das redes. Dados para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles.

As diferenças de desempenho entre cidades para a acessibilidade cognitiva também são expressivas. Estas diferenças podem ser avaliadas pela maior ou menor variação das médias entre o espaço físico e ordem simbólica, pela redução dos valores mínimos e máximos e pela diferença de amplitude no desvio padrão da Excentricidade nos grafos da ordem simbólica.

Baseado no comportamento estatístico das medidas é possível verificar que os maiores ganhos em acessibilidade cognitiva são obtidos pela cidade de Boston. As cidades de Los Angeles e Jersey City sempre apresentam desempenhos inferiores, onde Jersey City se sai um pouco melhor em termos das variações na Excentricidade e Los Angeles obtém um melhor desempenho na Acessibilidade.



Figura 35 – Alterações no padrão espacial da medida de Acessibilidade. Diagrama de dispersão por vértice referente aos valores da rede urbana x ordem simbólica, coeficiente de correlação de Pearson: 0,184. Dados de Boston.

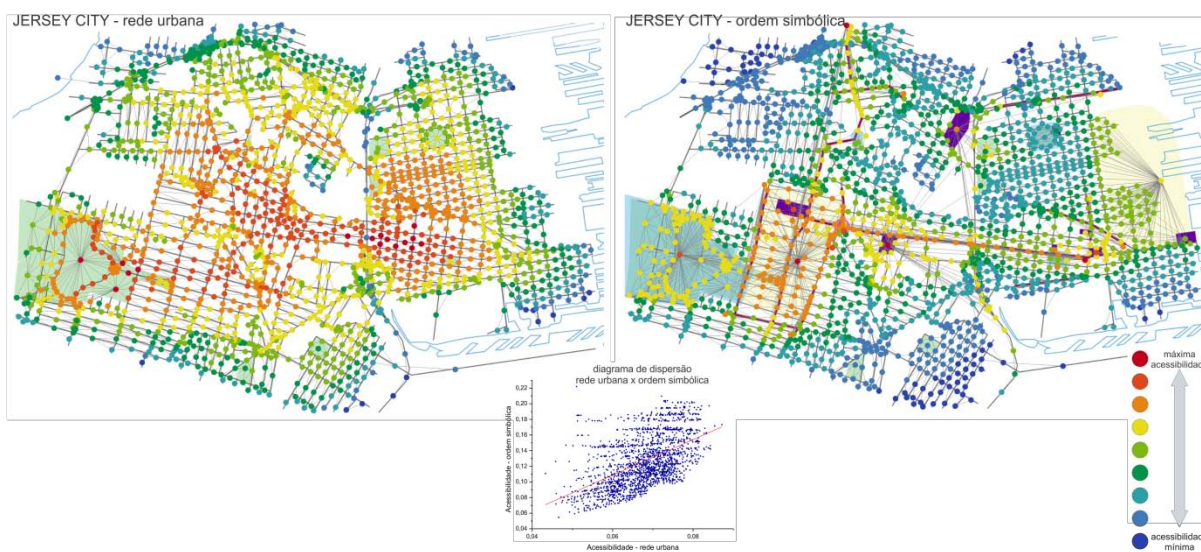


Figura 36 – Alterações no padrão espacial da medida de Acessibilidade. Diagrama de dispersão por vértice referente aos valores da rede urbana x ordem simbólica, coeficiente de correlação de Pearson: 0,531. Dados de Jersey City.

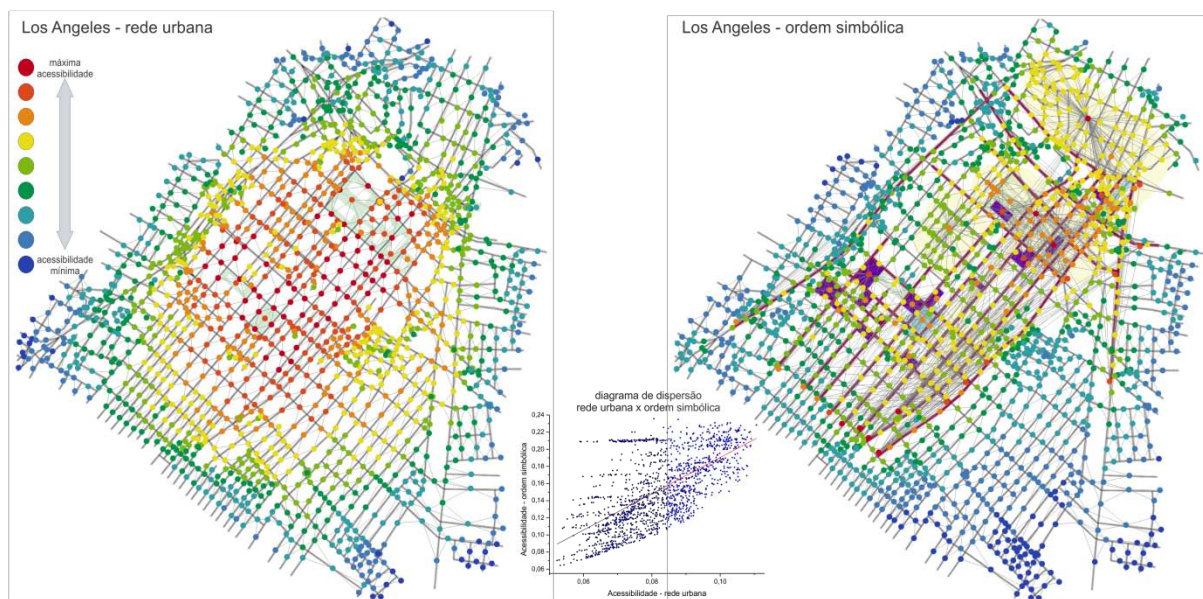


Figura 37 – Alterações no padrão espacial da medida de Acessibilidade. Diagrama de dispersão por vértice referente aos valores da rede urbana x ordem simbólica, coeficiente de correlação de Pearson: 0,647. Dados de Los Angeles.

A avaliação do padrão espacial das medidas, assim como o diagrama de dispersão da correlação entre os valores por vértice obtidos na rede urbana e na ordem simbólica confirmam o impacto diferenciado das mudanças na acessibilidade cognitiva por cidade.

Boston altera mais o *ranking* original dos vértices do que Jersey City e Los Angeles. Em Boston algumas regiões originalmente privilegiadas em termos de redução das distâncias, com a ordem simbólica, passam a exibir os valores mais baixos do sistema. Do mesmo modo, é possível observar localizações periféricas que passaram a mostrar valores bastante altos. Em Jersey City e Los Angeles as mudanças tendem a incrementar as qualidades dos vértices sem alterar significativamente seu *ranking* e, conseqüentemente, seu padrão de distribuição espacial. As regiões privilegiadas em termos de redução das distâncias na rede urbana seguem favorecidas na ordem simbólica.

É provável que os comportamentos distintos em termos do nível de mudança no *ranking* da Acessibilidade está sendo influenciado pela estrutura morfológica da rede espacial urbana, já que existe uma correlação entre o nível de alteração no *ranking* e o nível de regularidade da malha urbana, onde maiores regularidades estão associadas a menores diferenças de *ranking* - conforme atestado pelo

coeficiente de correlação de Pearson (valores nas legendas das figuras 35, 36 e 37, p. 185 - 186).

Para as mudanças referentes à compressão espacial e acessibilidade cognitiva podemos concluir que Boston apresenta um desempenho muito superior ao de Jersey City e Los Angeles. Estas duas podem ser consideradas como apresentando um desempenho muito similar, não sendo possível definir de forma precisa qual apresenta qualidades gerais melhores que a outra para este quesito.

O desempenho superior de Boston condiz com a melhor performance qualitativa de sua imagem pública, conforme definido por Lynch (1960), sugerindo que o nível de compressão espacial e acessibilidade cognitiva são características importantes na qualidade da ordem simbólica. Complementarmente, baseado na correlação entre a classificação qualitativa das imagens públicas de Jersey City e Los Angeles e seus desempenhos nas diferentes medidas, podemos colocar como hipótese que, para a acessibilidade cognitiva, melhorias no desempenho médio dos componentes da rede são mais importantes que as melhorias nos valores extremos, enquanto, para a compressão espacial, ocorre o inverso.

Uma observação mais atenta das características apresentadas por cada cidade indica que a capacidade da ordem simbólica "encolher" cognitivamente a estrutura urbana está relacionado a um conjunto de fatores que compõem em combinações variadas: a presença de unidades de informação com amplas dimensões geográficas; a quantidade e a extensão das unidades de informação lineares; e a interconectividade entre as unidades de informação. A existência de tantos fatores intervenientes, e seu comparecimento diferenciado por cidade, sugere que podem existir várias estratégias para se alcançar a compressão espacial e, muito provavelmente, estas variações estão vinculadas às características morfológicas e configuracionais do ambiente urbano. Estes resultados vão ao encontro de entendimentos como os de Tversky (1996; 483) sobre a estruturação dada às informações ambientais dependerem da configuração física do ambiente.

7.1.3 Mudanças no comportamento da rede

A alteração dos padrões de distribuição estatística de algumas características configuracionais da rede pode servir de indicativo do modo como a rede urbana

altera seu comportamento, ou funcionalidade geral, com a ordem simbólica. O conjunto de medidas usadas para descrever a forma topológica da rede, ao serem comparadas com aquelas associadas aos modelos teóricos, servem de parâmetro para determinar as prováveis características funcionais que o sistema urbano adquire com a ordem simbólica.

Forma topológica da rede		Boston	Jersey City	Los Angeles
Padrão distributivo do Grau do Vértice (k)				
k (espaço físico)	padrão distributivo	Gaussiano	Gaussiano	Gaussiano
	mínimo - máximo	1 - 26	1 - 31	1 - 9
	média	4,52	4,71	4,56
	desvio padrão	1,39	1,47	1,31
k (ordem simbólica)	padrão distributivo	c/ cauda pesada	c/ cauda pesada	c/ cauda pesada
	mínimo - máximo	1 - 267	1 - 102	1 - 110
	expoente α	2,362	2,419	3,243
Coeficiente de Agrupamento (γ)				
γ (espaço físico)		0,415	0,427	0,432
γ' (ordem simbólica)		0,491	0,455	0,455
Caminho Mínimo Característico (L)				
L (espaço físico)		21,63	20,81	16,56
L' (ordem simbólica)		6,59	9,88	8,28

Tabela 10 – Quadro resumo das medidas que descrevem a forma topológica da rede: Grau do Vértice (k); Coeficiente de Agrupamento (γ); Caminho Mínimo Característico (L). Dados de Boston, Jersey City e Los Angeles.

O comportamento do Coeficiente de Agrupamento e do Caminho Mínimo Característico sugerem que a ordem simbólica transforma a rede urbana numa *small-worlds*. Com isto, a estrutura urbana passa a exibir uma maior facilidade de relacionar as partes distantes da rede, conforme atestado anteriormente pela análise da compressão espacial. O padrão distributivo do Grau do Vértice indica que são os *hubs* ou *hubs* limitados (no caso, os vértices cognitivos) que garantem esta propriedade através de sua grande quantidade de conexões capazes de gerar caminhos curtos entre quaisquer elementos do sistema.

A variação no padrão distributivo do Grau do Vértice revela que a rede urbana originalmente apresenta um comportamento comparável ao de uma grelha semi-regular. Com a ordem simbólica, o sistema urbano passa a exibir um padrão distributivo com caudas bastante pesadas, sugerindo que o seu comportamento aproxima-se mais daquele condizente com uma rede livre de escala sujeita a estrangulamentos. Isto significa que o comportamento da rede passa a:

a) exibir uma maior estabilidade geral – ganhos em estabilidade significam que a estrutura adquirida com a ordem simbólica não é facilmente afetada nem por

alterações aleatórias e pontuais no sistema urbano ao longo do tempo, nem por falhas dos indivíduos no reconhecimento e inferência de alguns espaços físicos como pertencentes a uma dada unidade de informação⁵⁹. Isto equivale a dizer que as alterações reais ou na apreensão do espaço físico não têm uma propagação linear na ordem simbólica. Vazquez *et al.* (2005) atesta que, em redes com padrões distributivos deste tipo, é possível os subgrafos mudarem sem que a estrutura geral da rede seja alterada. Assim, as unidades de informação podem incorporar novos espaços e perder outros sem que a ordem simbólica como um todo seja afetada. A estabilidade só é quebrada quando as alterações passam de um limiar crítico. Por outro lado, a estabilidade da rede está condicionada à permanência dos *hubs* e suas conexões, ou seja, das entidades cognitivas que estruturam as unidades de informação conjuntamente com suas relações na supra-estrutura cognitiva. Esta característica confirma os entendimentos da área da cognição ambiental sobre a relativa estabilidade da imagem pública e o desempenho esperado para a ordem simbólica, conforme salientado na p. 110. A estabilidade também pode ser descrita enquanto robusteza, no sentido de que a rede é relativamente tolerante a erros ou falhas relacionados ao reconhecimento de seus componentes.

b) depende principalmente dos hubs limitados – a presença dos *hubs*, mesmo limitados, acarreta em mudanças na forma como a rede pode ser explorada. A exploração da rede passa a ser dominada pelos vértices mais bem conectados. Assim, as entidades cognitivas acabam por direcionar a exploração da rede urbana para determinados setores do sistema e, a alcançabilidade dos componentes da rede passa a ser influenciada pelo pertencimento e proximidade topológica com as unidades de informação.

c) apresentar uma maior hierarquização entre os vértices – o novo padrão de conectividade introduzido com os *hubs* vai alterar de forma significativa diversas características configuracionais dos vértices no sentido de ampliar as diferenças entre estes. Os expoentes da distribuição do Grau do Vértice na ordem simbólica indicam o nível de heterogeneidade introduzida, onde expoentes menores indicam maiores heterogeneidades. Com o aumento da heterogeneidade a distribuição das propriedades da rede torna-se mais desigual e a estrutura adquire maior hierarquização interna. No que diz respeito às propriedades baseadas nas distâncias

⁵⁹ Cabe ressaltar que os ganhos em estabilidade não significam que o sistema esteja em equilíbrio.

e na intermediação entre componentes, o incremento na diferenciação entre vértices torna mais seletiva a participação privilegiada dentro da rede.

A análise destas características nas três cidades estudadas indicou que a funcionalidade geral da rede referente à ordem simbólica apresenta variações na intensidade das novas características, assim como algumas especificidades estruturais por cidade, conforme vem descrito a seguir.

7.1.3.1 Estabilidade da rede

Na avaliação da estabilidade da rede foram encontradas variações estruturais quanto a importância relativa de cada tipo de unidade de informação para esta característica. A verificação do tipo de unidade de informação presente nos 10 vértices com o maior k sugere que em Boston a estabilidade da ordem simbólica está associada à manutenção das unidades de informação tipo áreas (60% dos *hubs*), em Los Angeles depende mais das unidades de informação lineares (40%) e, em Jersey City, está mais atrelada aos marcos referenciais (40%). As diferenças entre cidades aparentemente indicam a existência de diferentes possibilidades no uso das unidades de informação para garantir a estabilidade da ordem simbólica.

	Composição dos 10 vértices de maior Grau do Vértice por tipo de unidade de informação			
	lineares	área	marcos referenciais	lugares
Boston	10%	60%	30%	-
Jersey City	30%	20%	40%	10%
Los Angeles	40%	30%	30%	-

Tabela 11 – Descrição da composição dos 10 vértices de maior Grau do Vértice (k) por tipo de unidade de informação nas cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles.

A dependência em marcos referenciais para garantir a estabilidade da ordem simbólica observada em Jersey City está associada a arquiteturas com ampla visualização na paisagem urbana. É possível que a inclusão destes marcos referenciais nas representações mentais seja uma forma de compensar os grandes vazios detectados nestas (Lynch, 1960: 26; 29). Surpreendentemente, não há nenhum comentário de Lynch sobre a provável importância destas unidades de informação para Jersey City, embora ele reconheça de forma genérica que as informações ambientais possam ser organizadas a partir de um conjunto de unidades de informação pontuais (*ibid.*: 7).

Os tipos de unidades de informação dominantes na estabilização da rede para Boston e Los Angeles condizem com as observações de Lynch quando este enfatiza a importância das áreas em Boston (*ibid.*: 16-17; 22; 66-67) e das vias em Los Angeles (*ibid.*: 44).

A análise da estabilidade da rede sugere que a importância atribuída aos diferentes tipos de unidades de informação não está atrelada ao número total de cada tipo - em todas as cidades as unidades de informação mais numerosas são as lineares - mas sim a quais seriam os principais responsáveis pela estabilidade da ordem simbólica.

7.1.3.2 Dependência nos *hubs* limitados

A importância dos *hubs* no funcionamento da rede pode ser confirmada pelo seu papel desempenhado na compressão espacial, onde existe uma correlação direta entre o valor de k máximo e o valor da compressão alcançada. Também na acessibilidade cognitiva pode ser confirmada a relação direta entre k máximo e a redução e concentração junto à média dos valores da Excentricidade, assim como nos ganhos da Acessibilidade média da rede⁶⁰.

Outro aspecto relacionado com a importância dos *hubs* para o funcionamento da rede é o nível de interferência destes na eficiência da conectividade geral da rede, conforme definido pela medida Centralidade por Informação.

A medida apresenta um padrão distributivo com caudas bastante pesadas tanto nas redes representando o espaço físico, quanto naquelas referentes à ordem simbólica e, portanto, seu comportamento pode ser descrito pelos expoentes ou parâmetros escalares estimados das caudas⁶¹. A variação no expoente que descreve a rede urbana e a ordem simbólica dá uma idéia de quanto o funcionamento da rede passa a depender dos *hubs*. Quanto maior a redução no

⁶⁰ A comparação dos valores de k máximo (tabela 10, p. 175) com os valores de compressão espacial e acessibilidade cognitiva (tabelas 08 e 09, p 169) indicam que um k máximo duas vezes maior corresponde ao dobro da compressão espacial, o dobro de ganhos em Acessibilidade média e uma Excentricidade média quase duas vezes menor e com um desvio padrão significativamente reduzido.

⁶¹ Estes e todos os demais expoentes utilizados neste capítulo foram estimados através do método de *maximum likelihood* implementados por Clauset e Shalizi no software Matlab (disponível em www.santafe.edu/~aaronc/powerlaws/) e demais procedimentos complementares descritos em Clauset *et al.* (2009). Embora se tenha obtido as estimativas dos expoentes que melhor descrevem as distribuições, os resultados não permitem afirmar categoricamente quais os padrões distributivos encontrados devido ao tamanho reduzido dos sistemas analisados.

expoente referente à rede da ordem simbólica, maior a interferência dos vértices cognitivos na eficiência do padrão global de conectividade e, portanto, maior a dependência da rede no papel desempenhado pelos mesmos.

Dependência nos <i>hubs</i>		Boston	Jersey City	Los Angeles
Medidas baseadas na interferência no desempenho da rede				
C_i (espaço físico)	mínimo - máximo	$4,05e^{-4} - 3,72e^{-2}$	$6,5e^{-4} - 1,27e^{-2}$	$8,07e^{-4} - 7,83e^{-3}$
	Q1 - mediana - Q3	$7,3e^{-4} - 8,6e^{-4} - 1,0e^{-3}$	$1,0e^{-3} - 1,2e^{-3} - 1,4e^{-3}$	$1,2e^{-3} - 1,5e^{-3} - 1,9e^{-3}$
	expoente α	3,614	3,650	3,970
C_i (ordem simbólica)	mínimo - máximo	$3,87e^{-4} - 7,64e^{-2}$	$4,33e^{-4} - 0,12$	$5,12e^{-4} - 6,23e^{-2}$
	Q1 - mediana - Q3	$6,4e^{-4} - 7,8e^{-4} - 8,6e^{-4}$	$8,8e^{-4} - 1,1e^{-3} - 1,3e^{-3}$	$1,0e^{-3} - 1,3e^{-3} - 1,7e^{-3}$
	expoente α	1,943	3,396	2,562
$C_i \alpha - \alpha'$		1,671	0,254	1,408

Tabela 12 – Quadro resumo do comportamento da medida normalizada de Centralidade por Informação (C_i) na rede urbana e na ordem simbólica. Onde o expoente α é o parâmetro escalar estimado das caudas das distribuições. Dados para Boston, Jersey City e Los Angeles.

Para as redes do espaço público os expoentes estimados são bastante similares, sugerindo um comportamento relativamente uniforme entre os diferentes sistemas urbanos. Porém, na ordem simbólica, as diferenciações são significativas, indicando que a ordem simbólica é distinta entre cidades em termos da interferência produzida pelos vértices cognitivos nas características de conectividade global da rede.

Os dados sugerem que o nível de dependência do funcionamento da rede nos *hubs* é uma característica positivamente relacionada com a qualidade da ordem simbólica. A classificação qualitativa dada por Lynch (1960) para as três cidades está positivamente correlacionada tanto com o nível de dependência nos *hubs* (expresso pelo valor do expoente na ordem simbólica), quanto com o nível de interferência atingido (definido pela redução do expoente). Assim, tudo indica que quanto maior a capacidade de interferência dos vértices cognitivos no padrão global de conectividade da rede, maior a qualidade da ordem simbólica.

7.1.3.3 Hierarquização do sistema

A hierarquização interna adquirida com a ordem simbólica é denunciada pela mudança no padrão distributivo do Grau do Vértice (tabela 10, p. 188), pelo aumento na amplitude dos valores e no desvio padrão da Acessibilidade (tabela 09 p. 183) e pela redução no expoente que descreve a distribuição da Centralidade por Informação (tabela 12, p. 192). Mas, as medidas que mais bem expressam a

hierarquização introduzida com a ordem simbólica são aquelas que descrevem as características de intermediação entre os componentes da rede, ou seja, as medidas de centralidade⁶².

O padrão distributivo apresentado pelas medidas de centralidade dá uma idéia do nível de concentração das interações indiretas dentro da rede nos seus componentes. Quanto menor o expoente que descreve as caudas pesadas destas distribuições, maior a concentração dos percursos sobre um número mais restrito de vértices e, por conseqüência, maior o nível de desigualdade entre os componentes e de hierarquização no sistema.

Enquanto o valor do expoente define o nível de hierarquização presente em cada rede, a variação nos expoentes referentes às redes da ordem simbólica e espaço físico expressa o grau de hierarquização introduzido no sistema. Quanto maior a diferença entre os expoentes do espaço físico e ordem simbólica, no sentido da redução deste último, maior o nível de hierarquia introduzido no sistema urbano com a ordem simbólica.

Hierarquização interna		Boston	Jersey City	Los Angeles
Medidas baseadas na intermediação entre componentes				
C_P (espaço físico)	mínimo - máximo	0 - 0,44	0 - 0,15	0 - 0,17
	Q1 - mediana - Q3	$6,9e^{-4}$ - $2,1e^{-3}$ - $6,5e^{-3}$	$1,3e^{-3}$ - $4,2e^{-3}$ - $1,2e^{-2}$	$1,2e^{-3}$ - $3,6e^{-3}$ - $1,1e^{-2}$
	expoente α	2,248	3,081	2,769
C_P (ordem simbólica)	mínimo - máximo	0 - 0,33	0 - 0,47	0 - 0,24
	Q1 - mediana - Q3	$3e^{-6}$ - $2,5e^{-4}$ - $1,1e^{-3}$	$2,6e^{-4}$ - $1,2e^{-3}$ - $3,1e^{-3}$	$1,8e^{-4}$ - $1,0e^{-3}$ - $2,9e^{-3}$
	expoente α	2,111	2,021	1,968
$C_P \alpha - \alpha'$		0,137	1,06	0,801
C_T (espaço físico)	mínimo - máximo	$7,5e^{-5}$ - $5,8e^{-2}$	$1,26e^{-4}$ - $2,2e^{-2}$	$1,79e^{-4}$ - $3,3e^{-2}$
	Q1 - mediana - Q3	$3,5e^{-4}$ - $8,0e^{-4}$ - $2,0e^{-3}$	$6,2e^{-4}$ - $1,6e^{-3}$ - $3,9e^{-3}$	$7,2e^{-4}$ - $1,6e^{-3}$ - $3,6e^{-3}$
	expoente α	2,774	4,462	3,372
C_T (ordem simbólica)	mínimo - máximo	$1,87e^{-4}$ - 1,16	$1,54e^{-4}$ - 0,17	$2,15e^{-4}$ - 0,13
	Q1 - mediana - Q3	$3,6e^{-4}$ - $5,8e^{-4}$ - $1,2e^{-3}$	$5,1e^{-4}$ - $1,0e^{-3}$ - $2,1e^{-3}$	$6,8e^{-4}$ - $1,3e^{-3}$ - $2,3e^{-3}$
	expoente α	2,272	2,350	2,229
$C_T \alpha - \alpha'$		0,502	2,112	1,143
C_{FK} (espaço físico)	mínimo - máximo	$7,5e^{-5}$ - $5,5e^{-2}$	$1,26e^{-4}$ - $1,81e^{-2}$	$1,79e^{-4}$ - $2,55e^{-2}$
	Q1 - mediana - Q3	$2,4e^{-4}$ - $2,7e^{-4}$ - $1,1e^{-3}$	$3,9e^{-4}$ - $8,2e^{-4}$ - $1,8e^{-3}$	$5,0e^{-4}$ - $9,6e^{-4}$ - $2,2e^{-3}$
	expoente α	2,433	3,451	2,709
C_{FK} (ordem simbólica)	mínimo - máximo	$1,8e^{-4}$ - 0,13	$1,54e^{-4}$ - 0,14	$2,15e^{-4}$ - 0,08
	Q1 - mediana - Q3	$3,4e^{-4}$ - $4,1e^{-4}$ - $6,9e^{-4}$	$4,2e^{-4}$ - $6,5e^{-4}$ - $1,2e^{-3}$	$5,7e^{-4}$ - $8,0e^{-4}$ - $1,4e^{-3}$
	expoente α	2,378	2,248	2,245
$C_{FK} \alpha - \alpha'$		0,055	1,203	0,464

Tabela 13 – Quadro resumo do comportamento das medidas normalizadas de Centralidade por Perpasso (C_P), Centralidade por Campo de Tensões (C_T) e Centralidade Freeman-Krafta (C_{FK}) na rede urbana e na ordem simbólica. Onde o expoente α é o parâmetro escalar estimado das caudas das distribuições. Dados para Boston, Jersey City e Los Angeles.

⁶² O uso de medidas de centralidade na definição de hierarquização interna em redes, embora com outro contexto e critérios, já foi aplicado por Vázquez *et al.* (2002).

A rede referente ao espaço urbano apresenta diferenças expressivas para os expoentes que descrevem a distribuição das medidas de centralidade, indicando que o nível de hierarquização da estrutura espacial urbana é distinto por cidade. Apesar destas diferenças, em todas as cidades, a ordem simbólica altera o padrão distributivo das medidas no sentido de reduzir os expoentes que descrevem as caudas pesadas.

A redução nos valores dos expoentes referentes a rede da ordem simbólica indica que as representações mentais introduzem uma nova hierarquização no sistema urbano. Nesta, os vértices cognitivos atuam no sentido de concentrar o poder de influenciar nas interações da rede num número mais restrito de vértices.

Para a cognição ambiental isto significa que a estrutura introduzida com a ordem simbólica, de certa forma, reduz as probabilidades de contato com os vértices menos representativos da rede, enquanto reforça as potenciais interações com seus vértices privilegiados. Os deslocamentos pela rede (reais ou cognitivos) tendem a se concentrar sobre, ou junto, às unidades de informação constituídas⁶³. Uma das conseqüências previstas para a dinâmica do sistema é que a estrutura cognitiva existente é mais facilmente perpetuada, visto que a construção de novas unidades de informação fica dificultada pela redução das probabilidades de contato com outras regiões da rede.

Chama a atenção na análise dos expoentes referentes às redes da ordem simbólica o fato de que os mesmos apresentam valores muito similares, apesar das respectivas estruturas espaciais urbanas apresentarem valores com diferenças significativas. Estes resultados parecem indicar uma tendência da ordem simbólica convergir para um patamar similar de hierarquização. Aparentemente existe uma faixa de valores ($\alpha \approx 2$ a $2,3$) à qual a ordem simbólica remete, indicando um possível nível desejável de hierarquização nas informações ambientais para que as interações do indivíduo com o meio sejam funcionalmente facilitadas.

Os dados também sugerem que as diferenças entre cidades dizem respeito ao nível de hierarquização originalmente presente no espaço físico, e a quanto o padrão distributivo deste precisa mudar para atingir o patamar de hierarquização

⁶³ A afirmação está em acordo com o fato de que os indivíduos tendem, preferencialmente, a realizar os seus percursos cotidianos e a explorar o espaço urbano a partir da estrutura conhecida da cidade, ou seja, a partir das unidades de informação contidas nas representações mentais.

desejável. Aparentemente, quanto menor a variação necessária, maior a qualidade da ordem simbólica. Assim, aparece uma correlação negativa entre a qualidade da ordem simbólica e o nível de hierarquização introduzido. Isto equivale a dizer que um espaço físico que apresente um maior nível de hierarquização requer um menor esforço para atingir o patamar adequado de hierarquia na ordem simbólica e, com isso, a ordem simbólica tende a possuir uma melhor qualidade.

Para as três medidas de centralidade utilizadas o padrão observado nas cidades analisadas é o mesmo, indicando consistentemente que as mesmas são capazes de capturar o mesmo fenômeno. No entanto, a intensidade com que cada medida detecta o padrão observado é distinto, onde a medida Centralidade Freeman-Krafta consegue diferenciar mais entre cidades. Pode-se, portanto, considerar a medida Centralidade Freeman-Krafta como tendo um melhor desempenho neste quesito para a descrição das características configuracionais da ordem simbólica.

Os trabalhos de Goh *et al.* (2001) e Vázquez *et al.* (2002) têm indicado que expoentes $\alpha = 2,2 \pm 0,1$ para a Centralidade por Perpasso são uma característica universal para as redes livres de escala cujos expoentes para a distribuição de k ficam entre 2 e 3. Segundo estes trabalhos existe, portanto, uma correlação entre os padrões distributivos de k (tabela 10, p. 188) e os da Centralidade por Perpasso (tabela 13, p. 193). Os valores dos expoentes obtidos pelas três cidades confirmam esta correlação. Para a ordem simbólica o fato traz como conseqüência que muito provavelmente o tamanho e número de unidades de informação presentes numa determinada porção do ambiente urbano não é aleatório ou ditado exclusivamente pela disponibilidade informacional do ambiente, mas emerge como uma possível conseqüência das necessidades cognitivas de introduzir um nível adequado de hierarquia na estrutura urbana.

Os resultados observados contradizem o comportamento inicialmente esperado. Diferentemente do que se imaginava, as heterogeneidades e conseqüente hierarquização inseridas no sistema por meio das unidades de informação - com suas implicações sobre as características de navegabilidade da rede - não são um aspecto diferenciador das características qualitativas da ordem simbólica (p. 109). As mesmas parecem constituir um quesito invariante, estabelecido e necessário para a funcionalidade da cognição ambiental.

As características da estrutura espacial urbana em termos de hierarquização interna, de certa forma, vão ao encontro de observações como as de Lynch (1960), Kohlsdorf (1989), Passini (1992: 110) e Ramadier e Moser (1998) sobre a influência da estrutura espacial na legibilidade do ambiente. Aparentemente, quanto maior a hierarquização presente no ambiente urbano, maior tende a ser a legibilidade do mesmo. As características de hierarquização da estrutura urbana, conforme detectadas pelas medidas de centralidade, podem ser uma "assinatura" daquilo que se pode chamar de "legibilidade configuracional" do ambiente - em analogia à legibilidade definida por Lynch (1960: 3). Os dados analisados sugerem que sistemas urbanos com maiores níveis de hierarquização, ou legibilidade configuracional, levam - ou direcionam - melhor à extração e entendimento da informação ambiental relevante.



Figura 38 - Mapas da espacialização da medida Centralidade Freeman-Krafta nas redes referentes ao espaço físico urbano e ordem simbólica. Dados para Boston.

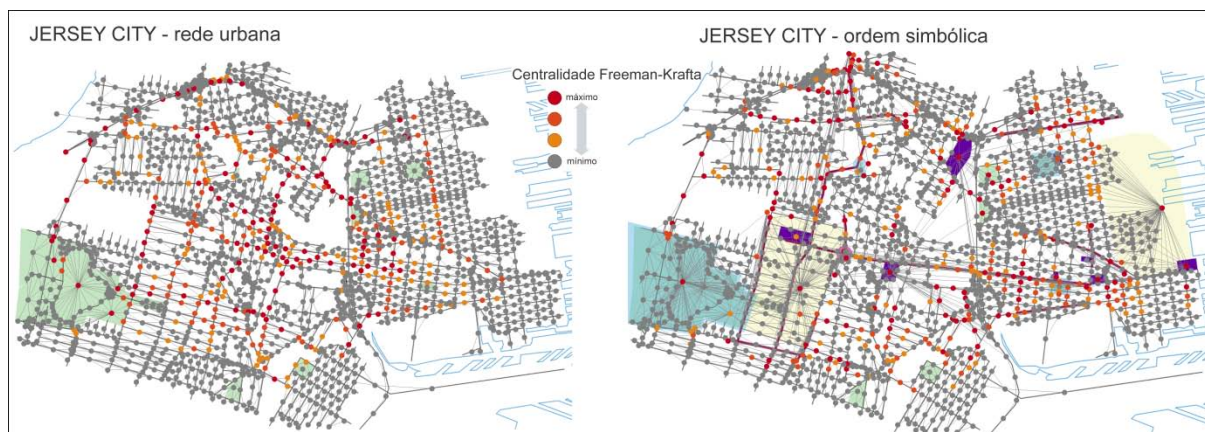


Figura 39 - Mapas da espacialização da medida Centralidade Freeman-Krafta nas redes referentes ao espaço físico urbano e ordem simbólica. Dados para Jersey City.

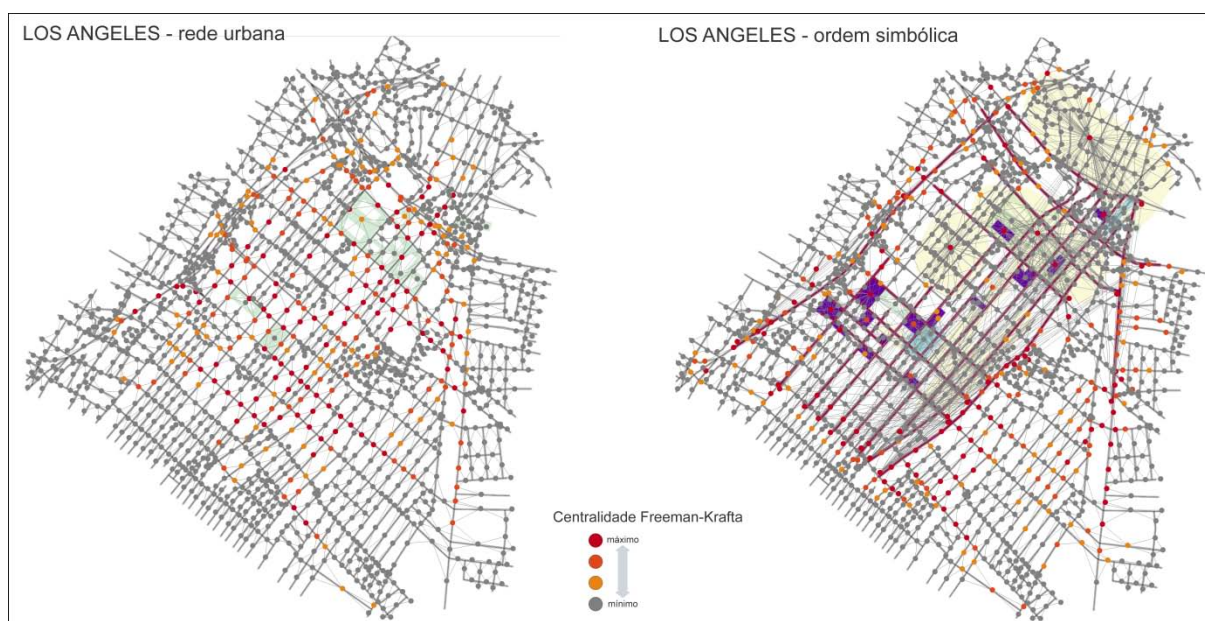


Figura 40 - Mapas da espacialização da medida Centralidade Freeman-Krafta nas redes referentes ao espaço físico urbano e ordem simbólica. Dados para Los Angeles.

A análise visual da espacialização das medidas de centralidade na rede do espaço urbano sugere que a hipótese levantada sobre a hierarquização e legibilidade configuracional direcionarem a seleção das unidades de informação é verdadeira. A presença de maior quantidade de unidades de informação na imagem pública coincide com as regiões urbanas nas quais aparecem os valores mais elevados de centralidade. Portanto, a localização das unidades de informação parece estar condicionada pela estrutura configuracional da rede de espaços urbanos.

Já a análise espacial da distribuição dos valores de centralidade na ordem simbólica aponta para o modo com a hierarquização nesta rede é alcançada. Os valores mais altos de centralidade ficam concentrados nos vértices cognitivos e se espalham na estrutura urbana, principalmente na forma de corredores. Estes corredores de valores altos ocorrem de duas formas: sobre os espaços físicos de algumas das unidades de informação lineares e seus prolongamentos e, em alguns poucos casos, gerando corredores um pouco mais difusos entre duas ou mais unidades de informação.

O padrão espacial observado evidencia o papel estruturador da cognição ambiental através das unidades de informação - que atraem para si a função de intermediários nas interações indiretas da rede, organizando as relações de macro escala e facilitando a navegação na rede. O funcionamento das unidades de informação lineares merece especial destaque, pois muitas destas também incluem seus espaços constituintes como elementos organizadores do sistema. Já, os casos em que os corredores não coincidem com os espaços físicos das unidades de informação lineares ocorrem em situações onde existem unidades de informação que estão próximas mas não se tangenciam ou, nas regiões menos estruturadas da rede, unindo unidades de informação relativamente distantes - gerando os corredores de valores altos sobre as grandes áreas vazias das imagens públicas.

Uma primeira interpretação do padrão espacial observado é de que a presença de corredores de valores altos fora das unidades de informação pode ser um indicativo de falhas estruturais nas representações mentais e nas imagens públicas e, portanto, seria um fator negativo. Nestas situações a criação de relações entre as unidades de informação unidas por esses corredores está condicionada pela possibilidade de explorar ativamente o espaço que as separa e, por conseguinte, requer um esforço adicional na sua construção. Por outro lado, o comportamento espacial observado está diretamente relacionado com a modularidade apresentada pela supra-estrutura cognitiva, conforme fica evidenciado pela comparação com as figuras 45 a 47 da p. 212-213 - o que suscita uma segunda possibilidade explicativa. Tendo em vista que as representações mentais podem ser consideradas sistemas abertos (conforme está na p. 109), e que os estudos da área cognitiva indicam que as descontinuidades nas representações mentais são uma constante, a fragmentação e a modularidade podem ser características inerentes e

necessárias às representações mentais. Funcionalmente pode ser importante conseguir dividir a estrutura urbana em regiões mais ou menos independentes. Dentro desta premissa, a presença dos corredores de valores altos fora das unidades de informação é uma decorrência dessa necessidade cognitiva, e não um problema estrutural da ordem simbólica. Avanços teóricos na área da cognição ambiental são necessários para se poder esclarecer esta questão.

7.1.4 Alterações na navegabilidade da rede

As características configuracionais da rede representando a ordem simbólica tais como os padrões distributivos do Grau do Vértice, Excentricidade e Acessibilidade, as reduções apresentadas pelo Diâmetro da rede e Caminho Mínimo Característico, a compressão espacial alcançada, o surgimento de conexões de longo alcance, a hierarquização da rede, assim como os diversos indícios de que a rede passa a se comportar como um *small-worlds*, todos confirmam que a navegabilidade da rede urbana é facilitada com a estruturação adquirida por meio da cognição ambiental. Aqui vamos examinar as implicações de algumas outras características configuracionais presentes na ordem simbólica para a navegabilidade da rede.

Características configuracionais da ordem simbólica		Boston	Jersey City	Los Angeles
Padrão distributivo do Grau do Vértice (k)				
Grau do Vértice	padrão distributivo	c/ cauda pesada	c/ cauda pesada	c/ cauda pesada
	mínimo - máximo	1 - 267	1 - 102	1 - 110
	expoente α	2,362	2,419	3,243
Profundidade Direcionada da rede				
Distância máxima a qualquer unidade de informação		7	14	16

Tabela 14 - Padrão distributivo do Grau do Vértice na ordem simbólica e a Profundidade Direcionada da rede em relação às unidades de informação. Dados para Boston, Jersey City e Los Angeles.

Nos tópicos anteriores foram destacadas diversas características que atestam a redução do número de passos topológicos (ou associações) necessários para alcançar qualquer ponto dentro das redes referentes à ordem simbólica. A redução das distâncias entre quaisquer espaços públicos é um modo possível de descrever as facilidades de navegação urbana introduzidas com a ordem simbólica. Uma forma mais precisa de representar esta característica configuracional associada a facilidade de explorar a rede urbana é a através da Profundidade Direcionada da rede em relação às unidades de informação, isto é, a distância máxima de qualquer

espaço urbano a uma região reconhecível ou estruturada da rede⁶⁴. A Profundidade Direcionada definida em relação às unidades de informação serve como uma aproximação de quanto "tempo" se pode ficar perdido, ou sem referência, ao navegar pelas regiões não identificadas da rede.

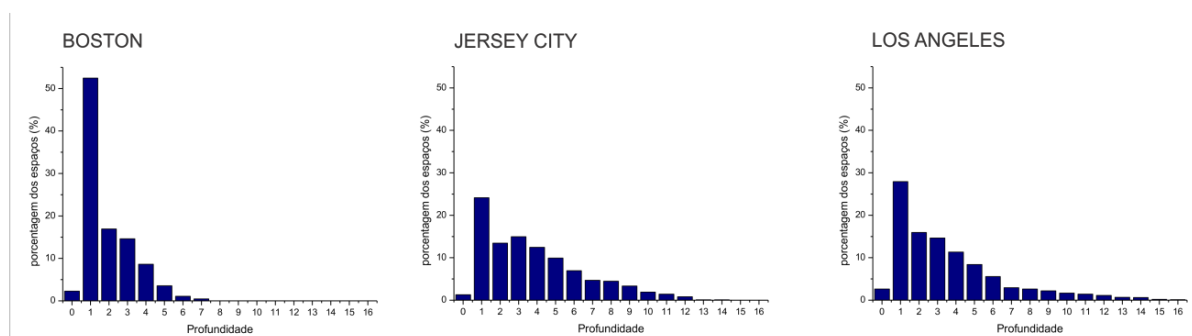


Figura 41 - Histogramas de freqüências, expressos em porcentagem, para a Profundidade Direcionada da rede em relação as unidades de informação. Dados para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles.

Para esta característica Boston apresenta um desempenho muito superior ao de Jersey City e Los Angeles: apenas 7 passos topológicos separam qualquer espaço físico de uma unidade de informação enquanto, para as duas outras cidades, são 14 e 16 passos, respectivamente. Os histogramas de freqüência expressos em porcentagem dos espaços urbanos por profundidade indicam que um dos motivos principais para este resultado é a quantidade de espaços diretamente abarcados pelas unidades de informação, isto é, aqueles com profundidade 1. Outro fator que contribui para as diferenças de desempenho é o padrão de distribuição espacial das unidades de informação.

Conforme fica evidenciado pelas figuras 42 a 44 apresentadas a seguir, o modo como as unidades de informação estão espalhadas pelo ambiente urbano é distinto por cidade. Los Angeles apresenta as unidades de informação fortemente concentradas, gerando um único núcleo de baixa profundidade. Boston possui as unidades de informação mais espalhadas, criando diversos núcleos de baixa profundidade. Jersey City também apresenta diversos núcleos, mas os mesmos estão mais concentrados sobre uma região da rede, à semelhança de Los Angeles.

⁶⁴ Existem outros fatores envolvidos na facilidade de encontrar caminhos além das distâncias topológicas a serem percorridas ou do número de associações requeridas, no entanto, os mesmos não serão abordados por requerem a descrição dos espaços urbanos por atributos, questão esta que foge ao escopo deste trabalho.

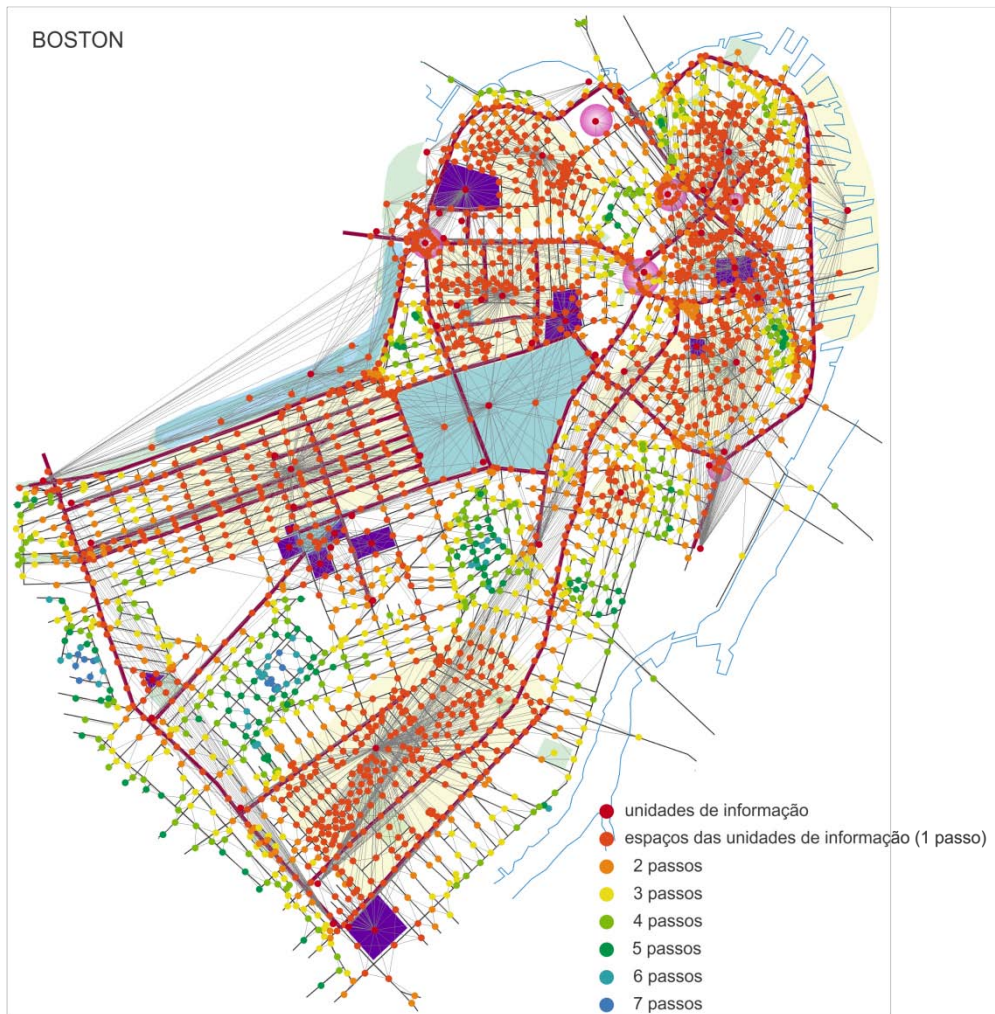


Figura 42 - Padrão espacial da Profundidade Direcionada da rede com relação às unidades de informação em Boston.



Figura 43 - Padrão espacial da Profundidade Direcionada da rede com relação às unidades de informação em Jersey City.



Figura 44 - Padrão espacial da Profundidade Direcionada da rede com relação às unidades de informação em Los Angeles.

A análise dos padrões espaciais da Profundidade Direcionada da rede indica que o pior desempenho de Jersey City e, principalmente, o de Los Angeles estão relacionados com as regiões de borda das redes. Apesar da possível influência do recorte dado aos sistemas, estas regiões localizadas próximas aos limites externos das áreas analisadas estão entre aquelas apontadas por Lynch (1960: 29; 35) como os espaços "desconhecidos", que não aparecem nas entrevistas tanto em Jersey City, quanto em Los Angeles. Para Boston as regiões "desconhecidas" encontram-se no interior da área analisada (*ibid.*: 20) e também foram detectadas pela análise da Profundidade Direcionada. Assim, embora as diferenças numéricas para a medida possam ser menores, pode-se dizer que Boston, uma vez estruturada cognitivamente, apresenta potencialmente maiores facilidades de navegação urbana do que Jersey City e Los Angeles.

Uma outra possibilidade de caracterizar a navegabilidade do espaço urbano com a ordem simbólica é a comparação de suas características configuracionais com os resultados de estudos que associam estas últimas ao desempenho obtido com algoritmos e estratégias de busca em redes. Embora a exploração de uma rede através de um algoritmo de busca não apresente uma relação direta com a exploração ativa do ambiente por um indivíduo, os resultados podem ser utilizados como indícios das características de navegabilidade de uma rede⁶⁵.

Nestes estudos, uma das características configuracionais tidas como relacionadas com a navegabilidade da rede é o expoente que descreve as distribuições do Grau do Vértice que seguem leis de potência. Ao analisarmos os expoentes estimados para as caudas das distribuições do Grau do Vértice na ordem simbólica é possível verificar que os mesmos variam significativamente entre cidades, novamente sugerido a existência de diferenças na navegabilidade das redes. Comparando os valores obtidos com as conclusões do estudo de Adamic *et al.* (2001) podemos fazer algumas conjecturas sobre a facilidade de navegação nas redes da ordem simbólica para as três cidades.

Conforme Adamic *et al.* (2001), em redes com leis de potência descritas por expoentes entre 2 e 2,3 as buscas que seguem estratégias locais, ou seja, que não possuem um conhecimento global da rede, são bastante eficientes. Já em redes onde o expoente se aproxima de 4 este tipo de exploração da rede é bastante dificultada. Nestes casos uma certa quantidade de informação global é requerida para que o desempenho na exploração da rede possa ser satisfatório. Assim, analisando o comportamento dos expoentes nas três cidades, podemos colocar que a ordem simbólica de Boston facilitaria mais a exploração da rede sem um conhecimento global de sua estrutura do que as ordens simbólicas de Jersey City e Los Angeles. Nesta última seria necessária uma quantidade significativa de informação global sobre a rede para realizar buscas com eficiência.

⁶⁵ A validade do paralelo traçado entre os resultados dos algoritmos de busca e a exploração ativa do ambiente está pautada pela similaridade entre os primeiros e as estruturas de leitura do ambiente utilizados nos modelos de simulação da cognição espacial tais como os elaborados por Kuipers (1978), McCalla *et al.* (1982), McDermott e Davis (1984), Leiser e Zilbershatz (1989), Gopal e Smith (1990), Han *et al.* (2008) e nos simuladores de mapas cognitivos de Yeap (1988), Baird e Wagner (1980), Chown *et al.* (1995). Estes modelos utilizam como suporte teórico tanto os trabalhos de Lynch (1960) e Piaget e Inhelder (1967), quanto estruturas de representação de informações visuais e topológicas formuladas por modelos como o de Marr (1982). Revisões sobre estes e outros modelos podem ser encontrados em Gopal e Smith (1990), Lemos (2000) e McDaniel (2010).

No entanto, se analisarmos a configuração morfológica dos espaços urbanos de Los Angeles, assim como as características dos componentes de sua ordem simbólica, podemos colocar que a informação global necessária para a exploração da rede está contemplada na ordem simbólica. Morfologias mais regulares, em grelha, naturalmente disponibilizam mais informação global sobre a rede devido a regularidade e a maior continuidade visual entre seus espaços constituintes - o que permite uma apreensão mais ampla da rede a partir de qualquer trecho de espaço público. Deste modo, a inclusão de unidades de informação lineares, que perpassam quase que toda a extensão do ambiente urbano, serviriam como uma compensação pelas dificuldades no uso de estratégias locais de exploração da rede ou, visto por outro ângulo, o motivo que leva ao relaxamento na necessidade de facilitar o uso de tais estratégias. A importância deste tipo de unidade de informação para a imagem pública de Los Angeles (Lynch, 1960: 36-43) pode estar associada a essa necessidade de prover informação global. Dentro desta mesma base explicativa, podemos colocar que as dificuldades na exploração da rede com estratégias locais podem estar relacionadas com a tendência de selecionar as vias com maior continuidade espacial como as principais unidades de informação lineares em Jersey City (*ibid.*: 29).

Aparentemente, a ordem simbólica de cada cidade está adaptada às possibilidades ou dificuldades de navegação oferecidas pela estrutura urbana. Uma interpretação possível para estes resultados é que morfologias distintas podem conduzir a estratégias distintas de estruturação do conhecimento ambiental e estar relacionadas com estratégias diferentes de navegação urbana, confirmando os entendimentos de trabalhos como os de Appleyard (1970a), Saarinen, (1976), Rapoport (1977; 119), Passini (1992; 130) e Tversky (1996). Por este motivo morfologias regulares em grelha não precisariam que suas ordens simbólicas evoluam no sentido de facilitar as buscas com estratégias exclusivamente locais. Já as redes mais irregulares, devido às dificuldades de apreensão direta da estrutura global, precisariam gerar ordens simbólicas que facilitem os uso de estratégias locais na exploração da rede⁶⁶.

⁶⁶ A análise de redes reais feita por Adamic *et al.* (2001) indica que, consistentemente, redes onde é necessário localizar informação ou distribuir informação sem que se tenha um conhecimento perfeito da estrutura global da rede tendem a apresentar expoentes que facilitam as buscas com os algoritmos de estratégia local.

7.2 As características configuracionais da supra-estrutura cognitiva

A avaliação das características configuracionais da supra-estrutura cognitiva visa esclarecer qual a estruturação presente entre as unidades de informação, e se existe uma correlação entre esta estrutura e a qualidade das imagens públicas de referência. Acredita-se que a análise da estrutura configuracional da supra-estrutura cognitiva é capaz de esclarecer alguns dos aspectos cognitivos envolvidos na formação das representações mentais, já que a mesma revela a estrutura presente nas imagens públicas. É esperado que a análise configuracional possa trazer alguns *insights* sobre as regras de organização da informação ambiental e indicar sua dependência na estrutura presente no sistema urbano. Como as cidades analisadas apresentam redes urbanas morfologicamente distintas, a presença de comportamentos similares entre cidades pode ser um indício de possíveis regras gerais na organização da informação ambiental, enquanto as diferenças provavelmente indicam aspectos dependentes das especificidades morfológicas.

A supra-estrutura da ordem simbólica será avaliada quanto ao nível de fragmentação e a fragilidade da sua estrutura a falhas em seus componentes, a redundância nas associações geradas, o nível de estruturação interna, a existência de modularidade e a presença de padrões recorrentes de associações entre as unidades de informação. Cada um destes aspectos é analisado em termos da similaridade no comportamento entre cidades e da correlação com a qualidade das imagens públicas reportada por Lynch.

7.2.1 Nível de fragmentação e fragilidade da estrutura

As características da conectividade do grafo representando a supra-estrutura da ordem simbólica podem indicar quão fragmentado é o conhecimento sobre o ambiente urbano e qual o nível de fragilidade da sua estrutura perante possíveis falhas no reconhecimento das unidades de informação e das relações mantidas entre estas. Acredita-se que tanto o nível de fragmentação quanto o de fragilidade estão associados às dificuldades de estruturar as informações ambientais de macro escala num todo coerente e, portanto, implicam em maiores ou menores dificuldades na navegação da rede urbana e em comunicar socialmente o conhecimento ambiental.

O número de componentes do grafo e as dimensões do componente principal descrevem o nível de fragmentação e evidenciam as discontinuidades presentes na ordem simbólica. Já a Conectividade de Arestas e de Vértices determinam, respectivamente, qual o número mínimo de associações e de unidades de informação cuja falha em serem reconhecidas acarretaria no aumento do número de componentes presentes na supra-estrutura cognitiva. O número de Pontes e de Vértices de Articulação indica quantos pontos de fragilidade significativa existem no grafo, onde a falha no reconhecimento de uma única associação ou unidade de informação será capaz de aumentar a fragmentação da ordem simbólica.

	Boston	Jersey City	Los Angeles
Fragmentação da supra-estrutura:			
Número de Componentes	4	3	1
% vértices no Componente Principal	95,24%	88,46%	100%
Fragilidade da supra-estrutura:			
Conectividade de Arestas	1	1	3
Conectividade de Vértices	1	1	3
Número de Pontes	3	7	0
% arestas que são Pontes	1,81%	17,95%	0%
Número de Vértices de Articulação	2	9	0
% vértices que são Vértices de Articulação	4,76%	34,62%	0%

Tabela 15 – Quadro resumo das características do grafo que descrevem o nível de fragmentação e fragilidade da supra-estrutura da ordem simbólica. Dados para Boston, Jersey City e Los Angeles.

Das três cidades analisadas, apenas Los Angeles não apresenta fragmentação na supra-estrutura da ordem simbólica. Pelo critério de número de componentes Boston apresenta a maior fragmentação, no entanto, Jersey City possui uma porcentagem maior de unidades de informação fora do componente principal. É possível que este último aspecto seja o responsável por Jersey City ser descrita por Lynch (1960: 29) como possuindo uma imagem pública fragmentada. Outra característica que possivelmente reforça essa impressão em Jersey City é o fato do número relativamente restrito de componentes depender das amplas regiões de visualização de alguns marcos referenciais arquitetônicos. Limitações nas áreas de visualização destes marcos aumentaria para 5 o número de componentes e reduziria para 80% o número de unidades de informação no componente principal.

Em termos da fragilidade apresentada pela supra-estrutura cognitiva, novamente Los Angeles apresenta o melhor desempenho. Neste quesito Jersey City possui o pior desempenho tanto pelo número de Pontes e Vértices de Articulação, quanto pela porcentagem de componentes sujeitos a esta fragilidade.

A comparação entre cidades mostra diferenças significativas entre estas e, de modo geral, indicou Jersey City como apresentando os maiores problemas em termos de fragmentação e fragilidade da supra-estrutura cognitiva, confirmando a baixa qualidade de sua imagem pública e as dificuldades de organizar o conhecimento sobre a cidade numa estrutura compreensível, unitária e coerente (*ibid.*: 15; 29). A inconsistência na correlação dos desempenhos de Boston e Los Angeles com a qualidade de suas imagens públicas pode ser melhor explicada pela análise do nível de redundância apresentada a seguir.

7.2.2 Nível de redundância nas associações

A redundância das associações presentes na supra-estrutura cognitiva pode ser avaliada pela possibilidade de relacionar qualquer par de vértices por diferentes percursos, não necessariamente mínimos. Uma forma de verificar esta característica é através do número de ciclos de diferentes comprimentos presentes na rede (Bianconi *et al.* 2005). De modo a permitir a comparação entre grafos de ordens distintas o nível de redundância nas associações está expresso pela razão entre o número de ciclos e o número de vértices.

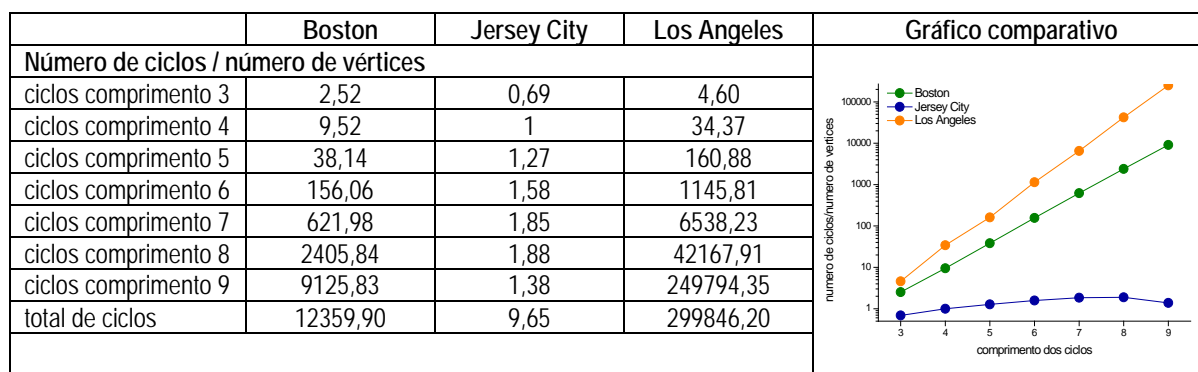


Tabela 16 – Número de ciclos da rede com comprimentos de 3 a 9 dividido pelo número de vértices na supra-estrutura cognitiva, para Boston, Jersey City e Los Angeles. Gráfico do comparativo do padrão de frequências dos ciclos por comprimento, onde as frequências estão em escala logarítmica. Em verde Boston, em azul Jersey City e em laranja Los Angeles.

As diferenças entre cidades para o nível de redundância definido através do número de ciclos são expressivas. Jersey City apresenta um número de ciclos por vértice várias ordens de magnitude menor que Boston e Los Angeles, além disso, diferentemente das outras duas cidades, o número de ciclos não cresce exponencialmente com o comprimento dos mesmos. Este comportamento denuncia estrangulamentos na estrutura do grafo que dividem a supra-estrutura cognitiva em

regiões com poucas conexões entre estas. Assim, a medida confirma as observações de Lynch (1960: 29) sobre Jersey City quanto à fragmentação presente nas representações mentais, a concentração das informações em pequenas regiões e a estrutura da cidade dividida em partes. Tanto a efetiva fragmentação da supra-estrutura cognitiva, quanto o baixo nível de redundância nas associações presentes na ordem simbólica muito provavelmente estão influenciando a falta de uma visão compreensiva sobre a cidade como um todo, conforme reportado por Lynch (*ibid.*).

Boston e Los Angeles apresentam um padrão exponencial para a relação entre comprimento e número de ciclos. Entretanto, as diferenças na taxa de crescimento e na quantidade de ciclos por vértice são bastante significativas. Los Angeles apresenta uma redundância nas associações muito maior e um crescimento expressivamente mais acentuado do que Boston. O comportamento indica que, enquanto Los Angeles aparentemente não possui subdivisões definidas por estrangulamentos na supra-estrutura, Boston deve apresentar algumas. É possível que esta falta de subdivisões na supra-estrutura de Los Angeles e/ou a redundância excessiva das associações sejam os fatores responsáveis pelo nível de confusão em termos de relações e posições específicas das unidades de informação, conforme observado por Lynch (1960: 34 e 37-38).

Para a cognição ambiental os resultados sugerem que existe um nível de redundância desejável para a imagem pública, possivelmente para garantir uma maior confiabilidade e permitir a flexibilização no uso das relações entre seus componentes⁶⁷. Baseado nos casos analisados podemos supor que, entre o padrão apresentado por Boston e aquele apresentado por Los Angeles, existe um limiar entre uma intensidade de redundância adequada e uma redundância excessiva que acarreta em dificuldades na organização das informações ambientais. Do mesmo modo, podemos colocar que provavelmente existe um ponto entre os padrões apresentados por Boston e Jersey City onde o nível de redundância nas

⁶⁷ O reconhecimento da necessidade de informação excedente nas representações mentais do ambiente urbano aparece em diversos trabalhos da área cognitiva, entre eles, o próprio Lynch (1960). Nestes trabalhos as redundâncias são atribuídas às funções utilitárias e funcionais das representações mentais.

associações passa a ser insuficiente para garantir a unidade e confiabilidade nas representações mentais do ambiente.⁶⁸

7.2.3 Estruturação interna

A análise comparativa do Coeficiente de Agrupamento (γ) apresentado pela rede da supra-estrutura cognitiva com aquele apresentado por uma rede aleatória equivalente⁶⁹ é um modo possível de descrever o nível de estruturação interna apresentado pela supra-estrutura cognitiva. Em outras palavras, define em que medida as conectividades entre seus componentes fogem da simples aleatoriedade.

O Coeficiente de Agrupamento médio de uma rede aleatória é definido como:

$$\langle \gamma \rangle_{rand} = \frac{\langle k \rangle}{N} \quad (22)$$

onde $\langle k \rangle$ é o Grau médio dos vértices e N é o número de vértices da rede.

	Boston	Jersey City	Los Angeles
$\langle \gamma \rangle_{real}$	0,4675	0,4305	0,4137
$\langle \gamma \rangle_{rand}$	0,0893	0,1269	0,2055
$\langle \gamma \rangle_{real} - \langle \gamma \rangle_{rand}$	0,3782	0,3036	0,2082

Tabela 17 - Comparativo entre o Coeficiente de Agrupamento médio da supra-estrutura cognitiva e uma rede aleatória equivalente para as cidades de Boston, Jersey City e Los Angeles.

O comparativo indica que o padrão de conectividade apresentado pelas três cidades é distinto de uma distribuição aleatória, em todas existem mais triangulações do que seria esperado. A maior estruturação interna aparece em Boston, seguido por Jersey City e Los Angeles apresenta o menor índice. A menor estruturação interna de Los Angeles pode estar relacionada com as dificuldades em determinar as posições relativas dos componentes da ordem simbólica (Lynch, 1960: 34 e 37-38).

⁶⁸ O trabalho de Buhl *et al* (2006) ajuda a suportar a hipótese levantada no sentido de que suas simulações mostram que a eficiência apresentada por uma rede aumenta com a inclusão de alguns ciclos, mas que a mesma rapidamente se satura, não sendo possível melhorar seu desempenho a partir de um determinado ponto. Já o trabalho de Rosvall *et al.* (2005), com simulações voltadas para a definição da quantidade de informação envolvida na navegação de redes com distintas características topológicas, corrobora na hipótese da existência de um limiar mínimo de ciclos, ou caminhos alternativos, requeridos para que haja uma redução significativa das dificuldades na navegabilidade das redes.

⁶⁹ Uma rede equivalente é uma rede que apresenta o mesmo número de vértices e de arestas que a rede de interesse.

A não aleatoriedade das conectividades presentes na supra-estrutura cognitiva indica que as associações existentes entre as unidades de informação acontecem seguindo algum princípio ou regra. As análises da modularidade e da presença de padrões recorrentes de associação apresentados na seqüência procuram esclarecer a forma como esta estruturação ocorre na rede da supra-estrutura cognitiva.

7.2.4 Modularidade

Os valores baixos da Conectividade de Arestas e de Vértices, o padrão de crescimento do número de ciclos conforme aumenta o comprimento dos mesmos, assim como os valores altos do Coeficiente de Agrupamento (Ravasz *et al.* 2002) e o nível de estruturação interna sugerem que a rede da supra-estrutura cognitiva provavelmente apresenta modularidade interna.

A presença de modularidade interna foi verificada com base na metodologia definida por Girvan e Newman (2002) e Newman e Girvan (2004)⁷⁰. A mesma parte do princípio de que, como a modularidade pressupõe a presença de agrupamentos de vértices densamente interconectados entre si e com poucas conexões com outros agrupamentos, haveria uma concentração desigual dos caminhos mínimos sobre as arestas da rede. A maior concentração destes caminhos mínimos estaria localizada nas arestas que servem de conexão entre os módulos e esta característica pode ser descrita pela medida de Centralidade por Peripasse calculada para as arestas do grafo.

A definição da modularidade consiste em duas etapas consecutivas. Na primeira etapa as arestas do grafo são removidas sucessivamente de modo a construir um dendograma seguindo os seguintes passos: a) a Centralidade por Peripasse das arestas é computado para a rede; b) a aresta de maior valor é removida; c) o valor da Centralidade por Peripasse das arestas é recalculada; d) as etapas *b* e *c* são repetidas até todas as arestas serem removidas. Na segunda etapa é definido qual ponto de corte no dendograma corresponde a melhor divisão da rede em módulos ou comunidades distintas. Para tanto é aplicada a medida denominada

⁷⁰ A escolha do método adotado deve-se aos resultados bastante satisfatórios do mesmo em redes pequenas e a facilidade de implementação do algoritmo, cujos módulos básicos estão disponíveis em <http://jung.sourceforge.net> Revisões sobre os métodos mais tradicionais de definição de modularidade ou estrutura de comunidades em redes pode ser visto em Newman e Girvan (2004).

Modularidade (Q) (Newman e Girvan, 2004; Newman, 2004), cujo valor é definido pelo número de arestas dentro dos módulos menos o número de arestas esperadas numa rede aleatória equivalente:

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{ij} \left[A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m} \right] \delta(c_i c_j) \quad (23)$$

onde m é o número de arestas da rede, A_{ij} assume o valor de 1 no caso de existir uma aresta entre i e j e 0 na ausência da aresta, k_i e k_j são os graus dos vértices i e j respectivamente, c_i e c_j são os módulos aos quais pertencem respectivamente os vértices i e j e a função δ assume valor 1 no caso de $c_i = c_j$ e assume o valor 0 (zero) no caso de $c_i \neq c_j$.

O ponto de corte onde Q assume o máximo valor é considerado a melhor divisão da rede em comunidades distintas e, quanto maior o valor, melhor a definição da modularidade, onde valores próximos ou superiores a 0,3 são considerados resultados de divisões significativas.

A análise da presença de modularidade nas três cidades detectou nas cidades de Boston e Jersey City uma subdivisão bastante clara das redes em módulos, com $Q=0,5224$ e $0,4744$ respectivamente. Já em Los Angeles a medida não detecta nenhum ponto de subdivisão com valor satisfatório, o valor máximo atingido é de $Q=0,2768$.

A espacialização da modularidade encontrada em Boston e Jersey City sugere que a mesma está condicionada principalmente pelos aspectos geográficos da rede. Os módulos detectados correspondem a regiões mais ou menos compactas do ambiente urbano, conforme por ser observado nas figuras 45 a 47 apresentadas a seguir. Em Los Angeles estas influências não são tão evidentes, embora não possam ser desconsideradas.

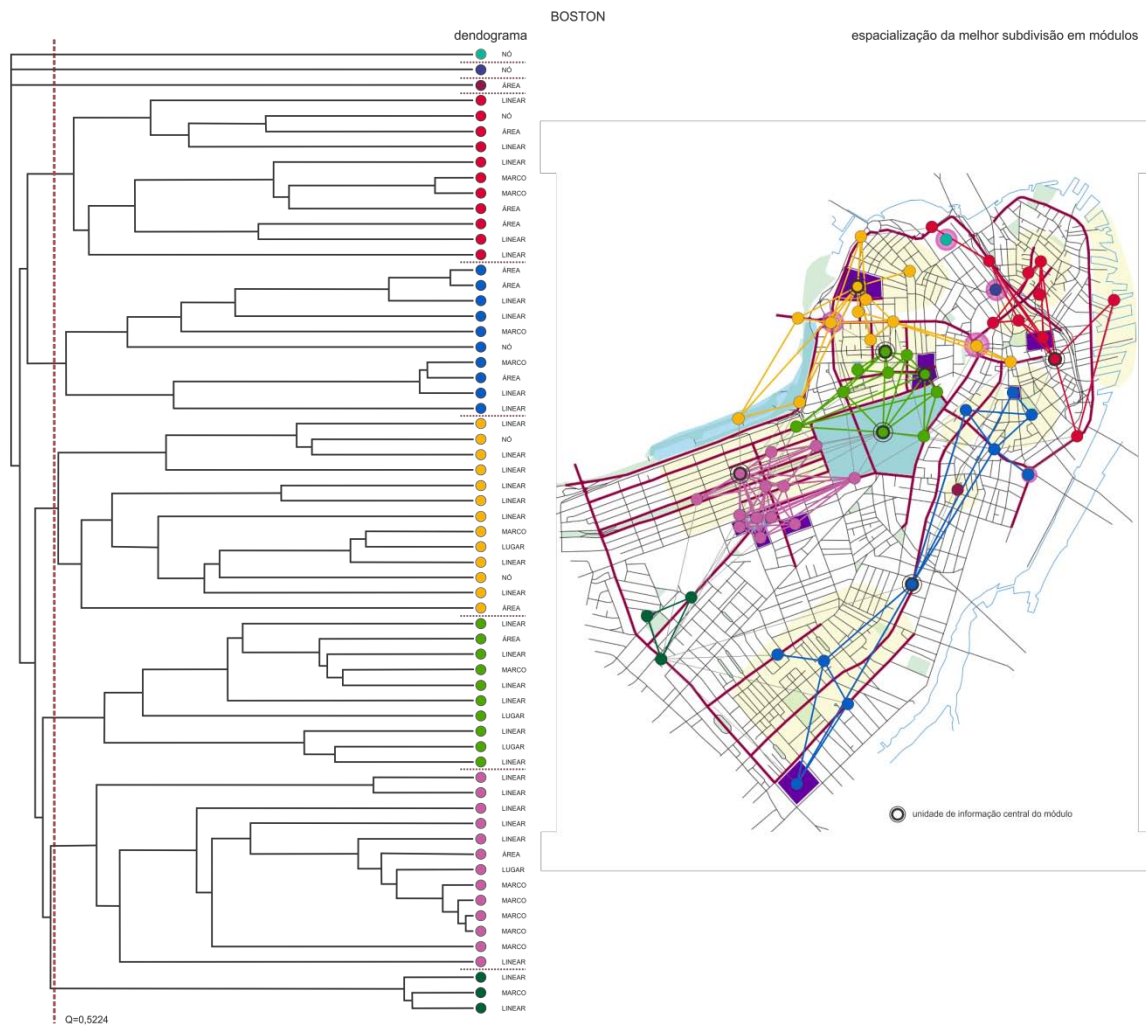


Figura 45 - Dendograma e espacialização da melhor subdivisão em módulos para Boston. No mapa os vértices que representam as unidades de informação centrais de cada módulo foram destacados.

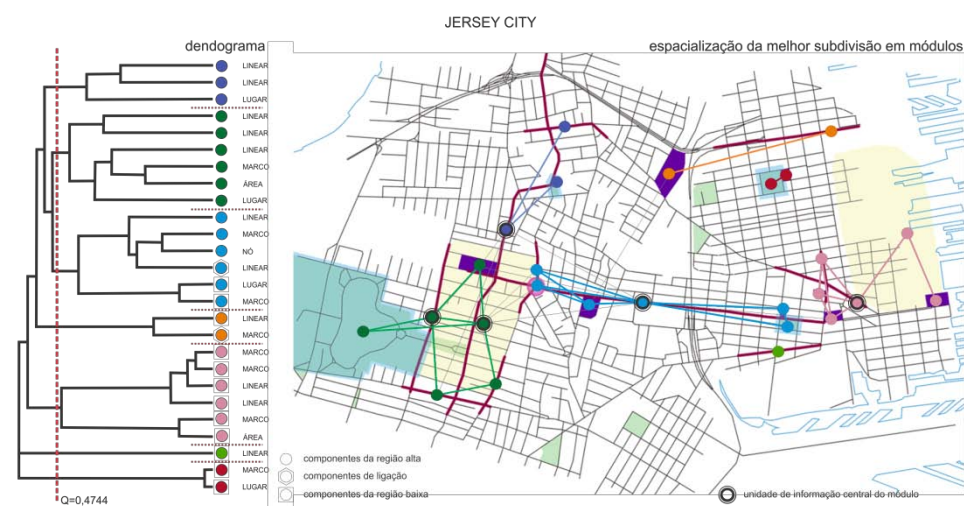


Figura 46 - Dendograma e espacialização da melhor subdivisão em módulos para Jersey City. No dendograma foram destacados os vértices pertencentes às duas regiões comentadas por Lynch (1960: 29) e os componentes responsáveis pela ligação entre ambas. No mapa os vértices que representam as unidades de informação centrais de cada módulo foram destacados.

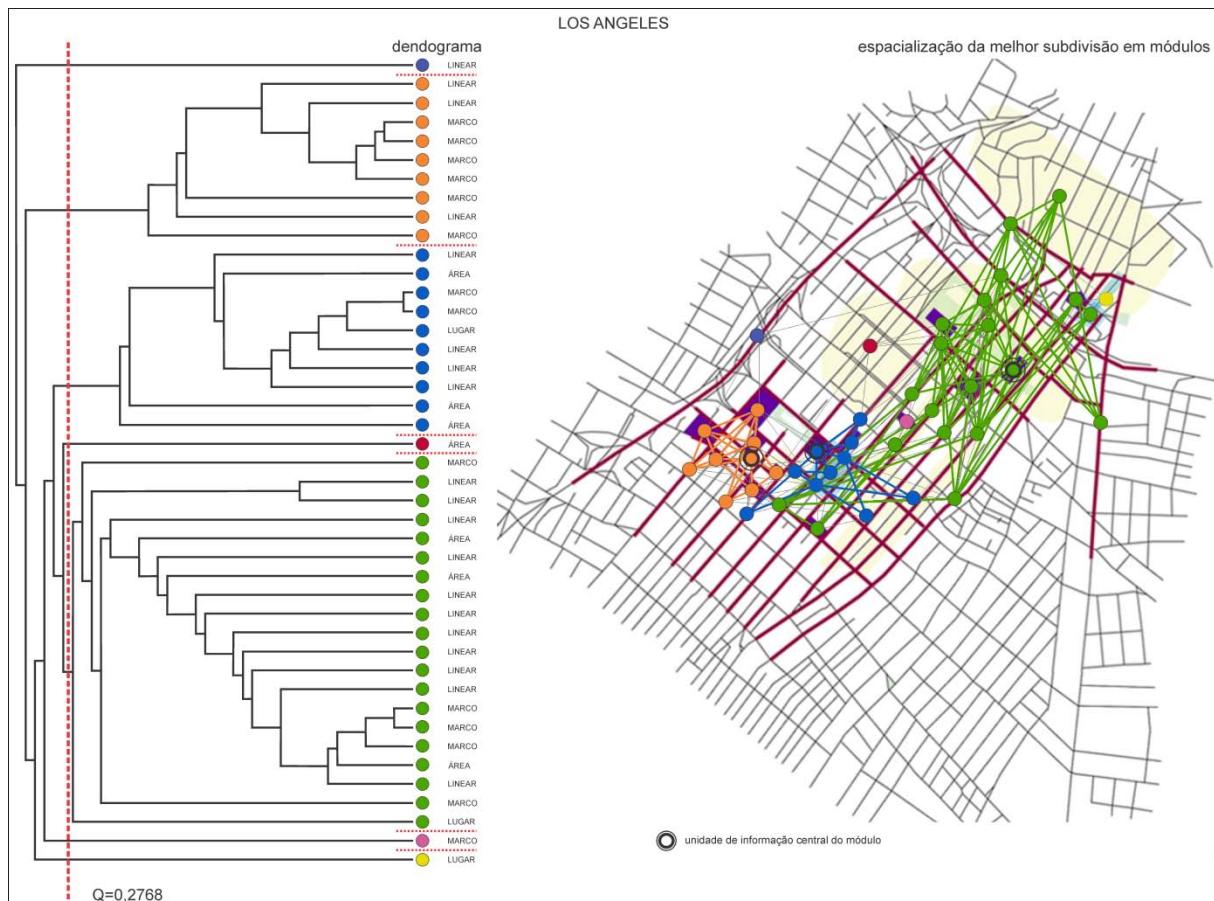


Figura 47 - Dendrograma e espacialização da melhor subdivisão em módulos para Los Angeles. No mapa os vértices que representam as unidades de informação centrais de cada módulo foram destacados.

Uma análise mais atenta dos diversos subgrafos detectados aponta para a presença majoritária de três padrões de organização interna dos módulos. A constância nos padrões e sua repetição nas três cidades parece indicar a existência de outros fatores além dos geográficos interferindo na formação dos módulos.

Os dados sugerem que podem existir explicações de ordem cognitiva para a presença de modularidade na rede, já que existem especificidades estruturais nos módulos conforme o tipo de unidade de informação central ou aglutinadora. A unidade de informação aglutinadora é aquela que apresenta o maior número de conexões com os demais componentes do módulo onde está inserida tendo, portanto, importante papel na estruturação do mesmo.

Nos módulos cujo componente aglutinador é uma unidade de informação tipo área ou pontual tipo lugar existe a tendência a que os mesmos apresentem delimitações geográficas mais compactas e seus componentes tendem a ser

densamente interconectados. Este tipo de módulo parece refletir estruturas de informação construídas a partir da exploração ativa de uma região da malha urbana e, com certa precisão, correspondem às regiões ou localidades com caráter forte apontadas por Lynch (1960: 17-22; 29). Estes módulos correspondem a localizações mais ou menos precisas dentro da rede e podem ser definidos como subestruturas de informações localmente estruturadas. Boston é a cidade com, proporcionalmente, a maior incidência deste tipo de módulo, confirmando a importância do caráter local na formação de sua imagem pública (*ibid.*: 22).

Nos módulos cujo componente aglutinador é uma unidade de informação linear os limites geográficos são mais difusos, o número de componentes do módulo é proporcionalmente menor, e as unidades de informação apresentam a tendência a estarem mais frouxamente interconectadas. Em geral, a unidade de informação aglutinadora conecta dois pedaços distintos da rede. Estes subgrafos parecem refletir estruturas de informação originadas através dos deslocamentos de longa distância pela malha urbana e, em geral, estão associados às regiões urbanas apontadas por Lynch (*ibid.*: 20; 26-29) como sendo descritas com menos precisão e detalhe pelos entrevistados. A hipótese levantada de que estes módulos seriam resultantes dos deslocamentos de longa distância e, portanto, provavelmente realizados por meio de transporte motorizado, ajudaria a explicar o menor detalhamento destas áreas urbanas⁷¹. Em Jersey City a única conexão entre as zonas alta e baixa da cidade, constantes da imagem pública (*ibid.*: 26), foi corretamente identificada dentro desta categoria e, a cidade, descrita como basicamente um local de passagem, é a que apresenta, proporcionalmente, a maior quantidade deste tipo de módulo.

Para os módulos onde a unidade de informação aglutinadora é um marco referencial arquitetônico o comportamento observado é de limites geográficos relativamente difusos e inter-conectividade entre os componentes de mediana a alta. A análise da distribuição das conectividades dentro deste tipo de módulo e sua conformação espacial nos leva a pensar na possibilidade de que o componente aglutinador está funcionando como agente de união na sobreposição de dois ou mais subgrafos que apresentam os mesmos padrões anteriormente descritos.

⁷¹ A influência do modo de locomoção na organização e características das representações mentais é apontada por Saarinen (1976; 7) e Rapoport (1977; 119), entre outros.

Portanto, muito provavelmente, este tipo de módulo seria o resultado da sobreposição de diversos subgrafos referentes a informações localmente estruturadas e/ou estruturadas por deslocamentos longos. Colaboram neste entendimento o fato dos componentes aglutinadores serem sempre marcos referenciais arquitetônicos cuja visualização é possível a longa distância, assim como a presença constante de duas a quatro outras unidades de informação com um nível de conectividade significativo dentro do módulo. Este padrão de módulo aparece em Boston e Los Angeles e, nesta última, é o padrão preponderante. Provavelmente a maior presença destes módulos em Los Angeles é favorecido por dois fatores: a quantidade de marcos referencias visíveis a longa distância ou localizados em esquinas; e a estrutura urbana em grelha que facilita a sobreposição e/ou união dos subgrafos centrados em unidades de informação lineares, que são os componentes mais importantes para a formação desta imagem pública (*ibid.*: 36-43).

A modularidade detectada em Boston e Jersey City, e a provável estrutura modular com sobreposições em Los Angeles, apontam no sentido da organização presente na supra-estrutura cognitiva ser a responsável pela ordem simbólica aumentar a flexibilidade, estabilidade e adaptabilidade da rede urbana. A suposição está baseada nas características atribuídas às redes com modularidade por Guimerá *et al.* (2004).

Os resultados sugerem que a modularidade detectada na supra-estrutura cognitiva apresenta relações tanto com os aspectos geográficos da rede quanto com os processo cognitivos envolvidos na cognição ambiental. Aparentemente existe uma relação entre o tipo de componente aglutinador e o modo como as associações entre os componentes são geradas. Embora a análise realizada ajude a entender e visualizar melhor a estrutura interna e o funcionamento da ordem simbólica, parecendo detectar dois tipos do que se poderia chamar de unidades funcionais cognitivas, o método adotado apresenta diversas limitações que restringem a qualidade de seus resultados⁷². Particularmente nos parece necessário a investigação com metodologias que permitam a detecção das modularidades

⁷² As limitações dizem respeito a impossibilidade de verificar a presença de modularidades com sobreposições e a uma tendência de subdividir a rede em módulos com aproximadamente o mesmo número de componentes. Esta última limitação deve-se a significativa dependência dos valores assumidos pela medida de Centralidade por Peripasse no número de componentes envolvidos.

parcialmente sobrepostas, já que a análise realizada sugere que este pode ser um evento freqüente para a ordem simbólica.

7.2.5 Padrões recorrentes de associação

A presença de modularidade na supra-estrutura cognitiva sugere que a estrutura da rede é construída a partir de unidades de organização menores, que vão se juntando ao longo do tempo no processo de construção das representações mentais. A investigação dos padrões de associação entre as unidades de informação pode ajudar a definir a natureza dessas unidades de organização básica que formam a ordem simbólica. A identificação dos padrões de associação pode auxiliar no entendimento de como são organizadas as informações durante a cognição ambiental, trazer alguns *insights* sobre a funcionalidade dos diferentes tipos de unidades de informação, sugerir complementaridades entre estes últimos e indicar estratégias específicas na organização das informações.

A determinação dos padrões de associação presentes na supra-estrutura cognitiva foi feita pela análise da presença de subgrafos com n -vértices levando em consideração a disposição das arestas e o tipo de unidade de informação representado por cada vértice. Foram avaliados todos os subgrafos conexos compostos por 2 e 3 vértices (figura 48).

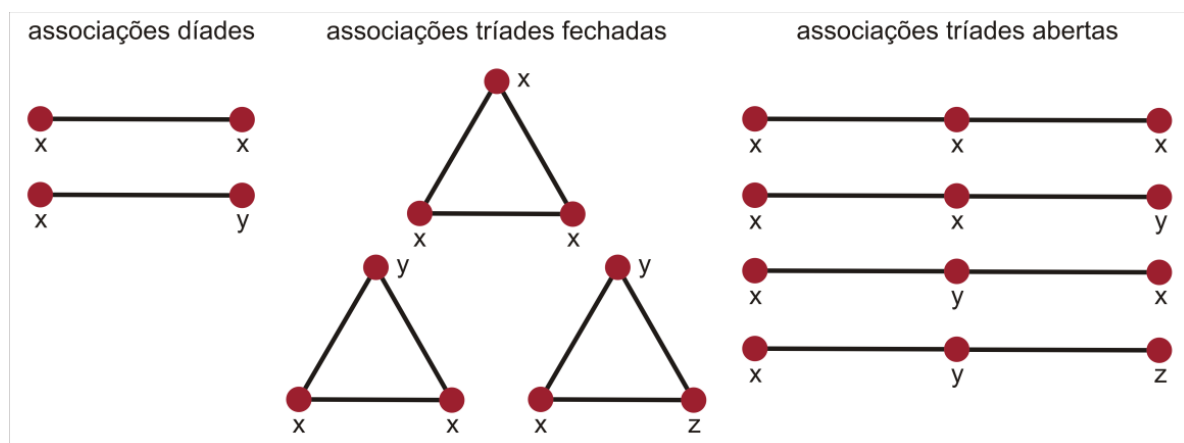


Figura 48 - Tipos de padrões de associação entre as unidades de informação na supra-estrutura cognitiva, onde x, y e z representam os cinco tipos diferentes de unidades de informação.

Os padrões de associação foram avaliados quanto a freqüência com que os mesmos aparecem na ordem simbólica, de modo a definir os padrões dominantes

e tentar determinar possíveis complementaridades funcionais entre as unidades de informação⁷³.

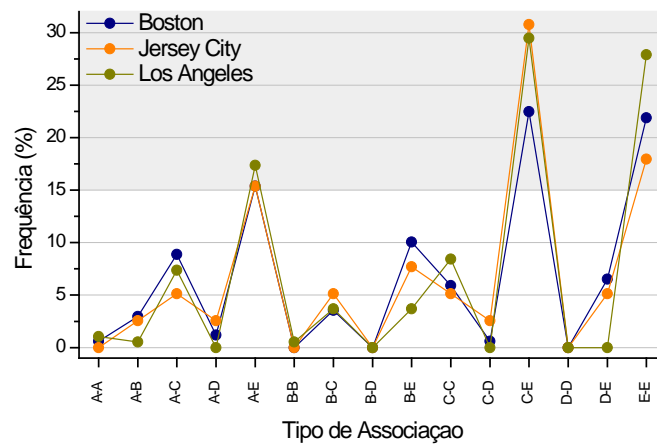


Figura 49 - Frequência dos padrões de associação díades na supra-estrutura cognitiva definidas em porcentagem, onde: A - unidades de informação tipo área; B – unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares. Dados para as cidades de Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).

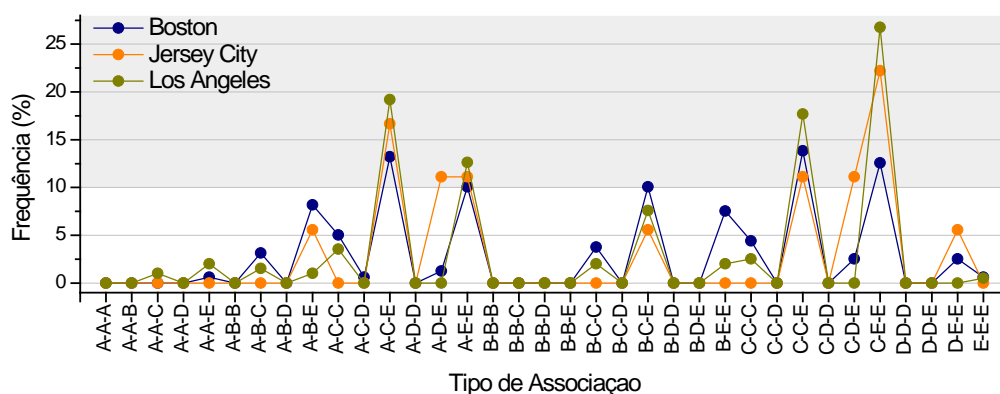


Figura 50 - Frequência dos padrões de associação tríades fechados na supra-estrutura cognitiva definidas em porcentagem, onde: A - unidades de informação tipo área; B – unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares. Dados para as cidades de Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).

⁷³ Na análise realizada não foi feita a comparação entre a frequência com que os padrões compõem nas redes analisadas e a probabilidade de ocorrência desses mesmos padrões numa rede randomizada, conforme é feito nos estudos de *motifs* em redes. Para o estudo em questão uma comparação desse tipo teria uma validade questionável e de difícil implementação. Como os componentes da rede correspondem a uma seleção restrita entre as unidades de informação potencialmente disponibilizadas pela rede urbana, a rede a ser randomizada corresponderia àquela que representa todas as potenciais unidades de informação que os indivíduos poderiam detectar.

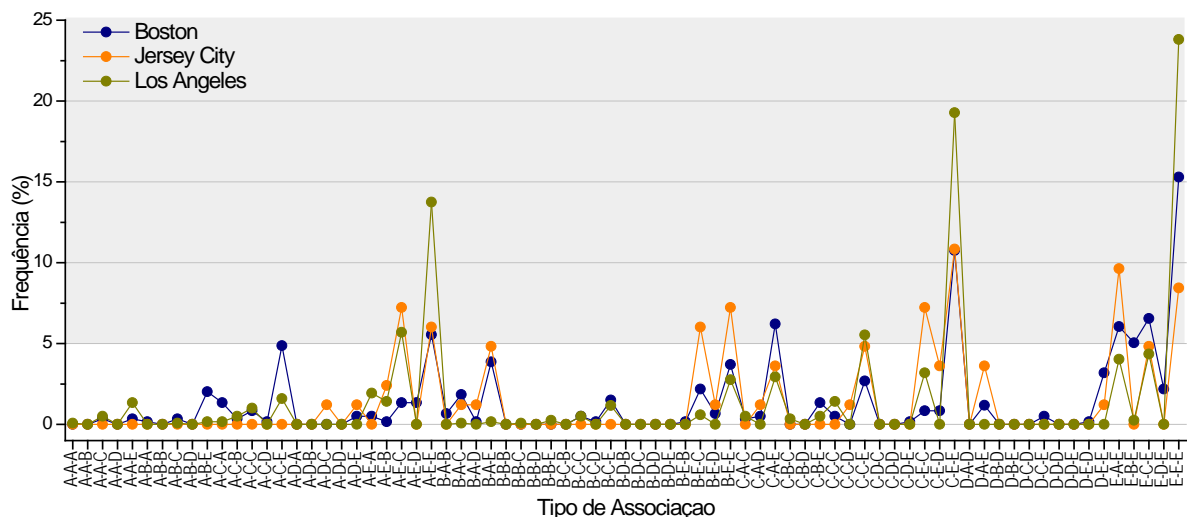


Figura 51 - Frequência dos padrões de associação tríades abertos na supra-estrutura cognitiva definidas em porcentagem, onde: A - unidades de informação tipo área; B – unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares. Dados para as cidades de Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).

A análise da frequência dos padrões de associação aponta para um alto nível de concordância entre cidades em termos da porcentagem de cada tipo de associação dentro da supra-estrutura cognitiva. O fato sugere a presença de estratégias específicas na organização das informações ambientais que independem da estrutura urbana: as mesmas seriam típicas das necessidades da cognição ambiental. Dentro desta premissa, a seleção das unidades de informação no ambiente urbano seria influenciada por estas necessidades cognitivas e a estrutura da cidade apenas facilitaria ou dificultaria para que as relações adequadas sejam estabelecidas - além de direcionar a busca para determinados setores da cidade, conforme sugerido pela análise da hierarquização do ambiente urbano (p. 192-199).

Uma avaliação mais detalhada mostra que a maior similaridade acontece nas associações díades, seguido pelas tríades fechadas. Ambas as configurações são mais prováveis quando existe proximidade geográfica entre todas as unidades de informação envolvidas e, por conseguinte, possuem um caráter mais local do que as associações tríades abertas, onde uma unidade de informação serve de conector entre as outras duas. Esta constatação sugere que as similaridades encontradas são originadas principalmente por necessidades da cognição ambiental urbana oriundas dos processos diretos de exploração do ambiente.

configuração	tipo	Frequência em porcentagem		
		Boston	Jersey City	Los Angeles
Associações Díades (>15%)	A-E	15,38	15,38	17,37
	C-E	22,49	30,77	29,47
	E-E	21,89	17,95	27,89
Associações Tríades Fechadas (> 10%)	A-C-E	13,21	16,67	19,19
	A-E-E	10,06	11,11	12,63
	C-C-E	13,84	11,11	17,68
	C-E-E	12,58	22,22	26,77
Associações Tríades Abertas (> 5%)	A-E-E	5,55	6,02	13,75
	C-E-E	10,76	10,84	19,28
	E-E-E	15,29	8,43	23,81

Tabela 18 - Padrões de associação dominantes na supra-estrutura cognitiva comuns às três cidades estudadas. Onde: A - unidades de informação tipo área; B – unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares.

Para cada configuração estudada aparecem algumas associações predominantes e, uma parcela significativa destes padrões são comuns às três cidades estudadas, sugerindo que os mesmos constituem as principais associações ou blocos de informação utilizados na cognição ambiental urbana (tabela 18). Os resultados obtidos sugerem a existência de complementaridades funcionais entre as unidades de informação lineares, de área e pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos para as três estruturas de associação estudadas. É possível que estas associações facilitem a navegação urbana, embora nenhuma correlação direta entre a presença das mesmas e a qualidade da ordem simbólica tenha sido detectada. Merece destaque a participação constante das unidades de informação lineares nestas associações, indicando a importância que este tipo de unidade de informação desempenha na estruturação das informações ambientais.

Para as unidades de informação pontuais tipo lugares e tipo nós, que comparecem em menor número na ordem simbólica e, portanto, não figuram entre as associações preponderantes, o que pode ser observado é que ambas encontram-se associadas preferencialmente às unidades de informação lineares e, em segundo lugar com as unidades tipo áreas.

A análise dos padrões de associação evidencia que as unidades de informação pontuais, independente do tipo, encontram-se associadas em diferentes configurações com as unidades de informação mais amplas (áreas e lineares). A presença de relações significativas entre as unidades de informação tipo áreas e as unidades de informações pontuais já haviam sido destacadas por Gifford (1997; 40),

e a associação entre os marcos referenciais arquitetônico se as unidades de informações lineares comparece em Rapoport (1977) e Evans (1980). A tendência de comportamento observado condiz com as funcionalidades de ancoragem e definição da localização previstas pela cognição ambiental para as unidades de informação pontuais (Carr e Schissler 1969; Rapoport, 1977: 237; Allen *et al.* 1979; Couclelis *et al.* 1987; Souza, 1996; Gifford, 1997: 40; Ramadier e Moser, 1998).

Os resultados encontrados também sugerem que as unidades de informação selecionadas no processo de formação das representações mentais estão fortemente condicionadas pelos processos cognitivos, principalmente daqueles relacionados com a exploração ativa do ambiente. Esta hipótese vai ao encontro das observações de Vázquez *et al.* (2004) sobre o provável condicionamento das estruturas locais pelos processos seletivos de construção das propriedades funcionalmente desejáveis para a rede.

7.3 Considerações sobre as características configuracionais da ordem simbólica

A análise das características configuracionais da ordem simbólica sugere que a ordem simbólica altera as propriedades do espaço urbano no sentido de:

a) aumentar a quantidade de informação disponível na rede - onde os ganhos em informação estão positivamente correlacionados com a qualidade da imagem pública de referência, exceto para a informação estrutural aonde parece existir um limiar superior a partir do qual o nível de informação seria excessivo, acarretando em confusões no posicionamento preciso dos componentes da imagem pública.

b) realizar uma compressão espacial e melhorar a acessibilidade cognitiva - ocorre de modo a reduzir as distâncias máximas dentro da rede e, ao mesmo tempo, introduzir uma maior diferenciação em termos da alcançabilidade média de cada espaço urbano, garantindo uma hierarquização entre os mesmos. A maior intensidade no "encolhimento" do espaço urbano aparece relacionado com uma melhor qualidade da imagem pública de referência, sugerindo que esta característica é significativa para descrever a ordem simbólica.

c) introduzir mudanças no comportamento e funcionalidade da rede - o sistema urbano, com a ordem simbólica, passa a ter a propriedade *small-worlds*, apresentar

uma maior hierarquização entre seus espaços constituintes e é governada por regras que se aproximam daquelas aplicadas a redes cuja conectividade segue uma lei de potência. Os dados também sugerem que a ordem simbólica provavelmente exiba maior estabilidade geral que o ambiente urbano.

d) interferir na eficiência da conectividade geral da rede - a capacidade da ordem simbólica melhorar o desempenho da rede em termos da eficiência de sua conectividade geral está positivamente correlacionada com a qualidade das imagens públicas de referência.

e) melhorar a navegabilidade da rede - a ordem simbólica facilita a navegação urbana e estas facilidades são um resultado dos aumentos na informação disponível, da compressão espacial, da acessibilidade cognitiva e da baixa profundidade dos espaços urbanos em relação às unidades de informação. Esta característica parece relevante para a ordem simbólica já que o melhor desempenho na navegabilidade está relacionado com a melhor qualidade da imagem pública de referência.

f) elevar o nível de hierarquização presente no sistema para um patamar comum na característica de intermediação nas interações - parece existir um nível desejável ou necessário de hierarquização para a intermediação entre componentes na ordem simbólica. Aparece uma correlação negativa entre a quantidade de variação necessária para atingir este patamar e a qualidade da imagem pública de referência.

Todas estas características observadas estão em acordo com os trabalhos tradicionais na área da cognição ambiental. A capacidade de simulação das características que aparecem descritas nesses trabalhos sugere que a representação do ambiente urbano cognitivamente estruturado enquanto uma IRN, conforme proposto na rede da ordem simbólica, é um método válido para a análise e descrição dos aspectos configuracionais da estruturação cognitiva do ambiente. As concordâncias com os trabalhos da área cognitiva foram destacados para cada característica analisada ao longo do desenvolvimento das análises. Para além da replicação de características esperadas, a metodologia adotada possibilitou a observação de aspectos não contemplados nesses trabalhos. Foi possível mensurar os ganhos informacionais por tipo, a facilidade de relacionar partes distantes, o nível de hierarquização introduzido no sistema urbano e a intensidade com que as

unidades de informação interferem no funcionamento do sistema. A descrição quantitativa da estrutura presente na ordem simbólica também permitiu o delineamento da provável existência de níveis adequados de informações de macro-escala para o funcionamento da cognição ambiental, a necessidade de uma proporcionalidade entre informações locais e globais e a convergência das estruturas de conhecimento ambiental para um patamar aparentemente fixo de hierarquização.

As características presentes na supra-estrutura cognitiva indicam que as estruturas de informação que organizam a ordem simbólica:

a) requerem características específicas para a conectividade entre as unidades de informação - devem apresentar um baixo nível de fragmentação e poucos pontos de fragilidade em sua estrutura e, ao mesmo tempo, um nível não excessivamente alto de redundância em suas conexões.

b) apresentam estruturação interna - detectável pelo número de triangulações presentes na rede, pela presença de modularidade e pelos padrões recorrentes de associação entre as unidades de informação.

As características da estruturação interna encontrada na supra-estrutura cognitiva indicam que as informações ambientais são organizadas em:

a) dois tipos de módulos - um tipo parece ser gerado pela exploração de regiões restritas do ambiente urbano, enquanto o outro tipo aparenta ser o resultado dos deslocamentos longos através do sistema. Cada tipo apresenta características específicas em termos de configuração geográfica, conectividade entre os componentes e o tipo da unidade de informação aglutinadora principal. Aparentemente estes módulos podem aparecer parcialmente sobrepostos.

b) padrões recorrentes de associação - onde os padrões mais numerosos são constituídos de unidades de informação tipo áreas, lineares e marcos referenciais arquitetônicos organizados em diferentes combinações e configurações. Além disto, existe uma tendência a que as unidades de informação pontuais apareçam associados às unidades de informação mais amplas como as tipo áreas e lineares.

Assim, também na rede da supra-estrutura cognitiva, representando a organização entre as informações ambientais, muitas das características observadas condizem com os entendimentos da área cognitiva. A metodologia empregada

possibilitou acrescentar a estas características esperadas outros resultados que ajudam no entendimento dos processos cognitivos e da estrutura presente nas representações mentais. Foram encontrados indícios de que: a fragmentação, freqüentemente presente nas representações mentais, não é necessariamente uma característica negativa; a redundância nas associações entre unidades de informação deve estar presente, mas não pode ser excessiva; a presença de modularidade na organização das informações pode ser uma característica desejável; existem aparentemente dois tipos básicos de módulos; e as informações ambientais tendem a ser estruturadas segundo certos padrões de associação.

Todos os aspectos aqui levantados para a ordem simbólica e sua supra-estrutura cognitiva são comuns entre cidades, apenas variando a intensidade e/ou a predominância com que ocorrem. O alto grau de similaridade encontrada entre cidades sugere que as propriedades aqui destacadas são universais e muito provavelmente influenciadas pelas características e/ou necessidades da cognição ambiental. O conjunto das análises realizadas neste capítulo também aponta para a possibilidade dos tipos, dimensões e número de unidades de informação que são selecionados numa determinada porção do ambiente urbano não ser aleatório e nem uma decorrência direta do componente informativo da cidade. Aparentemente o conjunto de unidades de informação que são selecionadas é o resultado das necessidades cognitivas em termos de navegação urbana, exploração ativa do ambiente e introdução de hierarquia nas informações disponíveis.

A configuração morfológica do espaço urbano também desempenha um papel importante. Aparentemente é ela que diferencia a ordem simbólica em termos qualitativos ao facilitar ou dificultar o estabelecimento das estruturas de informação necessárias para uma cognição ambiental funcionalmente eficiente, confirmando o entendimento de Lynch sobre a importância da legibilidade. No entanto, os resultados aqui obtidos sugerem que não basta o ambiente apresentar legibilidade - é necessário que a legibilidade se refira a determinados aspectos do ambiente de modo a facilitar a formação de unidades de informação pontuais e unidades amplas em certos arranjos.

A partir das análises realizadas podemos colocar que a estrutura configuracional do espaço urbano:

a) influencia no modo como as melhorias na acessibilidade cognitiva ocorrem na ordem simbólica. Os dados sugerem que, quanto maior a regularidade da malha urbana, menor a alteração no *ranking* das características de acessibilidade dos espaços. Conseqüentemente, menor a diferenciação entre a ordem simbólica e o sistema urbano para esta característica dos espaços.

b) apresenta diferenças significativas entre cidades em termos da hierarquização dos espaços urbanos para a característica de intermediação nas interações indiretas entre componentes. Sistemas urbanos com maior nível de hierarquia possivelmente facilitam a formação da ordem simbólica com características adequadas e, com isso, a mesma é tida como apresentando melhor qualidade. A hierarquia presente na estrutura urbana também condiciona a localização onde as unidades de informação são mais freqüentemente detectadas.

c) está relacionada com diferenças nas possibilidades de apreensão de sua estrutura global a partir de um espaço físico qualquer e, como isso, pode estar influenciando o modo como a ordem simbólica é estruturada. Morfologias urbanas mais irregulares, que dificultam a apreensão global do sistema, apresentam ordens simbólicas que facilitam o uso de estratégias locais na exploração de suas redes. Já as morfologias mais regulares, em grelha, facilitam a aquisição de informações globais a partir de qualquer espaço urbano. Nestes casos a ordem simbólica apresenta características configuracionais que dificultam a utilização de estratégias de exploração local, mas apresentam uma grande quantidade de unidades de informação lineares que perpassam toda a sua estrutura, garantindo com isso as informações globais necessárias para uma eficiente exploração da rede.

Diversas características encontradas na ordem simbólica confirmam os entendimentos da área cognitiva sobre a adaptabilidade dos processos cognitivos às potencialidades ou dificuldades oriundas das especificidades configuracionais e morfológicas do ambiente urbano. As diferenças nas estratégias de navegação adequadas a cada tipo de ordem simbólica conforme citado acima é um exemplo dessa adaptabilidade. Outro exemplo encontrado é a possibilidade de diferentes tipos de unidades de informação assumirem o importante papel de estabilização da rede da ordem simbólica, tornando-se seus componentes fundamentais. Com isto confirmamos a observação de Lynch (1960; 26) em que sempre existe um pouco mais de estrutura do que pode parecer num primeiro momento, e acrescentamos

que esta estrutura é o resultado da flexibilidade presente tanto nas informações ambientais quanto nos processos cognitivos.

8. AS CARACTERÍSTICAS CONFIGURACIONAIS DAS UNIDADES DE INFORMAÇÃO

Hipóteses:

A estrutura urbana é alterada em suas características estruturais através do efeito agregado das diversas unidades de informação, e estas unidades de informação aparecem dentro de determinadas conformações, distribuições e quantidades de modo a facilitar a apreensão global do sistema.

As diferentes unidades de informação provavelmente apresentam diferenciações configuracionais que refletem as diferentes funcionalidades que as mesmas desempenham na ordem simbólica.

Algumas das características configuracionais relacionadas com as unidades de informação podem estar influenciando a frequência com que as mesmas são lembradas/citadas pelos indivíduos.

O presente capítulo busca entender quais características configuracionais são particularmente relevantes para descrever os diferentes tipos de unidades de informação e, assim, tentar compreender o papel desempenhado por cada um na ordem simbólica. A avaliação é feita através da análise do comportamento associado aos vértices cognitivos nas redes representando a ordem simbólica e a supra-estrutura cognitiva. Em ambas as redes são observadas: a) a existência ou não de comportamentos característicos referentes a cada tipo de unidade de informação e; b) a presença de correlações entre os valores assumidos para as medidas que descrevem os vértices cognitivos e as características qualitativas das imagens públicas de referência. A primeira verificação busca definir as características particulares de cada tipo de unidade de informação, enquanto a segunda procura verificar se essas características influenciam no desempenho da ordem simbólica.

Complementarmente é feita uma avaliação das correlações entre as características configuracionais destes vértices e a importância relativa que os

mesmos possuem para a imagem pública. Onde a importância dos vértices cognitivos é definido com base na frequência de citação com que os mesmos comparecem nas entrevistas realizadas por Lynch (1960: 146; 148; 150).

As características configuracionais que apresentam comportamentos associados a tipos específicos de unidades de informação, aparecem relacionados à frequência com que os mesmos são citados, ou que possuem correlações com as características qualitativas das imagens públicas de referência, são consideradas características relevantes - associadas a sua funcionalidade na ordem simbólica. A rede onde estas características são detectadas determina a provável natureza das mesmas. No caso de correlações detectadas na rede da ordem simbólica, as características são tidas como associadas principalmente com as interações no ambiente urbano e, portanto, relacionadas com a exploração ativa do ambiente e com as características do espaço físico. As correlações encontradas na rede da supra-estrutura cognitiva dizem respeito a características relativas às associações geradas nas representações mentais e, assim sendo, alusivas aos processos de organização das informações na cognição ambiental.

A análise dos comportamentos característicos por tipo de unidade de informação é realizado com o conjunto dos dados das três cidades, assim como de modo comparativo entre cidades. Os procedimentos a serem utilizados consistem em avaliações estatísticas e descritivas do comportamento das medidas. As análises estatísticas são dificultadas pelo número reduzido de unidades de informação, pelos padrões distributivos de algumas medidas com caudas mais pesadas e pelo desbalanceamento dos dados por classe (tipo de unidade de informação ou intervalo de frequência de citação)⁷⁴. Estas dificuldades, em alguns casos, impedem a descrição do comportamento por métodos estatísticos ficando, nestes casos, a análise restrita a uma avaliação descritiva das tendências do comportamento geral observado.

Outra questão a ser observada é que comparações entre as significâncias estatísticas atingidas para as diferentes classes de dados têm uma validade restrita, já que as mesmas variam muito em termos de número de casos, e os níveis de

⁷⁴ O desbalanceamento dos dados refere-se ao fato da distribuição dos dados em cada categoria ou classe ser muito desigual, constituindo, portanto, amostragens de tamanhos diferentes para os processos comparativos.

significância são afetados pelo tamanho de cada amostra. Por este motivo o comportamento será descrito, principalmente, em termos da presença de tendências gerais e não dos níveis de significância atingidos.

Como as diferentes características distributivas das medidas requerem a aplicação de métodos estatísticos específicos, os testes aplicados vêm especificados caso a caso. Outra questão metodológica diz respeito ao uso de medidas normalizadas ou não. O critério adotado é o de sempre que possível utilizar os valores absolutos das medidas e, nos casos onde existe uma interferência significativa do tamanho da rede, passam a ser utilizados os valores normalizados.

8.1 A participação das unidades de informação na ordem simbólica

Na avaliação da participação de cada tipo de unidade de informação na composição da ordem simbólica é possível observar uma grande similaridade no comportamento entre cidades. Nas três cidades analisadas as unidades de informação lineares são as que aparecem em maior quantidade, seguidas pelas unidades pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos. Em quantidades menores comparecem as unidades de informação tipo áreas, pontuais tipo lugares e pontuais tipo nós.

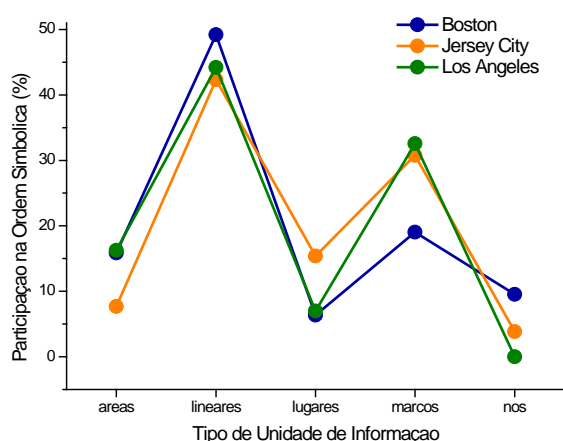


Figura 52 - Comparativo da participação, em porcentagem, dos diferentes tipos de unidades de informação na ordem simbólica. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).

As similaridades observadas possivelmente indicam que a cognição ambiental urbana, de algum modo, requer uma composição bastante específica de unidades de informação para estruturar as representações mentais de forma eficiente. Neste sentido é provável que os indivíduos busquem, ou priorizem, especificamente determinados padrões de informação durante a construção de suas representações mentais. Estes resultados reforçam os entendimentos traçados na análise dos padrões recorrentes de associação (p. 216-220) e evidenciam as interdependências entre os processos de micro-escala e o padrão apresentado pelo sistema como um todo (Vázquez *et al.* 2004).

Por outro lado, as pequenas variações no comportamento entre cidades levantam a hipótese de que o padrão global observado sofre pequenos "ajustes" em decorrência das peculiaridades encontradas em cada cidade. Os dados sugerem que as dificuldades encontradas na estruturação da imagem pública levam a um aumento na participação das unidades de informação que podem de algum modo auxiliar na redução do problema.

Assim, Boston apresenta, proporcionalmente, mais unidades lineares e pontuais tipo nós na tentativa de solucionar as dificuldades de estruturar percursos - sua maior deficiência na opinião de Lynch (1960: 17; 23; 25). Los Angeles, cujo problema é a dificuldade de localizar seus elementos com precisão (*ibid.*: 33; 37), possui maior quantidade de marcos referenciais arquitetônicos, buscando fixar as informações localmente. Jersey City possui, proporcionalmente, mais unidades tipo lugares e marcos referenciais arquitetônicos, possivelmente na tentativa de imprimir um caráter ou identidade local na imagem pública que carece de características marcantes (*ibid.*: 29-30).

8.2 As características de conectividade local

As características de conectividade local foram analisadas pelo Grau do Vértice e pelas medidas de transitividade: Coeficiente de Agrupamento e Eficiência Local. Na rede da ordem simbólica estas medidas são influenciadas pelo número de espaços físicos que compõem cada unidade de informação e, no caso das medidas de transitividade, também pela disposição, ou arranjo, destes espaços no sistema urbano. Portanto, não é surpresa encontrarmos diferenças significativas entre os diferentes tipos de unidades de informação na rede da ordem simbólica.

Os testes Kruskal-Wallis e Mann-Whitney aplicadas ao Grau do Vértice e o teste One-way ANOVA aplicado ao Coeficiente de Agrupamento e Eficiência Local indicam a existência de diferenças estatisticamente relevantes ao nível de $p < 0,05$ entre os tipos de unidades de informação (tabela 19). Com exceção das diferenças entre as unidades de informação pontuais tipo lugares e nós, para todas as demais comparações possíveis ao menos uma das medidas é capaz de distinguir de forma estatisticamente significativa os tipos de unidades de informação entre si.

Comportamento das unidades de informação na ordem simbólica		
Grau do Vértice	Coeficiente de Agrupamento	Eficiência Local
Teste Kruskal-Wallis	Teste One-way ANOVA	Teste One-way ANOVA
$p < 0,000$	$p < 0,000$ (Levene: $p < 0,001$)	$p < 0,000$ (Levene: $p < 0,900$)
Teste Mann-Whitney	Teste Tukey HSD	Teste Tukey HSD
A - B $p < 0,004$ A - C $p < 0,006$ A - D $p < 0,001$ A - E $p < 0,000$ B - C $p < 0,033$ C - D $p < 0,000$ C - E $p < 0,035$ D - E $p < 0,004$	A - B $p < 0,000$ A - C $p < 0,022$ A - D $p < 0,000$ B - C $p < 0,002$ B - E $p < 0,000$ C - D $p < 0,001$ D - E $p < 0,000$	A - B $p < 0,000$ A - C $p < 0,005$ A - D $p < 0,000$ B - C $p < 0,025$ B - E $p < 0,000$ C - D $p < 0,028$ D - E $p < 0,001$

Tabela 19 - Gráficos de dispersão e as análises estatísticas da diferenciação entre unidades de informação para as medidas que descrevem a conectividade local na rede da ordem simbólica. Nos gráficos de dispersão estão salientados os intervalos interquartílicos para a medida Grau do Vértice e os mínimos, máximos, média e desvio padrão para as medidas Coeficiente de Agrupamento e Eficiência Local. Dados para o conjunto das cidades analisadas, onde: A - unidades de informação tipo área; B - unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares.

As diferenças nas características de conectividade local denunciam que, provavelmente, as diversas unidades de informação desempenham funções distintas dentro da ordem simbólica. As unidades pontuais tipo lugares e nós estão associadas a conectividades localmente densas (indicado pela alta transitividade) e envolvem tipicamente um número reduzido de espaços públicos (Grau do Vértice baixo), apontando para funções cognitivas de ancoragem, posicionamento e estruturação local das informações. Já as unidades pontuais tipo marcos

referenciais, as lineares e as áreas, apresentam baixa transitividade, ou seja, conectividades mais difusas, denunciando sua função no estabelecimento de relações entre espaços geograficamente distantes ou não adjacentes. Este segundo conjunto de unidades de informação são diferenciáveis entre si pelas diferenças no número de espaços públicos envolvidos e por tipicamente apresentam faixas de valores distintas de transitividade, indicando as variações na configuração dos espaços públicos envolvidos.

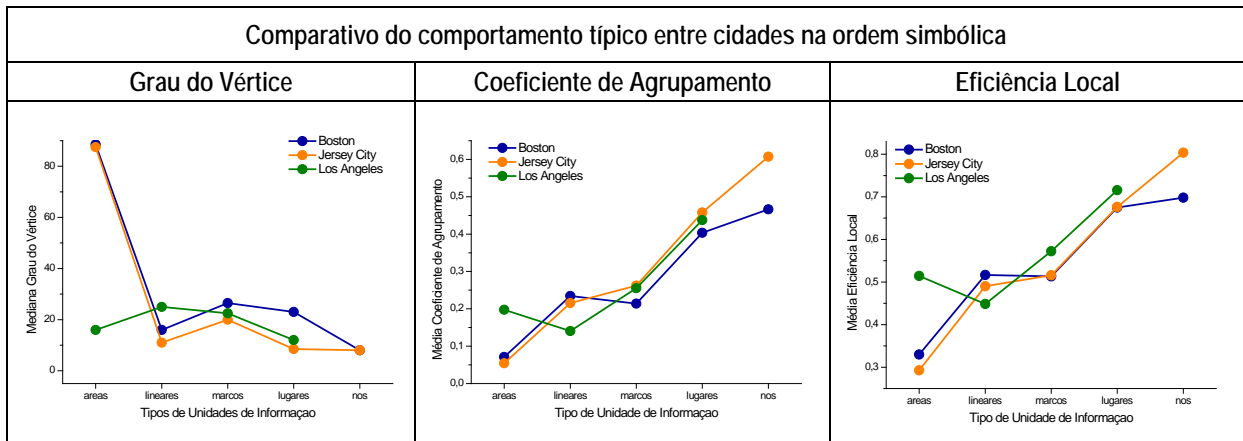


Tabela 20 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base na mediana do Grau do Vértice e média harmônica do Coeficiente de Agrupamento e Eficiência Local na rede da ordem simbólica. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).

A comparação do comportamento por cidade da mediana do Grau do Vértice e a média harmônica⁷⁵ do Coeficiente de Agrupamento e Eficiência Local indicam que, apesar das variações morfológicas das três cidades analisadas, existem mais similaridades do que diferenciações entre estas. As unidades de informação em Boston e Jersey City possuem comportamentos muito próximos, apenas Boston tende a apresentar unidades de informação mais abrangentes (maior Grau do Vértice). Los Angeles se distingue das duas primeiras principalmente em termos das unidades de informação tipo área. Nesta cidade as unidades tipo área englobam significativamente menos espaços públicos e, por se tratar de uma rede espacial, acabam por apresentar valores mais elevados de transitividade. Los Angeles também tende a apresentar unidades de informação lineares, em média, com maior conectividade e menor transitividade.

⁷⁵ O desbalanceamento dos dados por classe faz com que sempre que usadas, as médias sejam definidas enquanto médias harmônicas.

As diferenças entre cidades sugerem que pode existir algum mecanismo de "compensação" entre as unidades de informação lineares e de área na ordem simbólica, onde restrições nas características de uma levam a incrementos nas características da outra. Isto implica em que pode existir um ponto de equilíbrio entre as características assumidas para essas unidades de informação de modo a garantir um funcionamento o mais adequado possível para a ordem simbólica. Se o comportamento for confirmado em outros estudos de caso, então as características de conectividade local assumidas por unidades de informação lineares e de área são interdependentes.

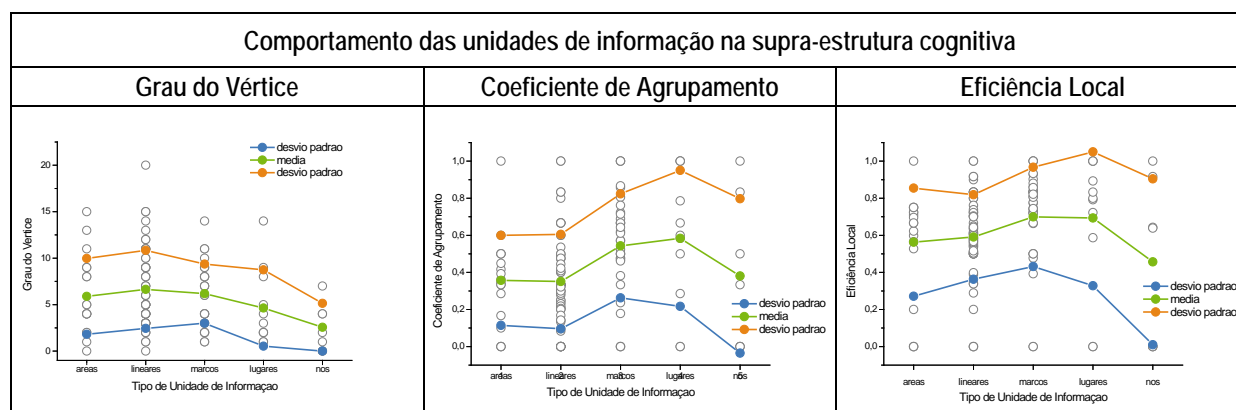


Tabela 21 - Análise da supra-estrutura cognitiva. Gráficos de dispersão com indicação da média harmônica e desvio padrão para o Grau do Vértice, Coeficiente de Agrupamento e Eficiência Local por tipo de unidade de informação. Dados para o conjunto de cidades analisadas.

Para a supra-estrutura cognitiva as diferenças entre os tipos de unidades de informação são muito sutis e não são estatisticamente relevantes. No entanto, as tendências de comportamento observadas estão em acordo com as características funcionais esperadas para as unidades de informação na cognição ambiental.

As unidades lineares apresentam os maiores valores para o Grau do Vértice, indicando sua importância para os ganhos de informação estrutural na ordem simbólica. Ao mesmo tempo, estas unidades de informação apresentam médias relativamente baixas para as medidas de transitividade, denunciando sua atuação como elementos de amarração global da ordem simbólica e sua importância na conexão entre componentes que, de outra forma, não estariam conectados. A mudança de *ranking* entre a Eficiência Local e o Coeficiente de Agrupamento, onde o primeiro apresenta uma média relativamente mais alta, reforça a ideia do papel

destas unidades de informação na otimização da conexão entre os componentes da ordem simbólica⁷⁶.

As unidades tipo áreas possuem um comportamento médio similar às unidades lineares com Grau do Vértice alto e transitividade de mediana a baixa. As similaridades entre unidades lineares e de área indicam que ambas são funcionalmente comparáveis. No entanto, as características mais acentuadas das unidades lineares sugerem que as mesmas provavelmente desempenham de modo mais eficiente a sua função de elementos conectores entre componentes que não apresentam outras relações de conectividade.

As unidades tipo marcos referenciais arquitetônicos são as segundas mais bem conectadas, mas, diferentemente das unidades lineares, apresentam as maiores médias para as medidas de transitividade. Assim, embora também sejam importantes elementos conectores, o seu papel é distinto pois as mesmas se destacam como participantes em relações entre componentes já conectados. Podemos colocar que as unidades tipo marcos referenciais arquitetônicos atuam como uma ênfase nas relações estabelecidas, ou seja, que independem de sua presença para acontecerem. Possivelmente esta ênfase está associada aos processos de memorização, gerando "marcadores" ou características locais para a relação entre as outras unidades de informação, fatores estes importantes nas estratégias de aprendizagem da estrutura ambiental (Anooshian, 1996).

As unidades pontuais tipo nós possuem médias baixas para a conectividade e transitividade, em acordo com seu papel de elo de ligação entre componentes ou enquanto pontos isolados dentro da ordem simbólica. Já as unidades pontuais tipo lugares também conectam um número relativamente reduzido de componentes, mas sua transitividade é alta indicando que, similarmente ao marcos referenciais, reforçam relações existentes.

⁷⁶ As diferenças entre as duas medidas de transitividade podem ser verificadas na pagina 116.

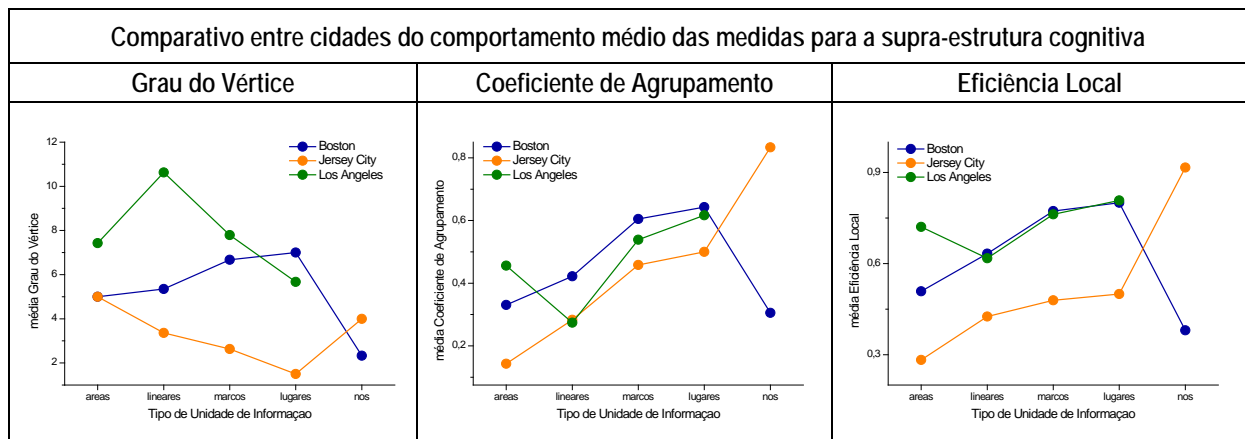


Tabela 22 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base na média do Grau do Vértice, Coeficiente de Agrupamento e Eficiência Local na rede da supra-estrutura cognitiva. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).

Na supra-estrutura cognitiva as características das unidades de informação por cidade são distintas em termos do Grau do Vértice. Cada cidade analisada apresenta um padrão próprio, não sendo possível detectar no comportamento médio qualquer tendência comum ou relação com a qualidade da ordem simbólica. Assim, não foi detectado nenhum comportamento típico entre cidades para a quantidade de informação estrutural associada a cada tipo de unidade de informação.

Por outro lado, as medidas de transitividade possuem um padrão global que se repete entre cidades com poucas variações. A exceção fica por conta do comportamento das unidades de informação tipo área cuja posição no *ranking* é distinta para Los Angeles, onde a transitividade é maior. Os motivos que levam a esta diferenciação não são claros e tanto podem ser uma consequência da morfologia urbana em grelha ou das dimensões reduzidas das unidades tipo área, quanto de algum fator oriundo dos processos cognitivos. Futuras investigações com outras cidades são requeridas para o esclarecimento desta questão.

As diferenças observadas para as unidades de informação pontuais tipo nós são inconclusivas pelas mesmas estarem fortemente influenciadas pelo fato de Jersey City ser representado por um único elemento, não sendo portanto estatisticamente adequado a sua comparação.

Os resultados da análise das características da conectividade local na supra-estrutura cognitiva sugere que, muito provavelmente, o padrão de transitividade de cada tipo de unidade de informação é uma característica específica destes, associado às suas funcionalidades cognitivas. Isto equivale a dizer que a

transitividade na supra-estrutura cognitiva, possivelmente, apresenta um nível elevado de independência das especificidades morfológicas do sistema urbano e da qualidade geral da ordem simbólica. Esta premissa reforça as considerações anteriormente levantadas de que os padrões de associação entre as unidades de informação são o resultado das necessidades cognitivas mais do que da disponibilidade informacional do ambiente.

O uso comparado das duas medidas de transitividade indica que as mesmas apresentam desempenhos similares na descrição das unidades de informação, com uma leve vantagem da medida Coeficiente de Agrupamento nos níveis de significância obtidos em ambas as redes.

8.3 As características de localização e acessibilidade cognitiva

As características de acessibilidade das unidades de informação dizem respeito à sua posição ou localização na rede de modo a minimizar as distâncias aos demais vértices dentro da rede da ordem simbólica e na supra-estrutura cognitiva. Aqui, a definição destas características é feita com base nas medidas de Acessibilidade e Excentricidade, normalizadas por re-escalamento linear para o intervalo de 0 a 10.

O uso das medidas normalizadas se faz necessário para que as diferenças de desempenho entre as redes⁷⁷ e as interferências do tamanho da rede sejam simultaneamente minimizadas. Assim, é possível uma avaliação do conjunto de dados das três cidades com uma menor interferência das peculiaridades de cada rede.

⁷⁷ Estas diferenças foram destacadas no capítulo anterior, no item sobre a compressão espacial e acessibilidade cognitiva (p. 168-174). Sem a minimização destas diferenças não seria possível fazer uma avaliação adequada, já que a ordem de grandeza de seus valores é variável por cidade.

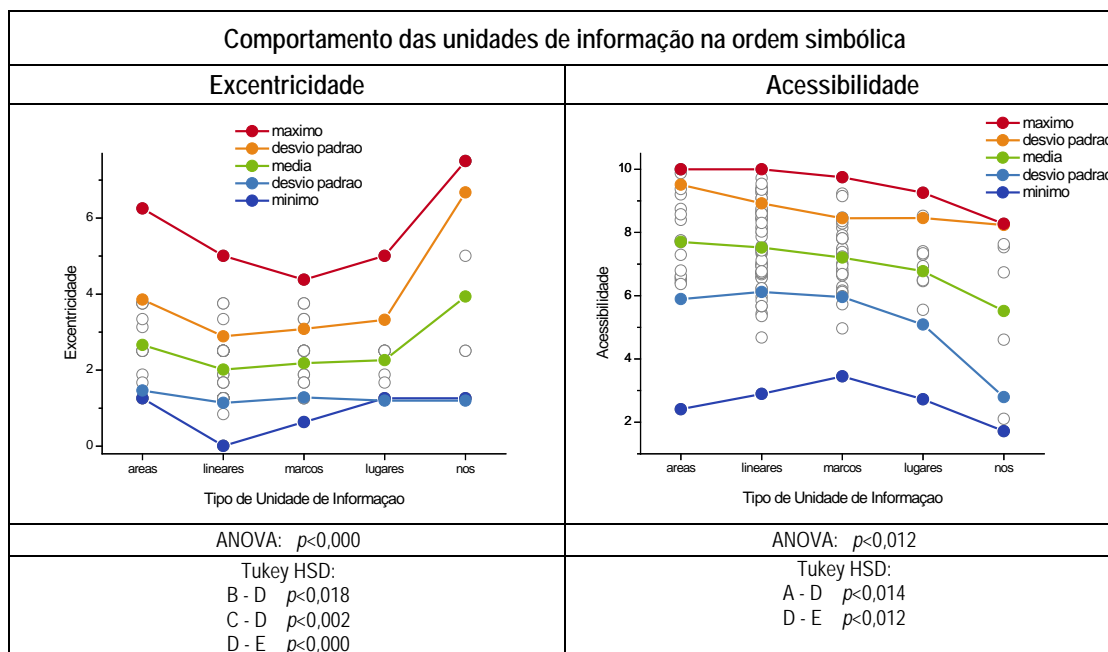


Tabela 23 - Gráficos de dispersão com indicação da média, desvio padrão e valores extremos. Análise estatística da diferenciação entre unidades de informação para as medidas Excentricidade e Acessibilidade normalizadas na rede da ordem simbólica. Dados para o conjunto das três cidades analisadas, onde: A - unidades de informação tipo área; B - unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares.

Na rede da ordem simbólica as diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) estão relacionadas com as unidades de informação pontuais tipo nós. As mesmas se distinguem das demais por apresentarem as piores características de acessibilidade em ambas as medidas. De modo geral pode-se colocar que a questão de uma posição na rede, onde a minimização das distâncias é facilitado, é uma característica menos relevante para as unidades de informação pontuais tipo nós. Estas, além de apresentarem valores médios associados a uma pior acessibilidade, também se caracterizam por um desvio padrão maior, indicando uma maior variabilidade em termos de seu posicionamento na rede.

A avaliação das tendências de comportamento das medidas confirmou a pouca diferenciação entre os demais tipos de unidade de informação. Merece destaque a forte concentração das unidades de informação junto às respectivas médias, indicando a convergência para uma faixa estreita de valores situada acima dos 50% da máxima acessibilidade dentro da rede.

Embora não seja possível a definição de alguma tendência clara quanto a comportamentos distintos entre as unidades de informação, o comportamento dos marcos referenciais arquitetônicos chama a atenção por apresentar um desvio

padrão menor e um limite inferior nas características de acessibilidade acima dos demais tipos de unidades de informação. O fato parece indicar que os marcos referenciais são mais seletivos em termos de localização na rede e, tendo em conta suas características de transitividade com valores altos, encontram-se associados preferencialmente a outras unidades de informação que são privilegiadas em termos de suas características de acessibilidade. O comportamento observado confirma a importância das características de localização para este tipo de unidade de informação (Lynch, 1962; Carr e Schissler, 1969; Appleyard, 1969; Rapoport, 1977; Evans, 1980; Anooshian, 1996), ao mesmo tempo em que explicita de forma mais precisa as relações das mesmas com as demais unidades de informação.

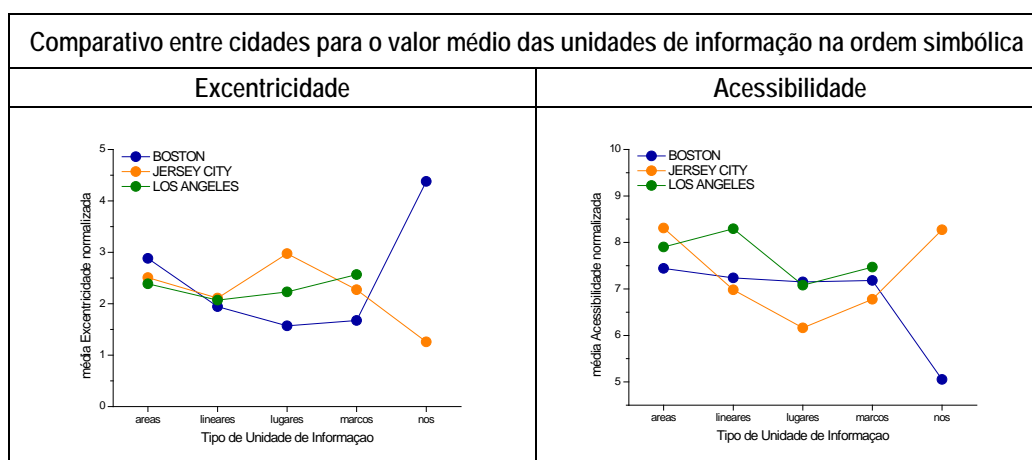


Tabela 24 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base nas médias da Excentricidade e Acessibilidade normalizadas na rede da ordem simbólica. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).

Na análise comparativa entre cidades fica evidenciado que a convergência para uma faixa estreita de valores privilegiados em termos da minimização das distâncias é uma característica geral da ordem simbólica⁷⁸. Apesar das similaridades entre unidades de informação e entre cidades impedirem qualquer tipo de distinção segura no comportamento observado, existem alguns aspectos que merecem ser destacados.

Um ponto interessante é o comportamento associado às unidades de informação lineares e de área. Para a Excentricidade as três cidades apresentam variações mínimas para seus valores médios, indicando forte similaridade entre cidades nesta medida. Para a medida de Acessibilidade são estes dois tipos de

⁷⁸ Novamente deve ser ressaltado a inadequação de se incluir na análise comparativa o comportamento das unidades de informação tipo nós.

unidades de informação que apresentam as maiores médias em todas as cidades, porém, a posição no *ranking* é distinta. Boston e Jersey City apresentam maiores médias para as unidades tipo áreas enquanto, em Los Angeles, são as unidades lineares que ocupam esta posição. Esta diferença no *ranking* condiz com as observações de Lynch (1960: 44) sobre a importância relativa que as vias assumem na imagem pública de Los Angeles, diferentemente de Boston, onde as áreas teriam esse papel (*ibid.*: 16-17; 22; 66-67).

Outra questão que merece destaque é o fato do comportamento médio das diversas unidades de informação pontuais divergir significativamente entre cidades para a Excentricidade, mas manter um mesmo *ranking* para a Acessibilidade, indicando um padrão comum para esta medida. As diferenças encontradas para a Acessibilidade dizem respeito a quão menores são estas médias em relação às médias das unidades lineares e de área. Para Boston estas diferenças são menores do que em Jersey City e Los Angeles. As melhores características de acessibilidade para as unidades de informação pontuais em Boston também fica evidenciado na Excentricidade, onde seu desempenho médio é, inclusive, melhor que o das unidades tipo áreas e lineares. Com isto pode-se dizer que, na ordem simbólica de Boston, as unidades de informação pontuais encontram-se mais privilegiadas em termos da Acessibilidade e Excentricidade do que nas outras duas cidades. O melhor desempenho das unidades de informação pontuais em Boston está em acordo com os comentários de Lynch (*ibid.*: 17) sobre o caráter localmente forte de sua imagem pública.

A análise comparativa entre cidades sugere que a medida de Acessibilidade expressa na rede da ordem simbólica pode estar de algum modo relacionada às características qualitativas da atuação das unidades de informação. Os desempenhos melhores ou piores das unidades lineares ou de área para esta característica podem estar associados a ordens simbólicas centradas em um ou outro componente. Este resultado condiz com o entendimento de que as representações mentais tendem a ter estruturas espaciais ou seqüenciais. As primeiras baseadas em diferenciações de áreas e as segundas mais dependentes das unidades de informação lineares (Appleyard, 1970a; Rapoport, 1977; Baird e Wagner, 1980; Passini, 1992; Anooshian, 1996). Complementarmente, a distância entre o desempenho apresentado pelas unidades de informação pontuais com

relação as unidades de informação tipo áreas e lineares possivelmente está associada a qualidade do caráter local das informações contidas na ordem simbólica.

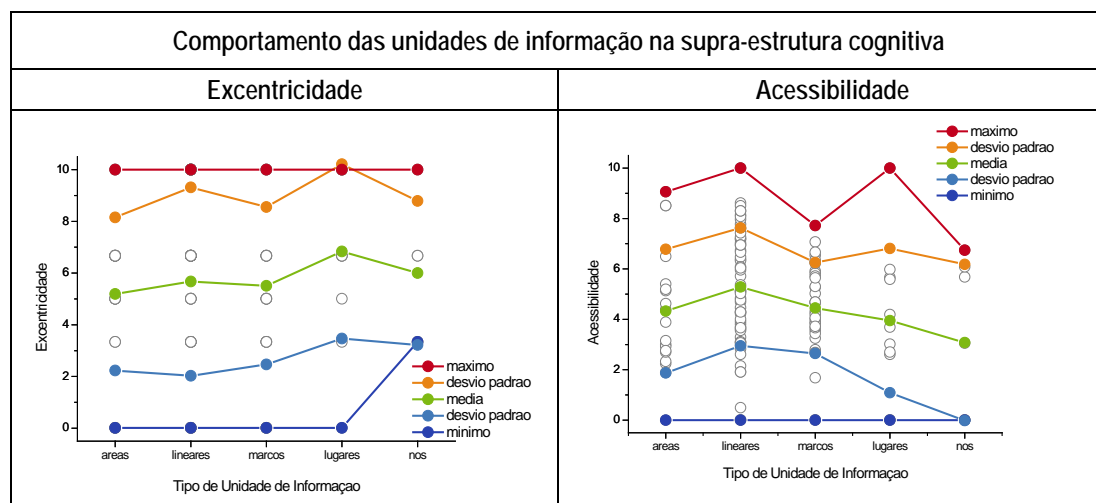


Tabela 25 - Análise da supra-estrutura cognitiva. Gráficos de dispersão com indicação da média, desvio padrão e valores extremos para as medidas Excentricidade e Acessibilidade normalizadas por tipo de unidade de informação. Dados para o conjunto de cidades analisadas.

Na supra-estrutura cognitiva as redes desconexas tiveram as unidades de informação que não se encontram no componente principal excluídas das análises com a medida de Excentricidade. As mesmas apresentam, por definição, valor infinito, o que inviabilizaria a análise.

A análise da distinção entre as unidades de informação na supra-estrutura cognitiva não obteve nenhum resultado com significância estatística ao nível de $p < 0,05$. A avaliação das tendências de comportamento feito pelas médias confirmou a pouca distinção, onde pode-se apontar apenas uma leve tendência a que as unidades de informação lineares apresentem um melhor desempenho em termos da medida de Acessibilidade.

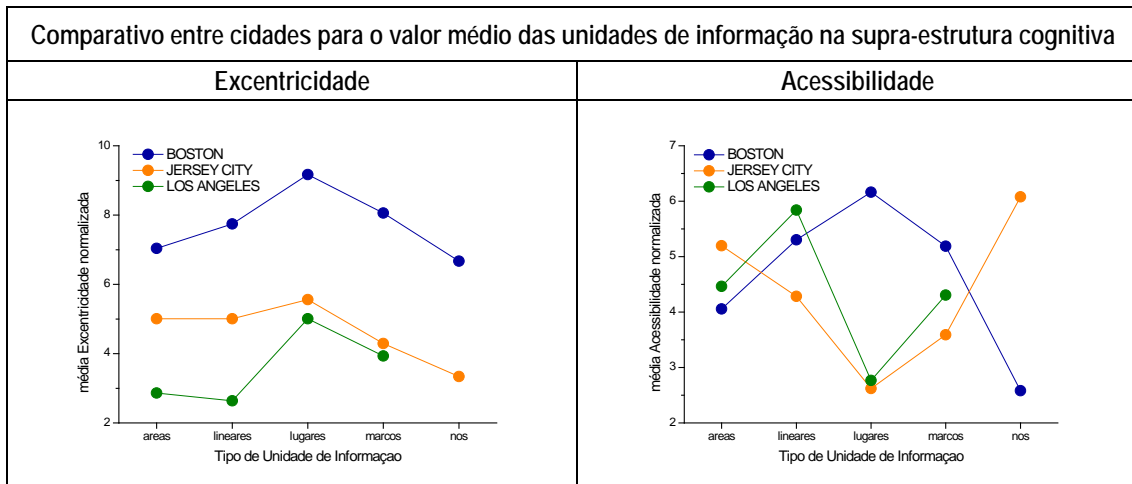


Tabela 26 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base nas médias da Excentricidade e Acessibilidade normalizadas na rede da supra-estrutura cognitiva. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).

O comparativo entre cidades na supra-estrutura cognitiva mostra comportamentos distintos entre estas para ambas as medidas. O único consenso encontrado é a Excentricidade média mais alta estar relacionada com as unidades de informação pontuais tipo lugares⁷⁹. Deste modo, não é possível identificar a presença de algum comportamento típico para as características de acessibilidade na supra-estrutura cognitiva.

As diferenças encontradas entre cidades sugerem duas possibilidades: ou existem distintos tipos de estruturações cognitivas para a ordem simbólica em termos desta característica; ou as características de acessibilidade estão relacionadas com as inter-relações entre espaços físicos e representações mentais e, em assim sendo, não são relevantes para diferenciar o papel das unidades de informação na supra-estrutura cognitiva. Em outras palavras, as características relevantes da acessibilidade dizem respeito ao sistema como um todo - informação estruturada e possibilidade de exploração ativa - e não à acessibilidade como apresentada pelas representações mentais. O esclarecimento desta questão requer o estudo de um maior número de casos.

⁷⁹ Cabe esclarecer que as diferenças na ordem de grandeza apresentadas por cada cidade na medida de Excentricidade são o resultado da variação no número de valores distintos existentes na rede, e não têm nenhum significado real em termos das características associadas às unidades de informação.

O comparativo entre as duas formas de medir a acessibilidade das unidades de informação indica a medida de Acessibilidade como a mais adequada para diferenciar as unidades de informação entre si.

8.4 As características da conectividade indireta entre os componentes

As características de mediação na rede desempenhadas pelos diferentes tipos de unidades de informação foram avaliadas com o uso das três medidas de centralidade: Centralidade por Perpasso, Centralidade por Campo de Tensões e Centralidade Freeman-Krafta. As medidas foram normalizadas por re-escalonamento linear para o intervalo de 0 a 10 pelos motivos anteriormente expostos para as medidas de acessibilidade (p. 235).

Comportamento das unidades de informação na ordem simbólica		
Centralidade por Perpasso	Centralidade por Campo de Tensões	Centralidade Freeman-Krafta
Teste Kruskal-Wallis: $p < 0,005$	Teste Kruskal-Wallis: $p < 0,008$	Teste Kruskal-Wallis: $p < 0,005$
Teste Mann-Whitney: A - B $p < 0,027$ A - D $p < 0,014$ B - C $p < 0,045$ B - E $p < 0,014$ D - E $p < 0,011$	Teste Mann-Whitney: A - B $p < 0,030$ A - D $p < 0,010$ B - C $p < 0,042$ B - E $p < 0,015$ D - E $p < 0,015$	Teste Mann-Whitney: A - B $p < 0,019$ A - D $p < 0,006$ B - C $p < 0,048$ B - E $p < 0,021$ C - D $p < 0,052$ D - E $p < 0,010$

Tabela 27 - Gráficos de dispersão com intervalos interquartílicos e a análise estatística da diferenciação entre unidades de informação para as medidas Centralidade por Perpasso, Centralidade por Campo de Tensões e Centralidade Freeman-Krafta. Dados para o conjunto das cidades analisadas, onde: A - unidades de informação tipo área; B - unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares.

Os testes Kruskal-Wallis e Mann-Whitney indicam diferenças com significância estatística ao nível de $p < 0,05$ entre alguns tipos de unidades de informação na rede da ordem simbólica, conforme está evidenciado na tabela 27. Tanto a análise estatística quanto a observação das tendências de comportamento

geral⁸⁰ assinalam que as unidades de informação tipo área e lineares são mais propensas a apresentarem os valores mais altos de centralidade, enquanto as unidades pontuais tipo lugares e tipo nós tendem a apresentar valores baixos.⁸¹ Estes resultados salientam a importância das unidades de informação lineares e de área na hierarquização da rede da ordem simbólica. Portanto, os mesmos são os principais organizadores e estruturadores da rede, a partir dos quais os demais componentes podem ser relacionados indiretamente entre si.

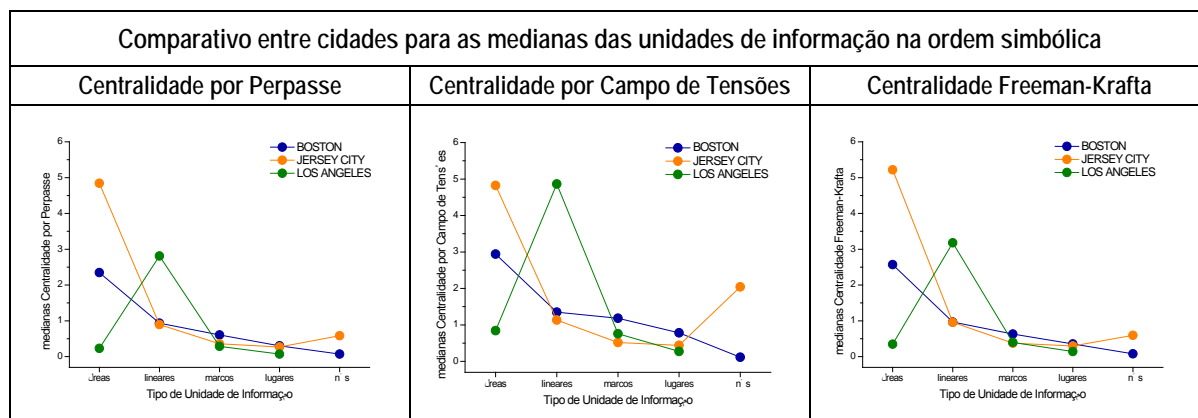


Tabela 28 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base nas medianas da Centralidade por Perpasse, Centralidade por Campo de Tensões e Centralidade Freeman-Krafta normalizadas na rede da ordem simbólica. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).

O comparativo do comportamento das medianas por cidade demonstra que o padrão geral de valores baixos associados às unidades de informação pontuais é muito similar entre cidades. Porém as medianas maiores, associados às unidades lineares e tipo áreas, compõem de modo distinto por cidade, indicando diferenças estruturais na organização da ordem simbólica.

Em Boston e Jersey City as unidades de informação tipo áreas apresentam uma tendência a estarem associadas a valores altos de centralidade, enquanto as unidades lineares possuem valores apenas levemente maiores que as diversas unidades pontuais. Portanto, para estas cidades, a hierarquização da ordem simbólica está associada principalmente ao papel desempenhado pelas unidades de

⁸⁰ Como o padrão distributivo para estas medidas apresenta caudas bastante pesadas, a observação das tendências de comportamento sempre é feita de modo a dar mais ênfase à distribuição dos valores mais altos.

⁸¹ Em parte os resultados obtidos estão condicionados pela própria estrutura configuracional das unidades de informação (número e disposição relativa dos espaços físicos constituintes), mas outros fatores como a posição estratégica de cada unidade de informação dentro da estrutura urbana e na supra-estrutura cognitiva também interferem no comportamento observado, conforme será esclarecido ao longo da análise.

informação tipo área. Os dados confirmam as observações de Lynch (1960: 16-17; 22; 66-67) sobre a importância destes componentes em Boston e sobre a estrutura centrada em duas regiões em Jersey City (*ibid.*: 29) embora, nesta última, o papel das áreas não tenha sido destacado. Na cidade de Los Angeles a situação se inverte e são as unidades de informação lineares que apresentam a tendência a possuírem os valores mais altos. Assim, para Los Angeles, a hierarquização da ordem simbólica está associada a suas unidades de informação lineares, sustentando as observações de Lynch (*ibid.*: 44) sobre a importância destas para a imagem pública.

As diferenças observadas entre cidades não se explicam apenas por Los Angeles apresentar unidades de informação tipo áreas com menores dimensões. Existem outros aspectos responsáveis pelas diferenças conforme ficará evidente pelo comportamento na supra-estrutura cognitiva, onde não há a interferência direta deste aspecto.

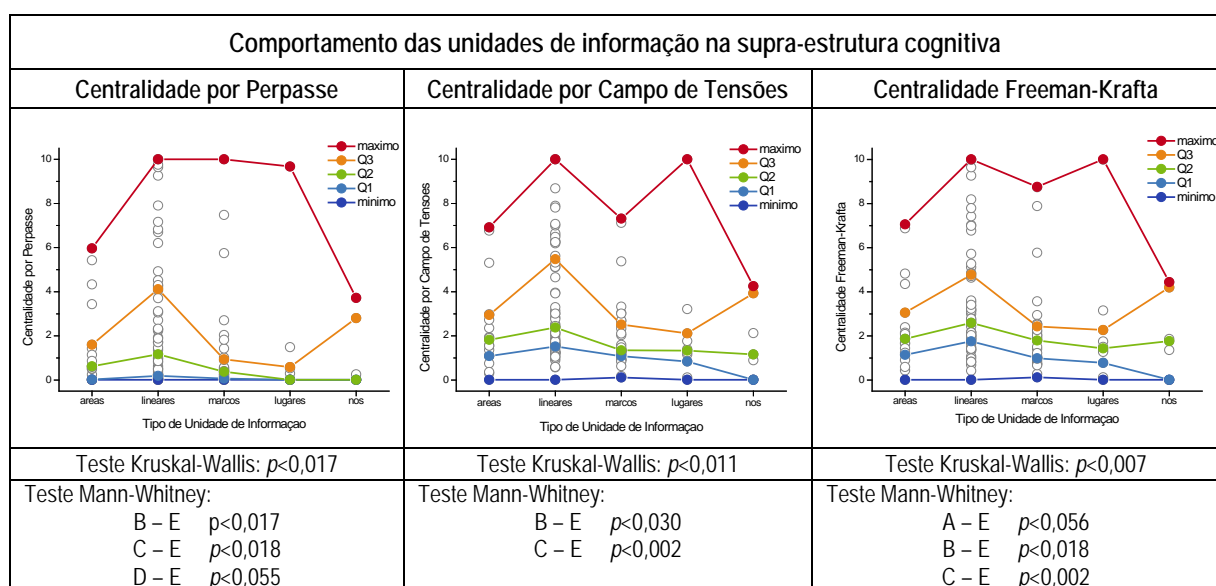


Tabela 29 - Análise da supra-estrutura cognitiva. Gráficos de dispersão com intervalos interquartílicos e a análise estatística da diferenciação entre unidades de informação para as medidas Centralidade por Perparse, Centralidade por Campo de Tensões e Centralidade Freeman-Krafta. Dados para o conjunto das cidades analisadas, onde: A - unidades de informação tipo área; B - unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares.

Na supra-estrutura cognitiva os testes estatísticos também indicam diferenças significativas ao nível de $p < 0,05$ entre alguns tipos de unidade de informação. A tendência geral observada segue o padrão detectado na rede da ordem simbólica, com as unidades de informação lineares e de área associadas a valores mais altos e

as unidades pontuais tendendo a apresentar valores mais baixos. As unidades de informação lineares se destacam por terem uma diferenciação maior, a ponto da mesma ser estatisticamente significativa em relação aos diversos tipos de unidades de informação pontuais.

A consistência entre o comportamento apresentado pela rede da ordem simbólica e da supra-estrutura cognitiva indica que os valores mais altos associados às unidades de informação tipo áreas e, principalmente, lineares, assim como os valores mais baixos relativos às unidades pontuais são o resultado de algum aspecto da funcionalidade destas unidades de informação, e não apenas o efeito do número de espaços físicos associados às mesmas. Fica, assim, confirmada novamente a importância das unidades de informação lineares e de área para a estruturação e organização das informações ambientais. Também fica indicado que esta importância, muito provavelmente, é resultante dos aspectos cognitivos envolvidos na formação da ordem simbólica. As similaridades entre redes apontam, ainda, no sentido de que a hierarquização introduzida no sistema urbano com a ordem simbólica advém do modo como as informações são organizadas e estruturadas na supra-estrutura cognitiva.

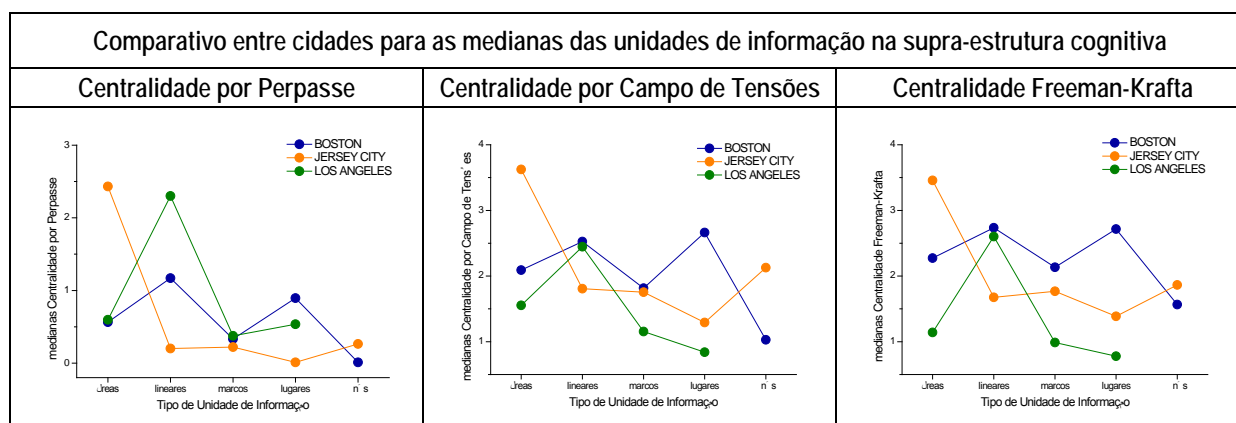


Tabela 30 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base nas medianas das medidas Centralidade por Perpasso, Centralidade por Campo de Tensões e Centralidade Freeman-Krafta normalizadas na rede da supra-estrutura cognitiva. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).

As características genéricas apontadas anteriormente para as unidades de informação adquirem configurações particulares por cidade, conforme fica evidenciado na análise comparativa das medianas (tabela 30). As divergências no comportamento dizem respeito tanto ao *ranking* assumido por cada tipo de unidade de informação, quanto ao grau de variação entre seus comportamentos medianos.

No entanto, uma análise restrita aos 25% dos vértices com os mais altos valores em cada cidade revelou que a participação das unidades de informação lineares é sempre preponderante na construção das relações indiretas dentro da supra-estrutura cognitiva. Em Los Angeles 100% dos vértices neste intervalo correspondem a unidades de informação lineares, para Boston são 70% e em Jersey City são 50%, novamente confirmando a importância das unidades de informação lineares para a estruturação da supra-estrutura cognitiva.

A variabilidade de comportamento entre cidades é um indicativo de que também existem especificidades na organização da supra-estrutura cognitiva⁸². Os dados sugerem que a tendência geral de comportamento para estas medidas está associada à importância estrutural que cada tipo de unidade de informação assume na ordem simbólica. Assim, Los Angeles apresenta a maior mediana para as unidades de informação lineares e medianas significativamente menores para os demais tipos de unidades de informação, indicando uma forte dependência nas primeiras para a estruturação da sua imagem pública, confirmando as observações de Lynch (1960: 44). Boston apresenta valores próximos para as unidades lineares, marcos referenciais, áreas e lugares indicando mais equilíbrio entre as unidades de informação responsáveis pelas informações locais e globais da rede. Comportamento este, condizente com a maior importância das áreas e a qualidade da informação local descrita por Lynch (*ibid.*: 17; 22; 66-67). Jersey City possui medianas significativamente mais altas para as unidades de área e valores baixos para todos os demais tipos de unidades de informação, possivelmente em decorrência da estruturação das representações mentais estarem organizadas a partir de uma das duas regiões topográficas (*ibid.*: 29) - cada uma contendo uma única unidade de informação tipo área, sendo provável que as mesmas sirvam de identidade para as respectivas regiões.

Estes resultados iniciais com as medidas de centralidade sugerem que as mesmas, ao serem aplicadas à rede da supra-estrutura cognitiva, são potencialmente úteis na descrição do modo como são organizadas as informações na ordem simbólica.

⁸² Cabe ressaltar que estas diferenças são realçadas de modo mais enfático devido a natureza das medidas que leva a distribuições com caudas bastante pesadas (mesmo com um número restrito de dados) e aos dados desbalanceados por classe.

As três definições de centralidade são análogas e, pelos resultados obtidos aqui, não é possível concluir qual delas é mais adequada para descrever as características da ordem simbólica e suas unidades de informação. Nos testes estatísticos foi constatada uma leve vantagem da medida Centralidade Freeman-Krafta.

8.5 Interferência no comportamento da rede

O comportamento das unidades de informação quanto a sua capacidade de interferência na eficiência de funcionamento da rede foi definida com base na medida Centralidade por Informação. A medida é utilizada na sua versão normalizada por re-escalamento linear para o intervalo de 0 a 10 conforme os critérios expostos nas medidas anteriores.

A Centralidade por Informação, ao medir as alterações da Eficiência Global da rede à remoção de seus componentes, é capaz de indicar quais são as unidades de informação que colaboram de forma mais efetiva para uma conectividade mais eficiente na rede e, portanto, contribuem para que a ordem simbólica transforme a estrutura urbana numa *small-worlds*.

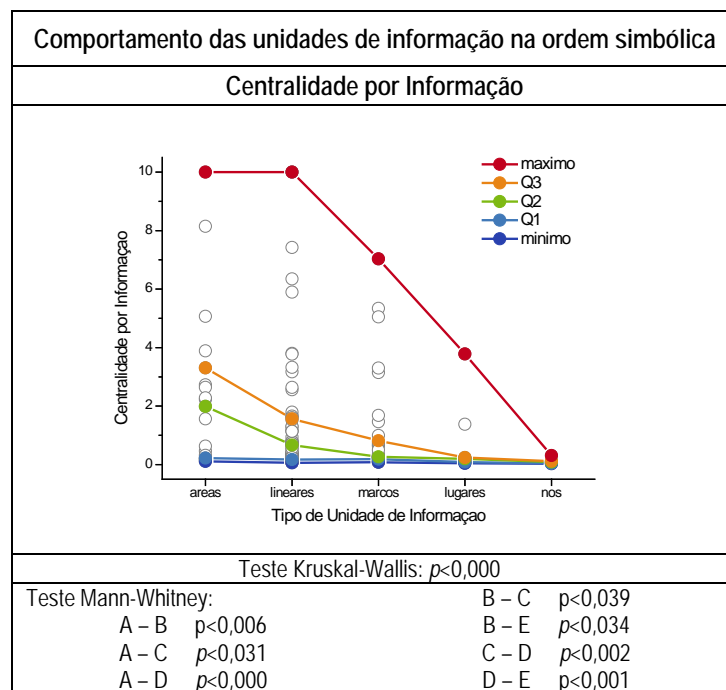


Tabela 31 - Gráfico de dispersão com intervalos interquartílicos e a análise estatística da diferenciação entre unidades de informação para a medida Centralidade por Informação. Dados para o conjunto das cidades analisadas, onde: A - unidades de informação tipo área; B - unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares.

Na rede da ordem simbólica os testes Kruskal-Wallis e Mann-Whitney detectaram diferenças significativas ao nível de $p < 0,05$ entre algumas das unidades de informação, conforme consta na tabela 31. A análise estatística e a observação da tendência geral de comportamento apontam para maiores probabilidades das unidades de informação tipo áreas estarem associadas a valores mais altos de Centralidade por Informação enquanto as unidades de informação pontuais tendem a apresentar valores baixos. As unidades de informação lineares, embora comparáveis na amplitude de valores com as unidades tipo área, apresentam uma mediana relativamente baixa, mais próxima daquela apresentada pelas unidades pontuais.

Os resultados indicam que as unidades de área e, em menor monta, as unidades lineares são as que colaboram de forma mais significativa para a eficiência do funcionamento da rede da ordem simbólica. São estes dois tipos de unidades de informação os principais responsáveis pelas mudanças na conectividade da rede que tornam o sistema urbano numa *small-worlds*.

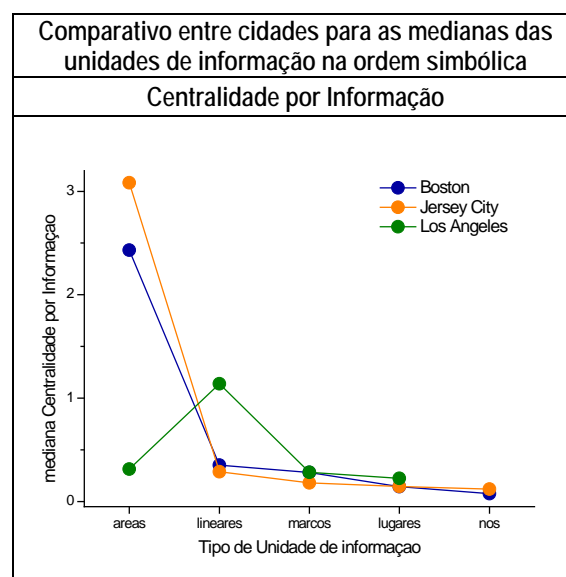


Tabela 32 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base na mediana da Centralidade por Informação normalizada na rede da supra-estrutura cognitiva. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).

A comparação entre cidades para as medianas da Centralidade por Informação indica similaridades no comportamento associado às unidades de informação pontuais e diferenças marcantes para o comportamento das unidades de informação tipo áreas e lineares.

Para Boston e Jersey City as áreas tendem a interferir mais no padrão de conectividade da rede da ordem simbólica, enquanto em Los Angeles a maior interferência está associada às unidades lineares. Para Boston e Los Angeles o comportamento detectado confirma as observações de Lynch sobre a importância de cada componente nas respectivas imagens públicas (Lynch, 1960: 16-17; 22; 44; 66-67).

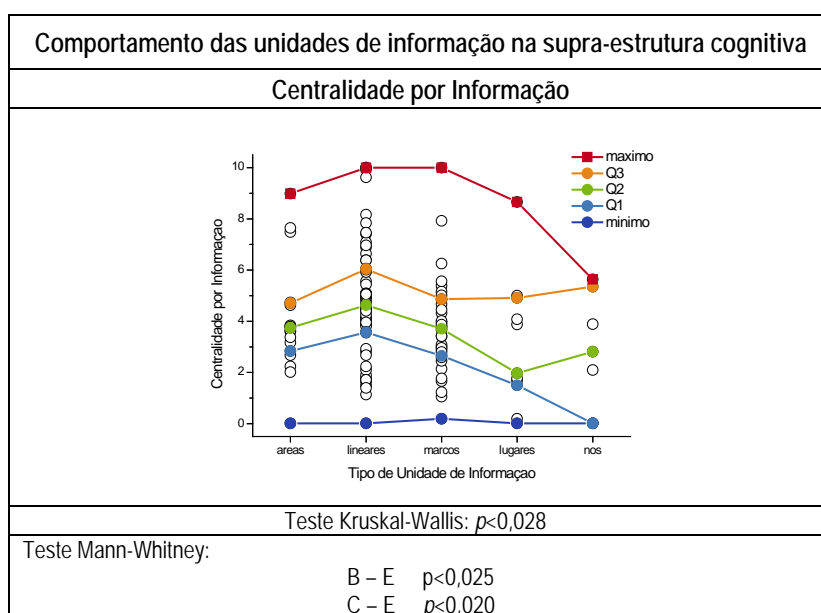


Tabela 33 - Análise da supra-estrutura cognitiva. Gráfico de dispersão com intervalos interquartílicos e análise estatística da diferenciação entre unidades de informação para a medida Centralidade por Informação. Dados para o conjunto das cidades analisadas, onde: A - unidades de informação tipo área; B - unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares.

Na rede da supra-estrutura cognitiva as diferenciações com significância estatística ao nível de $p < 0,05$ são mais reduzidas, apenas distinguindo as unidades de informação lineares das pontuais tipo lugares e marcos referenciais arquitetônicos. A análise do comportamento das medianas indica uma tendência geral das unidades de informação lineares apresentarem os valores mais altos de Centralidade por Informação, denunciando que a conectividade global da supra-estrutura cognitiva depende mais fortemente do papel desempenhado por estas unidades de informação.

A alteração no *ranking* das unidades de informação lineares e de área da rede da ordem simbólica para a rede da supra-estrutura evidencia a forma distinta como as mesmas colaboram para tornar o sistema urbano numa *small-worlds*. As

unidades de informação tipo áreas contribuem pela supressão de um grande número de espaços públicos contíguos - eliminando a necessidade de informações detalhadas sobre regiões inteiras do ambiente urbano. Já as unidades de informação lineares são mais decisivas para a eficiência das conectividades na supra-estrutura cognitiva e, considerando-se sua baixa transitividade (tabela 22, p. 234) e alta centralidade (tabela 29, p. 243), podemos dizer que as mesmas colaboram através das conectividades de longo alcance por elas geradas.

Em termos cognitivos pode-se colocar que, muito provavelmente, uma organização das informações nas representações mentais capaz de dar coerência e unidade às informações sobre o ambiente urbano tende a depender fortemente das conexões geradas pelas unidades de informação lineares. O fato também significa que a atribuição de valores baixos na Centralidade por Informação para as unidades de informação lineares pode indicar deficiências na unidade ou estrutura global da ordem simbólica.

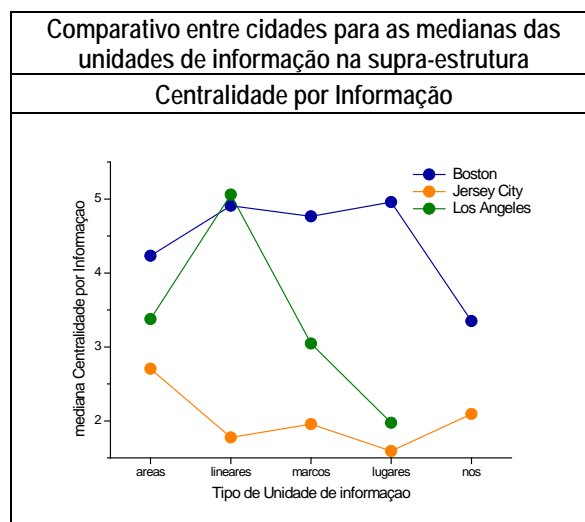


Tabela 34 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base na mediana da Centralidade por Informação normalizada na rede da supra-estrutura cognitiva. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).

O comparativo entre cidades indica que existem distinções entre estas para o comportamento das unidades de informação na rede da supra-estrutura cognitiva. As variações dizem respeito tanto ao *ranking* de cada tipo de unidade de informação, quanto ao grau de diferenciação entre as medianas.

Boston e Los Angeles apresentam as maiores medianas associadas às unidades de informação lineares, enquanto em Jersey City as mesmas apresentam

uma das medianas mais baixas. O comportamento observado parece confirmar a suposição da importância do desempenho das unidades lineares para a Centralidade por Informação na formação de uma imagem pública sem grandes fragmentações internas, já que Jersey City é a única cidade reportada com esta dificuldade (Lynch, 1960: 15; 29; 32). A investigação mais detalhada do padrão de dispersão dos dados nas três cidades indica que o problema em Jersey City, possivelmente, está relacionado com o número reduzido de unidades de informação lineares com bom desempenho.

Quanto ao grau de distinção no comportamento das diferentes unidades de informação, Los Angeles tem diferenciações marcantes entre as medianas associadas a cada tipo de unidade de informação, enquanto Boston e Jersey City apresentam baixa diferenciação. Os motivos que levam a estas diferenças não estão claras, apenas podemos dizer que em Boston e Jersey City a responsabilidade pela eficiência global da rede está mais equitativamente distribuída pelos diferentes tipos de unidade de informação, enquanto em Los Angeles esta responsabilidade está fortemente concentrada sobre as unidades de informação lineares.

8.6 Relações com a redundância na supra-estrutura

As unidades de informação podem ter desempenhos diferentes quanto a sua participação no nível de redundância da supra-estrutura cognitiva, indicando papéis distintos na flexibilização das relações entre os componentes da ordem simbólica. A avaliação desta característica foi feita pela verificação do número de ciclos com comprimentos de 3 a 9 que passam por cada tipo de unidade de informação.

Comportamento do número de ciclos por tipo de unidade de informação na rede da supra-estrutura			
Ciclos - 3	Ciclos - 4	Ciclos - 5	Ciclos - 6
Teste Mann-Whitney:			
C - D $p < 0,034$ C - E $p < 0,031$	C - D $p < 0,031$ D - E $p < 0,018$	D - E $p < 0,022$	D - E $p < 0,031$
Ciclos - 7	Ciclos - 8	Ciclos - 9	Somatório
Teste Mann-Whitney:			
D - E $p < 0,041$	D - E $p < 0,036$	D - E $p < 0,043$	C - D $p < 0,037$ D - E $p < 0,018$

Tabela 35 - Gráficos das medianas do Número de Ciclos e a análise estatística da diferenciação entre as unidades de informação com base no Número de Ciclos de diferentes comprimentos. Dados para o conjunto das cidades analisadas, onde: A - unidades de informação tipo área; B - unidades de informação pontuais tipo lugares; C - unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos; D - unidades de informação pontuais tipo nós; E - unidades de informação lineares.

A análise dos dados normalizados por re-escalamento linear referentes às três cidades não apresentou nenhum resultado estatisticamente significativo ao nível de $p < 0,05$ com os testes Kruskal-Wallis. O teste Mann-Whitney detectou diferenças apenas entre as unidades de informação lineares e pontuais tipo nós com ciclos de comprimento igual ou maiores que 4, e para as unidades de informação tipo marcos referenciais arquitetônicos com as unidades lineares e pontuais tipo nós para ciclos de comprimentos 3 e 4. Baseado nestes resultados podemos colocar que, de modo geral, as unidades de informação lineares estão associadas a um número significativamente maior de ciclos com comprimentos maiores do que as unidades de informação pontuais tipo nós.

Também é possível observar que, para os ciclos com comprimentos menores que 6, as unidades de informação tipo marcos referenciais arquitetônicos são as que apresentam as maiores medianas, enquanto que a partir de ciclos com comprimento 7, as medianas das unidades de informação lineares passam a ser as mais altas.

Em termos cognitivos o padrão de comportamento detectado indica que numa escala mais local são principalmente os marcos referenciais arquitetônicos que

facilitam a flexibilização das relações entre os componentes da ordem simbólica. Já na escala global da rede este papel cabe às unidades de informação lineares.

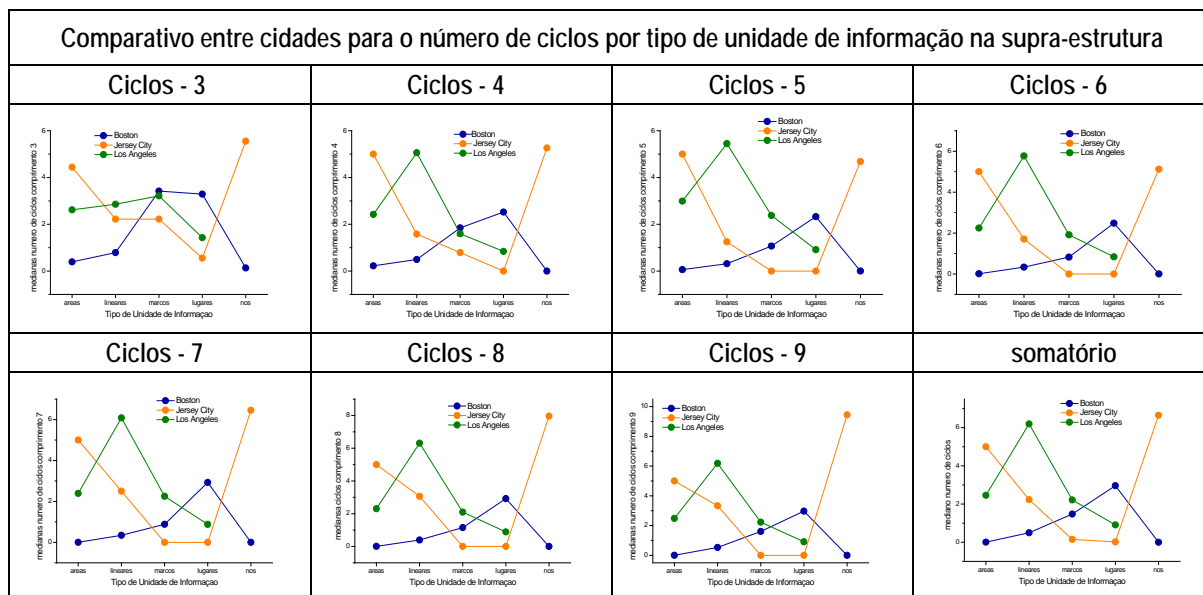


Tabela 36 - Comparativo entre cidades para o comportamento típico das unidades de informação com base nas medianas do Número de Ciclos de diferentes comprimentos. Dados para Boston (azul), Jersey City (laranja) e Los Angeles (verde).

O comparativo entre cidades aponta para diferenças significativas entre estas, indicando que a tendência geral observada anteriormente adquire peculiaridades que relativizam a validade de um comportamento estabelecido por tipo de unidade de informação. Apesar das diferenças, um exame mais detalhado dos componentes com os valores mais altos revela que em todas as cidades, neste extrato de valores, a participação das unidades lineares é sempre expressiva, principalmente nos ciclos de comprimentos maiores⁸³. Aparentemente estar associado a um número significativo de ciclos com comprimentos maiores é uma característica inerente às unidades de informação lineares. Característica esta, relacionada com o papel desempenhado por esse tipo de unidade de informação na supra-estrutura cognitiva.

A variação encontrada no comportamento por cidade sugere que o número de ciclos associados aos diferentes tipos de unidades de informação está fortemente influenciado pela estrutura urbana e/ou por especificidades na organização da ordem simbólica. Um exame do padrão espacial da distribuição dos diversos

⁸³ Os valores relativamente baixos das medianas das unidades de informação lineares em Jersey City e, principalmente, Boston devem-se ao grande número de unidades que apresentam valores baixos e está associado ao padrão distributivo da medida que se aproxima de uma lei de potência.

comprimentos de ciclos revela que existe uma relação entre o comportamento observado e o sistema urbano em termos da densidade da imagem pública.

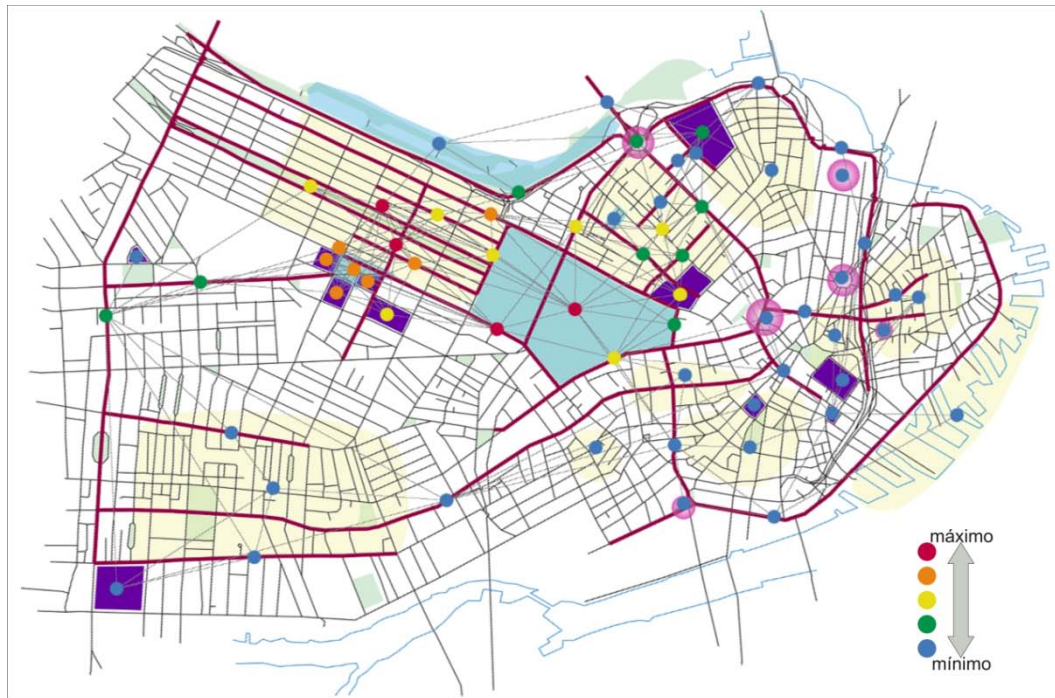


Figura 53 - Supra-estrutura de Boston com o somatório de ciclos por vértice.



Figura 54 - Supra-estrutura de Jersey City com o somatório de ciclos por vértice.



Figura 55 - Supra-estrutura de Los Angeles com o somatório de ciclos por vértice.

Tendo em conta que os componentes com os valores mais altos ficam concentrados na região mais densa da supra-estrutura cognitiva, é possível que um menor número de unidades de informação lineares com valores altos esteja associado às dificuldades de articulação desta região com o restante da estrutura cognitiva. Como consequência seriam encontrados problemas na organização global da ordem simbólica e na navegação urbana.

Esta hipótese está em acordo com os resultados aqui obtidos, onde Boston e, principalmente, Jersey City apresentam uma quantidade mais reduzida de unidades de informação lineares com valores máximos, confirmando as dificuldades reportadas por Lynch (1960: 14; 23; 25; 29; 52) para estas cidades em termos de navegação urbana e organização global de sua estrutura num todo compreensível.

Os resultados obtidos com a análise das redundâncias nas associações da supra-estrutura cognitiva indicam que esta característica está mais relacionada com as especificidades da estrutura presente na ordem simbólica do que com o papel desempenhado por cada tipo de unidade de informação. A única exceção fica por

conta das unidades de informação lineares, para as quais a presença entre os vértices com os mais altos valores da rede é uma constante entre cidades, e cuja participação num maior número de ciclos parece aumentar as qualidades estruturais globais da ordem simbólica.

8.7 Relações entre características configuracionais e frequência de citação

As relações entre as características configuracionais apresentadas pelas unidades de informação e a frequência com que as mesmas comparecem nas entrevistas realizadas por Lynch (1960) foram definidas somente para um conjunto restrito de medidas e apenas para a rede da ordem simbólica devido a diversas limitações que esta análise apresenta. A principal limitação deve-se a natureza duplamente agregada dos dados analisados.

Em primeiro lugar, as frequências de citação encontram-se agregadas em quatro classes no trabalho de Lynch (1960: 146-150), uma das quais foi desconsiderada neste estudo devido a sua baixa representatividade (menos de 25% de citação pelos entrevistados). Este número restrito de classes dificulta a análise estatística e reduz a confiabilidade dos resultados.

Em segundo lugar, a própria imagem pública é o resultado da sobreposição das diversas representações individuais do ambiente. Tendo em vista que a maioria das representações mentais (apesar das fragmentações internas) são tidas como apresentando boa parte dos componentes relacionados entre si por seqüencialidade ou então por regiões (Appleyard, 1970a), existe uma tendência a que os componentes mais citados apresentem maior número de conexões e sejam mais centrais na estrutura da imagem pública. A interferência da agregação nessas duas características configuracionais também acarreta em desdobramentos, com maior ou menor intensidade, nas demais medidas configuracionais aqui abordadas. Como conseqüência, não faz sentido comparar o comportamento das medidas na rede representando a supra-estrutura cognitiva e a frequência com que os componentes são citados. Nos casos das medidas de acessibilidade e das diversas formulações de centralidade, a interferência se estende até a rede da ordem simbólica devido a importância das conectividades cognitivas na determinação do comportamento dessas medidas.

Os testes realizados na rede da supra-estrutura cognitiva com todas as medidas influenciadas pela agregação das entrevistas (Grau do Vértice, Excentricidade, Acessibilidade, Centralidade por Peripasse, Centralidade por Campo de Tensões, Centralidade Freeman-Krafta, Centralidade por Informação e número de Ciclos) apresentaram, conforme esperado, uma tendência geral à presença de correlações positivas entre a frequência de citação e o valor das medidas. Porém, a análise separada por tipo de unidade de informação, mostrou diferenças importantes entre estas. Para as unidades de informação lineares foram encontradas correlações positivas em todas as medidas. As correlações positivas também aparecem em algumas medidas para as unidades de informação tipo áreas e, em menor monta, para as unidades pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos. As unidades de informação pontuais tipo lugares não apresentam correlações claras. Já, para as unidades de informação pontuais tipo nós, aparecem tanto correlações positivas quanto negativas. O comportamento observado em todas as análises mostrou-se, na maioria dos casos, constante entre cidades.

A estabilidade dos padrões de tendência entre cidades e as variações no comportamento das diferentes unidades de informação indicam que devem existir funcionalidades distintas para as diversas unidades de informação e particularidades estruturais na associação entre componentes que devem ser detectáveis nas representações mentais dos indivíduos. Estas características não são passíveis de serem determinadas pela análise da imagem pública. Assim, os resultados observados nesses testes iniciais sugerem que a análise das respostas individuais dos entrevistados com estas medidas pode trazer importantes *insights* para a cognição ambiental, assim como no entendimento da ordem simbólica e sua lógica de estruturação interna⁸⁴.

⁸⁴ Durante a realização do trabalho a análise individualizada das entrevistas realizadas por Lynch não era possível devido a indisponibilidade da totalidade das mesmas. O acervo de dados das entrevistas encontra-se em fase de digitalização e aquelas que se encontram prontas podem ser acessadas em <http://libraries.mit.edu/archives/research/collections/collections-mc/mc208.html>

Relações entre a frequência de citação e as medidas na rede da ordem simbólica			
Grau do Vértice			
Unidades tipo áreas	Unidades lineares	Unidades tipo marcos	Unidades tipo nós
	Teste Kruskal-Wallis: $p < 0,001$		
	Teste Mann-Whitney: 25-50% - 75-100% $p < 0,003$ 50-75% - 75-100% $p < 0,000$	Teste Mann-Whitney: 25-50% - 75-100% $p < 0,016$	
Coeficiente de Agrupamento			
Unidades tipo áreas	Unidades lineares		Unidades tipo nós
	ANOVA: $p < 0,034$ 25-50% - 75-100% $p < 0,026$		
Eficiência Local			
Unidades tipo áreas	Unidades lineares		Unidades tipo nós
	ANOVA: $p < 0,028$ 25-50% - 75-100% $p < 0,022$		

Tabela 37- Análise estatística e gráficos de dispersão com a indicação das medianas do Grau do Vértice e médias do Coeficiente de Agrupamento e Eficiência Local para as relações relevantes com a frequência de citação. Dados para o conjunto das três cidades analisadas.

Devido às limitações anteriormente expostas, a relação entre frequência de citação e as características configuracionais das unidades de informação só pode ser determinada com clareza para as medidas de transitividade e de Grau do Vértice na rede da ordem simbólica.

A investigação da presença de distinções nas características de conectividade local associadas aos diferentes intervalos de frequência de citação, realizada com os testes Kruskal-Wallis e Mann-Whitney para o Grau do Vértice e o teste One-way ANOVA para as medidas de transitividade, indicaram relações estatisticamente

significativas ($p < 0,05$) em poucos casos. No entanto, a análise do comportamento médio sugere que, para alguns tipos de unidade de informação, as características de conectividade local podem estar associadas a freqüência com que os mesmos são citados.

A análise de tendências detectou uma propensão a que as unidades de informação tipo áreas, lineares, pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos e pontuais tipo nós com maiores freqüências de citação sejam aquelas com maior Grau do Vértice. O fato sugere que, para estas unidades de informação, uma abrangência maior sobre o espaço urbano é capaz de aumentar as probabilidades de citação das mesmas.

A importância da abrangência espacial dessas unidades de informação tem reflexos sobre as medidas de transitividade, onde foi verificado uma tendência a que valores menores estão associados às unidades de informação citadas com maiores freqüências nos casos das unidades tipo áreas, lineares e pontuais tipo nós. A falta de um padrão claro para as unidades de informação tipo marcos referenciais arquitetônicos sugere que os marcos com campos de visualização mais abrangentes e aqueles com campos mais restritos ou localizados podem estar relacionados com comportamentos distintos em termos da freqüência com que são citados.

Na análise comparativa das três cidades não foram detectadas diferenças significativas entre estas para o comportamento geral das relações entre medidas de transitividade e intervalos de freqüência de citação. Porém, na análise comparativa do Grau do Vértice, Los Angeles apresenta um padrão distinto das outras duas cidades para as unidades de informação pontuais tipo lugares e pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos. Diferentemente do que acontece nas demais cidades, em Los Angeles, o aumento no Grau do Vértice está associado a menores freqüências de citação.

Uma possível explicação para esta diferença é que a mesma está relacionada com as dificuldades reportadas nesta cidade por Lynch (1960: 33; 37; 43) quanto à organização do conhecimento de forma mais local, como no caso de definição da posição relativa entre elementos. Estas dificuldades no posicionamento local das informações ambientais podem levar os indivíduos a preferencialmente selecionarem as unidades de informação pontuais que apresentam uma

abrangência menor dentro do sistema urbano - já que estas seriam potencialmente mais úteis no reforço do caráter local das representações mentais. Em sendo confirmada esta possibilidade com outros estudos de caso, a questão das correlações entre o Grau do Vértice e a frequência de citação terá que ser revista já que esta relação estaria condicionada pelas necessidades cognitivas induzidas pelas particularidades do sistema urbano.

8.8 Considerações sobre as características configuracionais da unidades de informação

As análises realizadas sugerem que os diferentes tipos de unidades de informação possuem algumas características configuracionais que lhes são próprias, associadas às funções específicas desempenhadas pelas mesmas dentro da cognição ambiental. As características particulares de cada tipo de unidade de informação podem ser resumidas como:

a) unidades de informação lineares - São os maiores responsáveis pelos ganhos de informação estrutural na ordem simbólica, e têm como característica conectar, principalmente, unidades de informação que não se encontram conectadas entre si. Também estão associadas a um grande número de ciclos de comprimentos longos e, portanto, são responsáveis pela flexibilização da rede na escala global, garantindo múltiplas relações entre os componentes distantes na rede. São os principais responsáveis pela intermediação nas relações indiretas dentro da rede e pela hierarquização de sua estrutura. As unidades de informação lineares atuam como elementos de hierarquização, estruturação e amarração global da ordem simbólica e sua supra-estrutura cognitiva. A importância das unidades de informação lineares para a ordem simbólica é influenciada positivamente pela sua abrangência sobre o espaço físico.

b) unidades de informação tipo áreas - Possuem diversas características gerais similares às unidades de informação lineares: conectam unidades de informação que não se encontram conectadas entre si; podem estar associadas aos ciclos de comprimentos longos, auxiliando na flexibilização da rede na escala global; atuam de modo significativo nas relações indiretas dentro da rede e na hierarquização de sua estrutura; e sua importância é influenciada positivamente pela abrangência sobre o espaço físico. Portanto, as unidades de informação tipo áreas também

atuam como elementos de hierarquização, estruturação e amarração global da ordem simbólica.

c) unidades de informação pontuais tipo marcos referenciais arquitetônicos - Conectam preferencialmente as unidades de informação que possuem conexões diretas entre si, servindo de ênfase nas relações estabelecidas. Estão associadas a um maior número de ciclos de comprimentos curtos, sendo as principais responsáveis pela flexibilização da estrutura local, garantindo múltiplas relações entre os componentes num raio restrito da rede. Apresentam características seletivas em termos de localização na rede, encontrando-se preferencialmente associadas a outras unidades de informação que são privilegiadas em termos de suas características de acessibilidade. A importância das unidades de informação tipo marcos referenciais arquitetônicos é influenciada positivamente pela abrangência de seu campo de visualização no espaço físico.

d) unidades de informação pontuais tipo lugares - Na rede da ordem simbólica caracterizam-se por apresentarem conectividades localmente densas e poucos espaços públicos envolvidos, indicando sua funcionalidade como pontos de ancoragem e posicionamento local da informação ambiental. As unidades de informação a elas conectadas tendem a apresentar conexões entre si, portanto, as unidades de informação tipo lugares reforçam, ou são reforçadas, pelas relações existentes entre outras unidades de informação.

e) unidades de informação pontuais tipo nós - Servem de ancoragem e posicionamento local das informações ambientais devido a suas características de conectividade na rede da ordem simbólica. São pouco seletivas em termos do posicionamento na rede, apresentando grande variabilidade para esta característica.

As unidades de informação lineares e de área são as principais responsáveis pela rede apresentar a propriedade *small-worlds*, onde as primeiras geram as conectividades de longo alcance e as segundas comprimem regiões do espaço físico.

As unidades de informação lineares e tipo áreas também desempenham papéis similares em outros aspectos da estruturação da ordem simbólica. A comparação do comportamento das duas nas três cidades analisadas sugere que ambas podem ser utilizadas como a base principal para a hierarquização,

estruturação e amarração global da imagem pública. Estes resultados estão em acordo e complementam com uma descrição configuracional os entendimentos da área cognitiva sobre as diferentes formas de estruturação das informações ambientais (Lynch, 1960; Appleyard, 1970a; Rapoport, 1977; Baird e Wagner, 1980; Passini, 1992; Anoshian, 1996).

Consistentemente as análises das características de conectividade local, acessibilidade e centralidade sugerem que pode existir algum mecanismo de "compensação" entre essas unidades de informação de modo a garantir o funcionamento adequado da ordem simbólica. Quando o ambiente urbano não facilita a utilização de um desses componentes como base estruturadora, possivelmente os indivíduos, durante seus processos cognitivos, procuram compensar esta necessidade enfatizando o outro componente. Embora alguns estudos da cognição ambiental indiquem que a utilização de estruturas seqüenciais (onde as unidades de informação lineares adquirem um papel fundamental) ou espaciais (onde as unidades de informação tipo áreas desempenham um papel importante) sejam características individuais na formação das representações mentais (Appleyard, 1970a), as análises aqui realizadas sugerem que as especificidades do sistema urbano podem induzir a que um ou outro tipo de estruturação seja preferencialmente selecionado pelos indivíduos, confirmando os entendimentos de Lynch (1960) e Tversky (1996).

Na análise das características dos diferentes tipos de unidades de informação foram detectados outros indicativos da existência de processos cognitivos de "compensação", buscando suprir eventuais dificuldades ou limitações encontradas na organização das informações ambientais:

- a) as dificuldades de estruturação global das informações ambientais aparecem associadas a incrementos no número de componentes lineares presentes na ordem simbólica;
- b) as dificuldades de estruturação local estão relacionadas com incrementos no número de componentes pontuais incluídos na ordem simbólica;
- c) as dificuldades na estruturação local das informações ambientais também aparecem relacionadas com maiores freqüências de citação de marcos referenciais

arquitetônicos e lugares com características mais locais (menor número de conexões no espaço físico).

Estes resultados confirmam o caráter adaptativo da cognição ambiental e sugerem que a estrutura da ordem simbólica é capaz de refletir as dificuldades impostas pelo ambiente urbano na organização das informações ambientais. Portanto, a análise configuracional da ordem simbólica nos parece potencialmente útil na avaliação das deficiências do ambiente urbano em atender aos quesitos de um bom funcionamento da cognição ambiental.

Ao longo deste capítulo algumas das características configuracionais das unidades de informação foram detectadas como relacionadas com os aspectos qualitativos da imagem pública de referência:

- a) a tendência de valores maiores nas medidas de Acessibilidade e Centralidade para as diversas unidades de informação pontuais foram encontradas como associadas a melhores características da informação local na imagem pública;
- b) unidades de informação lineares caracterizadas por baixos valores de Centralidade por Informação na rede da supra-estrutura cognitiva e/ou poucas unidades de informação lineares com valores altos, estão associadas a piores características qualitativas da imagem pública;
- c) unidades de informação lineares com participação reduzida nos ciclos de comprimentos longos e/ou a presença de poucas unidades de informação lineares que atendam a esta participação também estão associadas a baixa qualidade da imagem pública.

Apesar das variações encontradas em termos da estruturação da ordem simbólica e das especificidades no desempenho dos diferentes tipos de unidades de informação, a proporção com que cada tipo de unidade de informação comparece na imagem pública praticamente não se altera nas três cidades analisadas. O fato sugere que a cognição ambiental urbana, de algum modo, requer uma composição bastante específica de unidades de informação para estruturar as representações mentais de forma eficiente. Neste sentido é provável que os indivíduos busquem, ou priorizem, especificamente determinados padrões de informação durante a construção de suas representações mentais.

De modo geral as análises feitas por tipo de unidade de informação reforçam os entendimentos levantados no capítulo anterior sobre a adaptabilidade da cognição ambiental, a construção das representações mentais a partir de padrões específicos de associação entre as unidades de informação, e de que tanto a estruturação presente na ordem simbólica quanto as associações entre as unidades de informação são o resultado das necessidades cognitivas tanto quanto da disponibilidade informacional do ambiente. Aparentemente o ambiente urbano interfere: direcionando as atenções para determinados setores de sua estrutura; facilitando ou dificultando o estabelecimento das relações necessárias para o funcionamento adequado da cognição ambiental, e; induzindo a que certas estratégias de estruturação das informações sejam ou não preferencialmente adotadas.

9. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O espaço urbano e a informação ambiental cognitivamente estruturada presente na imagem pública foram descritos neste trabalho como uma IRN, uma rede única, interconectada, composta por elementos físicos e cognitivos, constituindo aquilo que se chamou de ordem simbólica urbana. O estudo realizado fez um recorte na realidade abordada, desconsiderando o conteúdo semântico da ordem simbólica, e se concentrando nos seus aspectos exclusivamente configuracionais.

O conjunto complexo de inter-relações que se estabelecem a partir da estruturação cognitiva do componente informativo da cidade foi simplificado e reduzido a um grafo. Este último foi concebido de modo a representar como os espaços urbanos estão conectados entre si, como estes espaços estão relacionados com as entidades mentais que estruturam o componente informativo em unidades de informação, e como estes componentes abstratos, cognitivamente gerados, se inter-relacionam.

A simplificação realizada tornou o problema da descrição da estrutura configuracional da ordem simbólica matematicamente manejável, permitindo o uso de um conjunto variado de medidas que avaliam os padrões de conectividade e adjacências entre os componentes do sistema. As medidas aplicadas referem-se tanto a descrições do sistema como um todo, quanto a descrições do comportamento dos componentes em função do todo. A estas medidas foram acrescentados procedimentos de análise estatística tais como descrições dos padrões distributivos das características configuracionais, além de testes não-paramétricos e de comparação de médias entre grupos para a avaliação de correlações entre variáveis configuracionais e cognitivas. Estes procedimentos, conjuntamente com as análises empíricas de distribuição espacial e o auxílio dos entendimentos teóricos constantes nos estudos de redes, permitiram uma descrição quantitativa das características configuracionais da estrutura presente na ordem simbólica, assim como uma definição de suas prováveis propriedades.

Ao longo da investigação realizada foram destacadas, ao final de cada capítulo, as conclusões passíveis de serem traçadas a partir das análises feitas. Embora os resultados alcançados possam ser assumidos como conclusões, o

número restrito de estudos de caso analisados e a falta de referências específicas de trabalhos similares fazem com que estas conclusões devam ser consideradas como observações especulativas ou conclusões de caráter provisório. Neste capítulo vamos resgatar estas conclusões, definido um quadro geral dos resultados alcançados, assim como as limitações e as possibilidades de desenvolvimento futuro. As conclusões permitidas estão agrupadas em tópicos de modo a destacar a área para a qual as mesmas potencialmente contribuem.

9.1 Contribuições para a compreensão da ordem simbólica

A análise da estrutura configuracional da ordem simbólica detectou características que podem ser interpretadas como gerais, que parecem aplicáveis a qualquer sistema urbano, e características que adquirem configurações particulares conforme a cidade considerada.

O primeiro grupo de características pode ser considerado inerente ao sistema urbano cognitivamente estruturado e, provavelmente, indica as características necessárias para a cognição humana ser operacional e efetiva nas interações cotidianas com o meio ambiente. Este grupo de características apresentou variações em intensidade, mas não no modo como se manifesta por cidade.

O segundo grupo de características aparentemente engloba os aspectos mais flexíveis da cognição ambiental, e confirma o entendimento da área cognitiva de que as peculiaridades do ambiente urbano requerem adaptações nos processos cognitivos de estruturação das informações ambientais (Lynch, 1960; Appleyard, 1970a; Rapoport, 1977; Baird e Wagner, 1980; Passini, 1992; Anoshian, 1996). Para este grupo de características, as variações observadas dizem respeito à intensidade e ao modo como comparecem por cidade. Para algumas destas características a relação com a estrutura configuracional do espaço urbano aparece de forma bastante evidente. Esta importância da estrutura configuracional do ambiente urbano poucas vezes comparece nos trabalhos mais tradicionais da área cognitiva e, em geral, limita-se a uma avaliação de configurações localizadas do sistema.

A possibilidade de dividir as características da estrutura configuracional da ordem simbólica nestes dois grupos leva a uma primeira consideração de ordem

geral: a estrutura da ordem simbólica está condicionada pelas características da cognição humana e pela configuração do ambiente urbano, conforme defendido por Lynch (1960: 6), Rapoport (1977: 26), Moore (1979) e Kaplan e Kaplan (1982: 5-6). Nenhum destes aspectos define sozinho o ordenamento que as informações ambientais adquirem no sistema urbano. Portanto, a cognição ambiental urbana não só admite, como requer a abordagem simultânea dos dois aspectos - de modo integrado e indissociável - para que se possa avançar na compreensão de seus processos de estruturação das informações ambientais.

Na seqüência são apresentadas as conclusões sobre a estrutura presente na ordem simbólica dividida nos dois grupos: as características gerais e as que assumem configurações particulares.

9.1.1 As características gerais da ordem simbólica

A comparação da rede de espaços urbanos com a rede da ordem simbólica mostrou que o ambiente urbano, ao ser cognitivamente estruturado:

a) altera a sua lógica estrutural - passa de uma lógica ditada pela minimização das distâncias geográficas para aquela ditada pela minimização das distâncias topológicas. A cognição ambiental, ao organizar as informações ambientais em unidades de informação coerentes e passíveis de retenção na memória, introduz no sistema a possibilidade de relacionar qualquer par de espaços urbanos com um número bastante restrito de associações cognitivas ou passos topológicos. A estrutura com características aproximadamente em grelha, passa a se comportar como uma *small-worlds*.

b) apresenta características condizentes com uma maior estabilidade estrutural - as características estruturais observadas na ordem simbólica, ao serem comparadas com aquelas presentes no ambiente urbano, indicam que a primeira é mais estável e robusta que a segunda. Embora nenhum estudo tenha sido feito no sentido de verificar o comportamento dinâmico da ordem simbólica, o comparativo com os resultados alcançados nos estudos de redes, permite levantar como hipótese que a ordem simbólica, provavelmente, se altera numa taxa muito mais lenta que aquela referente ao ambiente urbano.

c) gera uma maior diferenciação e hierarquização entre os espaços públicos - a cognição ambiental torna a distribuição das propriedades compartilhadas do sistema mais desigual entre seus componentes. Com isso os espaços públicos adquirem uma certa hierarquização, onde alguns passam a ser significativamente mais privilegiados do que outros. Este incremento nas desigualdades configuracionais dos espaços urbanos significa que as informações ambientais presentes nos mesmos não interferem do mesmo modo no sistema. Espaços privilegiados "impõem" suas informações de forma mais efetiva, enquanto informações presentes nos espaços menos privilegiados podem, inclusive, ser negligenciadas.

d) converge para um nível fixo de hierarquização para a propriedade de centralidade - independente do nível de hierarquia originalmente presente no ambiente urbano para as características de centralidade, a cognição ambiental funciona no sentido de elevar a hierarquização até um mesmo patamar. Aparentemente, todo sistema urbano cognitivamente estruturado apresenta um nível similar de hierarquização na concentração das interações indiretas entre os componentes do sistema. Os dados analisados sugerem que a cognição ambiental, de algum modo, necessita que as informações do ambiente sejam estruturadas de forma a atingir esse patamar para que as relações do indivíduo com o meio sejam funcionalmente facilitadas. Ambientes urbanos mais hierarquizados em sua estrutura espacial possivelmente facilitam o trabalho da cognição ambiental em impor ao sistema o nível desejável de hierarquização.

e) a hierarquização introduzida no sistema urbano advém do modo como as informações são organizadas na supra-estrutura cognitiva - a comparação do comportamento das medidas de centralidade para as unidades de informação na ordem simbólica e na supra-estrutura cognitiva indica que o padrão observado na supra-estrutura cognitiva mantém-se relativamente estável na ordem simbólica. Por conseguinte, pode-se dizer que a hierarquia imposta ao sistema urbano pela cognição ambiental, muito provavelmente, advém das relações mantidas entre as unidades de informação conforme aparecem nas representações mentais. A observação deste fato tem como conseqüência o entendimento de que as representações mentais não são somatórios de informações escolhidas com base exclusivamente nos aspectos da observação direta do ambiente. As informações selecionadas dependem também da configuração global que a representação

mental irá assumir. Deste modo, os entendimentos sobre a seleção das informações por "relevância" (Ittelson, 1978; Gärling e Golledge, 1989) aqui adquire uma nova dimensão e, contradizendo observações como as de Golledge e Zannaras (1970) sobre a seleção das informações ser referente ao que é "relevante naquele momento", a mesma parece ter em conta principalmente a configuração que a informação ambiental irá adquirir enquanto conjunto organizado de informações.

f) transforma as características da disponibilidade informacional do sistema - a cognição ambiental amplia as informações disponíveis no ambiente no sentido de introduzir informações de significado, de posicionamento local, de informação sobre a estrutura global, além de facilitar a geração de novas informações por associações indiretas. Todos estes aspectos observados confirmam os entendimentos gerais da área cognitiva. Em nossa análise esses ganhos puderam ser descritos quantitativamente e se revelaram um elemento diferenciador das características qualitativas associadas a ordem simbólica. Os resultados observados sugerem que tanto as variações nas relações de proporcionalidade entre informações locais e globais, quanto o excesso ou deficiência de algum tipo de informação possivelmente refletem em problemas qualitativos na ordem simbólica. A existência de limiares superiores e inferiores na quantidade de cada tipo de informação introduzida e/ou a existência de uma relação de equilíbrio entre informações locais e globais surgem como questões a serem melhor investigadas, já que o número de casos estudo é bastante restrito e se desconhece trabalhos anteriores que tratam da questão.

g) comprime a estrutura espacial e melhora a acessibilidade cognitiva - a cognição ambiental trabalha no sentido de "encolher" a estrutura espacial, melhorar e otimizar a acessibilidade cognitiva dos seus componentes em termos de distâncias máximas e, ao mesmo tempo, introduzir uma maior diferenciação entre os espaços urbanos para a alcançabilidade média, de modo a permitir uma maior hierarquização entre os mesmos para esta característica. A intensidade com que as características descritas ocorrem está relacionada com a qualidade da ordem simbólica, onde intensidades maiores repercutem em ordens simbólicas com melhores qualidades.

h) melhora suas características de navegabilidade - a navegabilidade do sistema urbano é facilitada pela estruturação adquirida por meio da cognição ambiental. Esta é, para muitos autores, a função primeira da cognição ambiental e suas representações mentais (Passini, 1992: 159; Harrison e Howard, 1972). Na ordem

simbólica o número de associações necessárias para relacionar qualquer par de espaços urbanos é bastante reduzido. Outro aspecto importante é que a distância que separa um espaço urbano qualquer de uma região cognitivamente estruturada (portanto, reconhecível) do sistema é pequena. Existem dois aspectos configuracionais que contribuem para este fato: a quantidade de espaços urbanos abarcados pelas unidades de informação, e o padrão de distribuição espacial que as unidades de informação assumem no ambiente urbano.

i) passa a depender das unidades de informação mais abrangentes para a manutenção de suas características estruturais - as propriedades estruturais introduzidas no sistema urbano com a cognição ambiental dependem fortemente do papel desempenhado pelas unidades de informação que abarcam um maior número de espaços físicos, notadamente as tipo áreas e lineares. Os dados analisados sugerem que quanto maior a capacidade de interferência dessas unidades de informação no funcionamento do sistema, melhores as qualidades da ordem simbólica.

A análise da rede de espaços urbanos e sua comparação com o comportamento da ordem simbólica também indica que:

j) existe uma relação entre a localização das unidades de informação e a estrutura configuracional do espaço urbano - a localização das unidades de informação presentes na ordem simbólica está condicionada pela estrutura hierárquica dos espaços urbanos definida por suas características de intermediação nas relações indiretas dentro do sistema. As unidades de informação tendem a aparecer localizadas nas regiões com maiores valores de centralidade. Se tivermos em conta que os estudos configuracionais urbanos indicam uma correlação entre estas áreas com a presença de um maior fluxo de pedestres e veículos, podemos concluir que as unidades de informação incluídas nas representações mentais, muito provavelmente, encontram-se vinculadas aos deslocamentos dos indivíduos pelo ambiente urbano, conforme preconizados pelos estudos da área cognitiva (Appleyard, 1969; Saarinen, 1976: 7; Rapoport, 1977: 117).

A análise das características estruturais da supra-estrutura cognitiva aponta como características gerais, presentes na ordem simbólica:

k) a não aleatoriedade das conexões entre as unidades de informação.

l) a proporcionalidade entre os diferentes tipos de unidades de informação - a porcentagem de unidades de informação por tipo é muito similar entre cidades, indicando alguma lógica estrutural que independe do sistema considerado. É possível que a cognição ambiental urbana requeira uma composição bastante específica de unidades de informação para estruturar as representações mentais de forma eficiente. Neste sentido, é provável que os indivíduos busquem, ou priorizem, especificamente determinados padrões de informação durante a construção de suas representações mentais. É levantado como hipótese que as pequenas variações encontradas no padrão global são decorrentes dos "ajustes" feitos pela cognição ambiental na tentativa de solucionar as dificuldades encontradas na estruturação das informações ambientais. As dificuldades encontradas levam a um aumento na participação das unidades de informação que podem de algum modo auxiliar na redução do problema - dificuldades de estruturação local elevam o número de unidades de informação pontuais, enquanto dificuldades na estruturação global aumentam a participação de unidades de informação mais abrangentes, principalmente as lineares.

m) a presença de modularidade - aparentemente a presença de modularidade na supra-estrutura cognitiva decorre dos agrupamentos de informações ambientais gerados pelos processos de exploração do ambiente e condicionados pela localização geográfica. Foram identificados módulos cujas características sugerem que os mesmos refletem estruturas de informação construídas a partir da exploração ativa de uma região restrita da malha urbana, e outros que condizem com estruturas de informação originadas através dos deslocamentos de longa distância. Os primeiros são organizados a partir de uma unidade de informação tipo área ou pontual tipo lugar, e os segundos a partir de uma unidade de informação linear. Uma terceira situação identificada refere-se a sobreposição, ou união, de dois desses módulos através do papel aglutinador de um marco referencial arquitetônico. A configuração distinta dos módulos que aparentam ser gerados pela exploração local do ambiente e daqueles originados pelos deslocamentos de longa distância, confirmam os entendimentos da área cognitiva de que as diferenças no modo de explorar o ambiente levam a particularidades na forma como a cognição ambiental atua na organização das informações disponíveis. Também fica evidenciado que as representações mentais incorporam as informações advindas dessas diversas

modalidades de interação com o ambiente, apresentando, portanto, uma estrutura com variabilidades estruturais internas.

n) a presença de padrões recorrentes de associação - onde as associações mais freqüentes são aquelas envolvendo as unidades de informação lineares, de área e marcos referenciais arquitetônicos nas diversas configurações com 2 a 3 componentes. O comportamento observado sugere a existência de complementaridades funcionais entre estas unidades de informação, onde merece destaque a participação constante das unidades de informação lineares. Outra constante nos padrões de associação é a tendência dos diversos tipos de unidade de informação pontuais encontram-se associadas com as unidades de informação mais amplas (áreas e lineares), num comportamento condizente com as funcionalidades de ancoragem e definição da localização previstas pela área cognitiva (Rapoport, 1977: 237; Couclelis *et al.* 1987; Gifford, 1997). A constância encontrada nos padrões de associação aponta no sentido da presença de estratégias específicas na organização da informação ambiental, ditadas por necessidades da cognição ambiental urbana e oriundas dos processos diretos de exploração do ambiente.

o) o forte condicionamento exercido pelos processos cognitivos - a constância verificada na proporcionalidade do número de unidades de informação por tipo, na configuração da modularidade e nos padrões recorrentes de associação sugere que a seleção das unidades de informação, a partir da informação ambiental disponível, está fortemente condicionada pelos processos cognitivos, principalmente daqueles relacionados com a exploração ativa do ambiente.

9.1.2 As particularidades na estrutura da ordem simbólica

Como características que assumem configurações particulares na estrutura da ordem simbólica, comparecem:

a) o modo como a compressão espacial é alcançada - a mesma pode ser atingida por meio de unidades de informação lineares de grandes extensões, unidades de informação tipo área com maior abrangência, pela interconectividade entre as diversas unidades de informação ou, ainda, por diferentes combinações destes fatores. Os dados sugerem que, muito provavelmente, as variações encontradas

estão vinculadas às características morfológicas e configuracionais do ambiente urbano.

b) o papel das unidades de informação na estabilização da estrutura - diferentes unidades de informação podem desempenhar o papel principal na estabilização da estrutura presente na ordem simbólica. Aparentemente o desempenho deste papel está associado à importância relativa que certos tipos de unidades de informação assumem para a ordem simbólica.

c) as mudanças estruturais na acessibilidade da rede - com a cognição ambiental, as mudanças no *ranking* dos espaços urbanos para a acessibilidade pode ser maior ou menor. Assim, a ordem simbólica é capaz de produzir impactos bastante distintos no sistema urbano para esta característica. Morfologias mais regulares, tendendo a uma grelha, aparentemente alteram menos o *ranking* dos seus espaços constituintes do que morfologias mais irregulares. O fato equivale a dizer que, em ambientes urbanos configuracionalmente mais regulares, a tendência será das unidades de informação se concentrarem de modo mais homogêneo na região central do sistema. Já nos ambientes urbanos configuracionalmente mais irregulares, a tendência será das unidades de informação se espalharem mais, deixando regiões vazias, mesmo na área mais central.

d) o padrão de distribuição espacial assumido pelas unidades de informação - o nível de concentração ou espalhamento das unidades de informação tem repercussões nas características de navegabilidade da rede, principalmente no que tange o tempo em que se pode ficar perdido ou sem uma referência reconhecível dentro do sistema. Maior espalhamento das unidades de informação reduz o tempo fora da estrutura conhecida e, com isso, facilita a navegação.

e) o tipo de estratégia mais eficiente para a navegação da rede - aparentemente a estrutura configuracional do ambiente urbano - e a disponibilização de informação global que esta permite - leva ao uso de estratégias diferentes de estruturação das informações ambientais. A cognição ambiental parece se adaptar às possibilidades ou dificuldades de navegação oferecidas pela estrutura urbana. Em ambientes urbanos com morfologias mais irregulares, onde a apreensão direta da estrutura global é dificultada, a cognição ambiental gera uma ordem simbólica com estruturas que facilitam o uso de estratégias locais na exploração da rede. Já em ambientes de

morfologias mais regulares, em grelha, a cognição ambiental não precisa prover uma ordem simbólica que facilite as buscas com estratégias exclusivamente locais - existem informações da estrutura global facilmente apreensíveis de modo direto a partir do ambiente.

f) o comportamento do padrão de redundâncias, fragmentação e fragilidades na estrutura da supra-estrutura cognitiva - a variabilidade destas características repercute em diferenças estruturais significativas na ordem simbólica. A fragmentação e pontos de fragilidade estrutural tanto podem estar presentes quanto ausentes na supra-estrutura cognitiva, e os níveis de redundância - definidos para cada comprimento de ciclo - podem assumir padrões de crescimento exponenciais ou podem apresentar crescimentos significativamente menores e estrangulamentos no seu padrão distributivo. As análises realizadas indicam que a fragmentação e fragilidades na estrutura da supra-estrutura cognitiva não são problemáticos, a não ser a partir de um certo limiar. Por outro lado, os níveis de redundância nas associações apresentam limites inferiores e superiores, indicando uma faixa restrita de valores adequados para o bom funcionamento da cognição ambiental.

Os resultados obtidos para a descrição das características configuracionais da ordem simbólica estão, em grande medida, em acordo com os entendimentos constantes na área da cognição ambiental, demonstrando o potencial do modelo e método analítico para tratar dos aspectos estruturais da ordem simbólica. A metodologia empregada, por outro lado, também permitiu a descrição de aspectos não contemplados pelas análises cognitivas tradicionais, contribuindo, deste modo, para a área.

9.2 Contribuições para a compreensão das unidades de informação

A análise das características configuracionais associadas aos diferentes tipos de unidades de informação também indicou a presença de características gerais, que se repetem nas três cidades estudadas, e outras que assumem configurações particulares. As diferenciações entre características gerais e particulares segue o que foi exposto anteriormente (p. 265). Na seqüência são apresentadas as

conclusões passíveis de ser traçadas a partir dos estudos realizados, divididas nos dois grupos.

9.2.1 As características gerais das unidades de informação

Foram identificadas as seguintes características invariantes no comportamento associado aos diferentes tipos de unidades de informação:

a) o papel desempenhado por cada tipo de unidade de informação está associado ao seu padrão de conectividade local na supra-estrutura cognitiva - as diferenças funcionais dos diversos tipos de unidades de informação podem ser compreendidas a partir das características de conectividade local na supra-estrutura cognitiva. Assim, as unidades de informação tipo áreas e, principalmente, lineares geram a maior quantidade de informação estrutural e conectam unidades de informação que de outro modo não estariam conectadas, auxiliando na amarração global da estrutura presente na ordem simbólica. Unidades tipo marcos referenciais arquitetônicos também auxiliam na geração de informação estrutural, mas atuam no sentido de reforçar as relações já existentes, provavelmente atuando na memorização de relações chave dentro da ordem simbólica. As unidades de informação pontuais tipo nós geram informação de caráter local, servem de elo de ligação entre unidades de informação não conectadas ou permanecem isoladas dentro da estrutura. Por fim, as unidades de informação pontuais tipo lugares também possuem caráter local, mas reforçam as relações já estabelecidas entre outras unidades de informação.

b) existem diferenças entre as unidades de informação para a acessibilidade na ordem simbólica - as unidades de informação lineares e de área tendem a ser mais acessíveis dentro da ordem simbólica do que os diversos tipos de unidades de informação pontuais. As primeiras, portanto, tendem a ocupar posições privilegiadas dentro do sistema urbano cognitivamente estruturado - a partir destes componentes se pode alcançar com mais facilidade, cognitivamente, todos os componentes do sistema urbano.

c) existem diferenças entre as unidades de informação para a intermediação nas relações indiretas dentro do sistema - as unidades de informação tipo área e lineares são mais propensas a desempenharem o papel de intermediadores das relações

indiretas dentro do sistema - tanto na ordem simbólica quanto na supra estrutura cognitiva. Isto equivale a dizer que é através das unidades de informação lineares e de área que se estabelece a concentração das relações indiretas dentro o ambiente urbano cognitivamente estruturado e dentro das representações mentais. No outro extremo do desempenho para esta característica ficam as unidades de informação pontuais tipo lugares e nós.

d) as unidades de informação lineares e de área são os principais elementos organizadores e estruturadores do sistema - as mesmas possuem importante papel na hierarquização da ordem simbólica, já que é a partir destas unidades de informação que os demais componentes podem ser relacionados indiretamente entre si. São facilmente alcançáveis a partir de qualquer ponto na estrutura urbana devido a sua alta acessibilidade cognitiva. Por fim, os demais tipos de unidades de informação pontuais tendem a estar diretamente associadas a estas unidades de informação, garantindo que as mesmas não percam suas referências locais no sistema.

e) há uma propensão a que as unidades de informação tipo áreas e lineares com maiores freqüências de citação sejam aquelas com uma abrangência maior sobre o espaço urbano.

f) a presença de unidades de informação lineares com altos valores de redundância parece aumentar as qualidades estruturais da ordem simbólica - o fato indica a importância das unidades de informação lineares na flexibilização do estabelecimento de relações entre os diversos componentes das representações mentais. Aparentemente a presença de unidades de informação lineares que desempenham bem este papel facilita a compreensão da estrutura global do sistema, melhorando as qualidades da ordem simbólica.

g) as unidades de informação pontuais contribuem pouco para a eficiência do funcionamento geral da ordem simbólica - o baixo desempenho das unidades de informação pontuais na interferência do funcionamento globalmente eficiente do sistema indica que estas unidades de informação não possuem a função de gerar estrutura global na ordem simbólica, reforçando o entendimento que seu desempenho está voltado para repercussões de caráter local.

9.2.2 As particularidades nas características das unidades de informação

Como características que comparecem de modo distinto entre cidades, podemos destacar:

a) as unidades de informação lineares e de área podem se alternar no papel de principais componentes estruturadores - aparentemente algumas cidades apresentam as unidades de informação lineares como os principais componentes estruturadores da ordem simbólica e, em outras, são as unidades de informação tipo áreas que desempenham este papel. A alternância comparece de modo evidenciado para o desempenho nas características de conectividade local, no nível de interferência na eficiência do funcionamento global do sistema, na acessibilidade dentro da ordem simbólica, assim como para o nível de concentração das intermediações indiretas dentro do sistema.

b) a relação entre a área de abrangência visual e a freqüência com que os marcos referenciais são citados - os dados sugerem que a freqüência com que os marcos referenciais arquitetônicos são citados está condicionado pelas necessidades cognitivas e não pela visibilidade dos mesmos dentro do ambiente urbano. Em situações onde o ambiente urbano leva a maiores dificuldades em estruturar localmente as informações, os marcos referenciais mais citados tendem a ser aqueles com menor campo visual. Nas situações onde esta dificuldade não aparece, a tendência é que os marcos referenciais com maiores freqüências de citação sejam aqueles de campo visual mais amplo.

As análises das características configuracionais relacionadas com os diferentes tipos de unidades de informação não encontram um paralelo nos trabalhos tradicionais da área cognitiva, constituindo, portanto, uma contribuição para o entendimento de seu funcionamento.

9.3 A validade das hipóteses levantadas

No primeiro capítulo foram levantadas cinco perguntas que nortearam o presente trabalho, algumas de caráter teórico e outras mais voltadas para os aspectos metodológicos da investigação. A validade das hipóteses inicialmente

levantadas para cada questionamento pode agora ser verificada à luz dos resultados alcançados ao longo do trabalho. Na seqüência são analisados os questionamentos aos quais o trabalho desenvolvido buscou responder com suas respectivas hipóteses iniciais.

O primeiro questionamento referia-se a como a cidade é alterada em sua estrutura através da cognição ambiental. A hipótese levantada sobre esta questão era de que as características estruturais da cidade sofriam alterações por meio do efeito agregado das diversas unidades de informação detectadas. E que estas unidades de informação, muito provavelmente, apareciam dentro de determinadas configurações, distribuições e quantidades de modo a facilitar a apreensão global do sistema urbano.

Os resultados obtidos com as simulações da ordem simbólica apontam no sentido de que as características adquiridas pelo sistema urbano, ao ser cognitivamente estruturado, dependem do efeito produzido pelos diferentes tipos de unidades de informação. As características e desempenho diferenciados das unidades de informação frente ao diversos aspectos configuracionais analisados - conforme atestado pelos resultados do capítulo 8 - sugerem que as mesmas atuam de modos distintos dentro da cognição ambiental. Ao mesmo tempo, as diversas propriedades adquiridas pelo espaço urbano - verificadas no capítulo 7 - estão associadas ao comparecimento daquelas características em configurações variadas e, portanto, dependem do desempenho isolado ou conjunto das diferentes unidades de informação.

Os resultados também indicam de que modo a quantidade, configuração física, localização e desempenho configuracional das unidades de informação pode mudar qualitativamente as características da ordem simbólica. Por outro lado, o comportamento observado para algumas características configuracionais confirma que a cognição ambiental pode alterar ou flexibilizar seus critérios de seleção das informações ambientais na tentativa de solucionar dificuldades para organizar o ambiente urbano numa estrutura de conhecimento coerente. Esta adaptabilidade foi detectada tanto para os aspectos mais globais de estruturação das informações ambientais, conforme preconizado pela hipótese inicial, como para os aspectos de estruturação local das informações - aspecto este não previsto no início do trabalho.

Fica, portanto, a primeira hipótese validada.

A segunda questão levantada foi sobre as características configuracionais que a ordem simbólica apresenta. Para esta questão foi colocada como hipótese que a ordem simbólica apresentaria características que seriam de natureza distinta daquelas apresentadas pelo ambiente urbano, e que as primeiras seriam provavelmente similares às apresentadas por um sistema do tipo *small-worlds*. Conforme os entendimentos expostos nos itens 9.1 e 9.2 (p. 265-276), esta hipótese pode ser considerada como válida. Foi possível, ainda, distinguir entre as características invariantes da ordem simbólica e aquelas que dependem do sistema urbano considerado - possibilidade esta não prevista no início do trabalho.

Também foi levantado como hipótese para esta segunda questão que as propriedades estruturais apresentadas por cada sistema deveriam estar relacionadas com as características qualitativas associadas ao mesmo. O comportamento de muitas das propriedades configuracionais da ordem simbólica - delineadas no capítulo 7 - foram verificadas como apresentando correlações com as características qualitativas descritas para as imagens públicas de referência, confirmando também esta hipótese inicial.

A terceira pergunta, de natureza mais metodológica, refere-se a como representar o sistema urbano e a ordem simbólica. Para esta questão colocou-se como hipótese a ser testada a possibilidade de se trabalhar com um modelo baseado em grafos e representar o ambiente urbano e aspectos cognitivos, de modo integrado, através de vértices e arestas. Esta hipótese foi testada em diversas variantes (conforme aparece no capítulo 5, p. 132-159), e a alternativa de representação adotada mostrou-se um opção válida no que tange a análise configuracional da ordem simbólica - conforme atestam as concordâncias entre os entendimentos constantes na área cognitiva e as características apresentadas nas simulações realizadas para a ordem simbólica.

A quarta pergunta levantou a questão do modo de descrever as características estruturais da ordem simbólica. Para esta pergunta foi apontado como hipótese de trabalho que o uso de medidas advindas da teoria dos grafos e métodos de análise de redes poderiam descrever tanto o comportamento geral do sistema, quanto o desempenho individual dos seus componentes. A metodologia

adotada mostrou-se um caminho válido de investigação - as medidas testadas foram capazes de elucidar características e propriedades da ordem simbólica e de seus componentes.

As hipóteses complementares traçadas - referentes ao comportamento das unidades de informação - previa que estas apresentariam diferenciações configuracionais associadas às suas funcionalidades dentro da cognição ambiental. Conjuntamente, foi apontado que as características configuracionais associadas às unidades de informação poderiam influenciar a frequência com que as mesmas são citadas. No que se refere às diferenciações configuracionais, a hipótese levantada é parcialmente válida - nem sempre foi possível distinguir comportamentos claros associados a cada tipo de unidade de informação. Também foi verificado que algumas unidades de informação se assemelham entre si para certas características, e até podem trocar de funcionalidade e características (como no caso das unidades de informação lineares e tipo áreas). Quanto à verificação das influências destas características na frequência com que as unidades de informação são citadas, pouco pode ser averiguado devido às interferências da agregação dos dados disponíveis (efeitos descritos na p. 255-256). O problema, não previsto no início da investigação, consistiu num impedimento para a realização das análises para todos os aspectos configuracionais abordados na descrição da ordem simbólica.

A hipótese final, referente a possibilidade de descrição de como a cognição ambiental transforma o tecido urbano num todo coerente e compreensível, mostrou-se um ponto promissor. No entanto, são requeridos mais estudos de caso para dar suporte às novas premissas levantadas ao longo das diversas análises realizadas. Os resultados iniciais sugerem que a cognição ambiental transforma o sistema urbano num *small-worlds*, garantindo um número reduzido de associações cognitivas para relacionar quaisquer espaços urbanos. Também fica indicado que a cognição ambiental atua no sentido de gerar seletividade e hierarquia na estrutura urbana, direcionando as atenções para certos componentes do sistema. Tanto a hierarquização quanto a geração de atalhos cognitivos unindo regiões geograficamente distantes parecem procedimentos cognitivos voltados para a facilitação da compreensão da estrutura global do ambiente urbano.

Complementarmente, a análise do comportamento das diferentes unidades de informação ambiental indica como cada uma contribui para este quadro. As unidades de informação tipo áreas encolhem o espaço urbano, suprimindo regiões relativamente extensas do sistema. Unidades de informação lineares possibilitam conexões de longa distância, enquanto as unidades pontuais amarram os diversos componentes entre si e os referenciam a posições precisas dentro do sistema urbano. Concordando com os entendimentos da área cognitiva, os resultados das simulações também sugerem que as unidades de informação tipo marcos referenciais arquitetônicos e tipo lugares apresentem um papel importante para a memorização de lugares chaves na estrutura geral.

Assim, o trabalho desenvolvido indica que a metodologia adotada apresenta potencialidades para verificar a lógica estrutural presente na cognição ambiental, entender suas relações com o ambiente urbano e possibilitar a definição de uma base explicativa para vários pontos que aparecem nas abordagens cognitivas do sistema urbano.

Por fim, a validação geral do método de análise adotado reside no sucesso ou insucesso do mesmo em reproduzir as características do sistema (grau de aproximação com a realidade empiricamente definida) e sua capacidade em gerar entendimentos sobre a cidade, seu componente informativo e a cognição ambiental. Tendo em vista o bom nível de correlação entre os resultados das simulações realizadas e as características qualitativas definidas nos estudos de referência, assim como a boa correspondência entre as funcionalidades detectadas e os entendimentos das teorias cognitivas, podemos colocar que a metodologia adotada para se tratar dos aspectos estruturais presentes na ordem simbólica é uma alternativa válida e promissora.

9.4 As potencialidades e limitações do método proposto

A perspectiva teórica e a metodologia adotadas mostraram-se uma alternativa de abordagem promissora para os estudos da cognição ambiental urbana. Em termos teóricos, a avaliação conjunta dos componentes físicos e cognitivos dentro de um quadro sistêmico mostrou-se viável e apresentou resultados interessantes. Quanto aos procedimentos metodológicos de simulação e análise de dados, a

alternativa testada resultou num instrumento válido de discussão e avaliação dos processos e efeitos gerados pela cognição ambiental sobre a estrutura urbana.

A possibilidade de descrever quantitativamente os efeitos qualitativos da cognição ambiental coloca em outro contexto de conhecimento esta área de investigação urbana. Novos avanços teóricos são facilitados pela possibilidade de: a) incorporar os conhecimentos advindos dos estudos experimentais de análise de redes - gerando *insights* sobre as propriedades e funcionamento do sistema urbano cognitivamente estruturado; b) integrar de modo mais efetivo a área configuracional e de cognição ambiental nos estudos urbanos - permitindo contribuições mútuas; c) tornar o conhecimento da área cognitiva acumulativa - no sentido de tornar viável a busca pelo que existe de geral nos estudos de caso particulares.

Dentro da abordagem proposta passa a ser possível descrever e comparar de modo objetivo diferentes ambientes urbanos. Pode-se pensar em simular os efeitos gerados por mudanças dos componentes físicos ou dos componentes cognitivos, avaliando as transformações e impactos introduzidos no sistema. Abre-se, assim, um novo caminho para o futuro desenvolvimento de instrumentos de planejamento e avaliação de impacto, que contemplem aspectos cognitivos e qualitativos do sistema urbano.

O método adotado tem, ainda, a vantagem de ser bastante econômico em termos dos dados requeridos para realizar a simulação. O mesmo não requer levantamentos de campo que descrevam os espaços urbanos ou as arquiteturas a eles relacionados. No entanto, a definição dos espaços de visualização dos marcos referenciais arquitetônicos e a definição da imagem pública ainda constituem um problema a ser solucionado. Automações na determinação das áreas de visualização são passíveis de serem feitas, mas requerem dados para as simulações em 3D do ambiente urbano. Já a definição da imagem pública, dentro das metodologias atuais, é onerosa e demanda um tempo significativo, principalmente devido ao uso das entrevistas. Para esta última questão é necessário se desenvolver outras alternativas metodológicas na definição da imagem pública.

A opção pelo uso de medidas tradicionais da análise de grafos e estudos de redes facilita a replicação de grande parte dos estudos aqui realizados com os variados *softwares* e algoritmos de análises de grafos disponíveis na Web. Além

disso, a produção de um *software* específico - Morphometrics - disponibiliza os procedimentos de descrição global do sistema, assim como a descrição e extração de dados referentes aos componentes.

Por outro lado, a realização das análises estatísticas são um ponto que requer futuros desenvolvimentos. A descrição dos padrões distributivos das variáveis encontra amparo em procedimentos tradicionais da estatística e em aprimoramentos advindos da análise de redes, não constituindo um problema. Porém, a definição das correlações entre variáveis, onde pelo menos uma apresenta caudas pesadas (tendendo a leis de potência), assim como a necessidade de se trabalhar com classes desbalanceadas de dados (inerente ao estudo da ordem simbólica) permanecem como desafios a serem vencidos. As ferramentas analíticas atualmente disponíveis são limitadas em sua capacidade de tratar dados deste tipo, reduzindo a confiabilidade dos resultados. A necessidade de trabalhar de modo auxiliar com avaliações empíricas do comportamento dos dados é uma limitação a ser vencida.

Outra limitação apresentada pela metodologia adotada é a necessidade de se trabalhar com áreas relativamente grandes, de modo a garantir um tamanho mínimo do sistema para os procedimentos de análise de redes. Sistemas de dimensões reduzidas podem levar a distorções nos resultados obtidos e limitam a confiabilidade das análises. No entanto, nem sempre é possível trabalhar com áreas extensas nos estudos urbanos.

O problema do efeito de borda, inerente à modelagem urbana, também constitui um obstáculo a ser enfrentado. A solução computacional para este problema é de difícil solução, já que muitas medidas consideram em seu computo todos os vértices do sistema representado e outras dependem de vértices vizinhos. A inclusão de uma borda, ou franja periférica, de amortecimento resolve ou minimiza o problema para a análise espacial, mas agrava a situação para as análises estatísticas.

Por fim, embora os resultados iniciais indiquem que o trabalho possui potencialidades e as limitações não cheguem a invalidar os mesmos, o trabalho apresenta fragilidades oriundas principalmente de seu caráter inovador e exploratório. O uso de abordagens em rede requer, em primeiro lugar, certezas sobre o que são as conexões e as unidades a serem representadas, no entanto,

nenhuma certeza existe para estas questões na ordem simbólica. A discretização de elementos essencialmente contínuos, como é o caso do espaço urbano, sempre geram questionamentos. Por outro lado, a área da cognição ainda está longe de chegar a um consenso sobre a natureza dos processos envolvidos na cognição ambiental. Sem as certezas necessárias para a definição dos componentes, a modelagem realizada é uma tentativa de estabelecer parâmetros e testar hipóteses e não pode ser considerada conclusiva. Serve como um ponto de partida para outras tentativas e novos teses que possam ajudar a definir o grau de acerto e erro das conclusões provisórias aqui delineadas.

9.5 Continuidade e sugestões para desenvolvimentos futuros

Como continuidades diretas deste trabalho pode-se citar:

- a) a aplicação do método de análise a outros estudos empíricos de modo a construir uma base mais representativa de dados e, assim, avaliar a validade das premissas levantadas pelos resultados aqui obtidos;
- b) esclarecer melhor o papel desempenhado pela morfologia urbana na estruturação da ordem simbólica. Para tanto são requeridos mais exemplos de sistemas urbanos e um certo controle sobre suas características morfológicas.
- c) esclarecer melhor o papel desempenhado pela cognição ambiental urbana na estruturação da ordem simbólica. Para tanto utilizar a metodologia proposta na avaliação de um número significativo de representações mentais individuais de um mesmo ambiente urbano. Isto possibilita processos comparativos entre as estratégias individuais de estruturar a informação ambiental e, assim, podem ser identificadas as particularidades e universalidades das estruturas presentes nas representações mentais.
- d) conferir se as propriedades observadas são dependentes do tamanho do sistema analisado. Estudos com áreas urbanas mais abrangentes podem ser realizadas de modo a avaliar esta questão.

O método adotado permitiu a obtenção de uma visão sintética sobre o estado do sistema urbano em um determinado momento no tempo. É possível representar e visualizar as emergências do sistema, mas não é possível observar os processos

que criam os padrões emergentes. Para tanto será necessário evoluir no sentido de se criar um modelo dinâmico.

O desenvolvimento de um modelo dinâmico está condicionado a avanços na área cognitiva e em simulações e testes que permitam criar um conjunto de regras capazes de replicar a seleção de informações ambientais de modo similar ao presente na ordem simbólica. Estudos como os realizados aqui contribuem para a geração de *insights* sobre as regras que podem estar governando os processos e, neste sentido, são um passo necessário para a futura criação de modelos dinâmicos.

Outra possibilidade de desenvolvimento futuro é a criação de um instrumento de avaliação de impacto. A simulação de alterações na estrutura cognitiva e física da cidade e a geração de cenários hipotéticos possibilitam a detecção dos pontos de mudanças qualitativas no sistema. Com isto, torna-se mais próxima a possibilidade de verificar as prováveis implicações das intervenções no ambiente urbano, e passam a ser objeto de planejamento as potencialidades informacionais do sistema urbano. As vantagens apresentadas por esta possibilidade incluem: a) a incorporação dos aspectos cognitivos nas análises de impacto de vizinhança; b) realização de diagnósticos de áreas cognitivamente problemáticas; c) elaboração de estratégias de planejamento urbano que levem em conta a qualidade e nível de compreensão da estrutura urbana; d) elaboração de estratégias de preservação de identidades urbanas significativas.

Por fim, cabe lembrar que o trabalho aqui realizado é exploratório. O mesmo explorou em extensão e não em profundidade, buscando identificar pontos promissores na abordagem da cognição ambiental com o auxílio das metodologias aplicadas a redes. Esta escolha foi respaldada na falta de antecedentes para o trabalho e a necessidade de uma primeira aplicação do método de modo a: a) avaliar os requerimentos necessários em termos de dados e representação do sistema; b) detectar as dificuldades e potencialidades do método, e; c) realizar testes com diversas medidas e suas variantes de modo a definir as mais adequadas para descrever o sistema.

Assim, o trabalho realizado serve como um indicativo de novas possibilidades na abordagem da cognição ambiental urbana e como uma demonstração da potencialidade das abordagens sistêmicas no entendimento dos significados urbanos e sua estrutura. Inevitavelmente estudos desta natureza são pouco conclusivos no sentido de trazerem respostas ou bases explicativas definitivas ou não-controversas. Embora não se possam trazer certezas sobre os processos representados podemos, pelo menos, trazer inquietações e levantar novas hipóteses explicativas para a cognição ambiental urbana, e quem sabe, levar a novos *insights* sobre a questão.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMIC, L. A., LUKOSE, R. M., PUNIYANI, A. R., HUBERMAN, B. A. 2001 Search in power-law networks. *Physical Review E*, v. 64, 046135.
- AIELLO, W., CHUNG, F., LU, I. 2001. A random graph model for power law graphs. *Experimental Mathematics*, v. 10(1), p. 53-66.
- ALBERT, R., BARABÁSI, A. L. 2000. Topology of evolving networks: local events and universality. *Physical Review Letters*, v. 85(24), p. 5234-5237
- ALBERT, R., BARABÁSI, A. L. 2002. Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, v. 74, p. 47-97.
- ALBERT, R., JEONG, H., BARABÁSI, A. L. 1999. Diameter of the World-Wide Web. *Nature*, 401, p. 130-131.
- ALBERT, R., JEONG, H., BARABÁSI, A. L. 2000. Error and attack tolerance of complex networks. *Nature*, 406, p. 378-382.
- ALLEN, G. L., KIRASIC, K. C., SIEGEL, A. W., HERMAN, J. F. 1979. Development issues in cognitive mapping: the selection and utilization of environmental landmarks. *Child Development*, v. 50, p. 1062-1070.
- ALTMAN, I., CHEMERS, M. M. 1989. *Culture and environment*. 4^a ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- AMARAL, L. A. N., SCALA, A., BARTHÉLÉMY, M., STANLEY, H. E. 2000. Classes of small-world networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 97(21), p. 11149-11152.
- ANDERSON, J. R. 1990. *Cognitive psychology and its implications*. 3^a ed. New York: W. H. Freeman and Company.
- ANOOSHIAN, L. J. 1996. Diversity within spatial cognition: strategies underlying spatial knowledge. *Environment and Behavior*, v. 28(4), p. 471-493.
- APPLEYARD, D. 1969. Why buildings are known. *Environment and Behavior*, v. 1(2), p. 131-156.
- APPLEYARD, D. 1970a. Styles and methods of structuring a city. *Environment and Behavior*, v. 2(1), p. 100-116.
- APPLEYARD, D. 1970b. Notes on urban perception and knowledge. *EDRA 2 Proceedings of the 2nd Annual Environmental Design Research Association Conference*. Pittsburg, Pennsylvania, p. 97-101.
- ARNHEIM, R. 1969. *Visual thinking*. Berkeley, CA: University of California Press.
- AXELROD, R. 1997. Advancing the art of simulation in the social sciences. *International Conference on Computer Simulation and the Social Sciences*, Cortona, Italy.
- BAIESI, M., MANNA, S. S. 2003. Scale-free networks from a Hamiltonian dynamics. *Physical Review E*, v. 68(4), 047103.
- BAIRD, J. C., WAGNER, M. 1980. Modelling the creation of cognitive maps. *Conference on Spatial Orientation and Perception*, University of Minnesota, p. 321-344.
- BALLOBÁS, B. 1998. *Modern graph theory*. Graduate texts in mathematics. New York: Springer Science + Business Media.
- BALLOBÁS, B., RIORDAN, O. 2004. The diameter of a scale-free random graph. *Combinatorica*, v. 24(1), p. 5-34.

- BANAI, R. 1999. A methodology for the image of the city. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 26, p. 133-144.
- BARABÁSI, A. L. 2007. The architecture of complexity – from network structure to human dynamics. *IEEE Control Systems Magazine*, v. 27(4), p. 33-42.
- BARABÁSI, A. L., ALBERT, R. 1999. Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286, p. 509-512.
- BARABÁSI, A. L., ALBERT, R., JEONG, H. 1999. Mean-field theory for scale-free random networks. *Physica A*, v. 272, p. 173-187.
- BARABÁSI, A. L., MENEZES, M. A., BALENSIEFER, S., BROCKMAN, J. 2004. Hot spots and universality in network dynamics. *The European Physical Journal B*, v. 38, p. 169-175.
- BARKER, R. G. 1963. On the nature of the environment. *Journal of Social Issues*, v. 19(4), p. 17-38.
- BARRAT, A., BARTHÉLEMY, M., VESPIGNANI, A. 2005. The effects of spatial constraints on the evolution of weighted complex networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, P05003.
- BARTHÉLÉMY, M., AMARAL, L. A. N. 1999. Small-world networks: evidence for a crossover picture. *Physical Review Letters*, v. 82(15), 3180.
- BARTLETT, F. C. 1932. *Remembering: a study in experimental and social psychology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- BATTY, M. 1976. *Urban modelling: algorithms, calibrations, predictions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- BATTY, M. 2004. A new theory of space syntax. *CASA Working Paper 75*
- BIANCONI, G., BARABÁSI, A. L. 2001. Competition and multiscaling in evolving networks. *Europhysics Letters*, v. 54, p. 436-442.
- BIANCONI, G., CALDARELLI, G., CAPOCCI, A. 2005. Loop structure of the Internet at the Autonomous System Level. *arXiv:cond-mat/0408349v2 [cond-mat.dis-nn]*
- BLANCHARD, PH., VOLCHENKOV, D. 2009. *Mathematical analysis of urban spatial networks*. Berlin: Springer-Verlag.
- BOAVENTURA NETTO, P. O. 2003. *Grafos: teoria, modelos, algoritmos*. 3^a ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher.
- BONAIUTO, M., AIELLO, A., PERUGINI, M., BONNES, M., ERCOLANI, A. P. 1999. Multidimensional perception of residential environment quality and neighbourhood attachment in the urban environment. *Journal of Environmental Psychology*, v. 19(4), p. 331-352.
- BOULDING, K. E. 1956. *The Image: Knowledge in Life and Society*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- BROWN, H. 1973. Man and his environment: a psychological introduction. In: *The city as a social system*. Great Britain: The Open University Press, p. 13-43.
- BUHL, J., GAUTRAIS, J., REEVES, N. *et al.* 2006. Topological patterns in street networks of self-organized urban settlements. *The European Physical Journal B*, v. 49, p. 513-522.
- CALDARELLI, G. 2007. *Scale-free networks: complex webs in nature and technology*. New York: Oxford University Press.

- CALDARELLI, G., CAPOCCI, A., DE LOS RIOS, P., MUÑOZ, M. A. 2002. Scale-free networks without growth or preferential attachment: good get richer. *arXiv:cond-mat/0207366v2* [cond-mat.dis-nn].
- CALLAWAY, D. S., NEWMAN, M. E. J., STROGATZ, S. H., WATTS, D. J. 2000. Network robustness and fragility: percolation on random graphs. *Physical Review Letters* v. 85, p. 5468-5471.
- CANTER, D. V. 1974. *Psychology for architects*. London: Applied Science.
- CANTER, D. V. 1977 *The psychology of place*. London: Architectural Press.
- CARDILLO, A., SCELLATO, S., LATORA, V., PORTA, S. 2006. Structural properties of planar graphs of urban street patterns. *Physical review E*, v. 73, 066107.
- CARR, S., SCHISLER, D. 1969. The city as a trip. *Environment and Behavior*, v. 1(1), p. 7-35.
- CARVALHO, R., PENN, A. 2004. Scaling and universality in the micro-structure of urban space. *Physica A*, v. 332, p. 539-547.
- CHOWN, E., KAPLAN, S., KORTENKAMP, D. 1995. Prototypes, location, and associative networks (PLAN): Towards a unified theory of cognitive mapping. *Cognitive Science*, v. 19(1), p. 1-51.
- CLAUSET, A., SHALIZI, C. R., NEWMAN, M. E. J. 2009. Power law distributions in empirical data. *SIAM Review* v. 51(4), p. 661-703.
- COHEN, G. 2000. Hierarchical models in cognition: do they have psychological reality? *European Journal of Cognitive Psychology*, v. 12(1), p. 1-36.
- COHEN, R., EREZ, K., BEM-AVRAHAM, D., HAVLIN, S. 2000. Resilience of the Internet to random breakdowns. *Physical Review Letters*, v. 85, 4626.
- COSMIDES, L., TOOBY, J. 1994. Better than rational: evolutionary psychology and the invisible hand. In: *AEA Papers and Proceedings*, p. 327-332.
- COUCLELIS, H. 1986. A theoretical framework for alternative models of spatial decision and behavior. *Annals of the American Geographers*, v. 76(1), p. 95-113.
- COUCLELIS, H. GOLLEDGE, R. G., GALLE, N., TOBLER, W. 1987. Exploring the anchor-point hypothesis of spatial cognition. *Journal of Environmental Psychology*, v. 7, p. 99-122.
- CRUCITTI, P., LATORA, V., PORTA, S. 2005. Centrality measures in spatial networks of urban streets. *arXiv:physics/0504163v2* [physics.soc-ph]
- CRUCITTI, P., LATORA, V., PORTA, S. 2006. Centrality measures in urban networks. *Physical Review E*, v. 73, 036125.
- CSÁNYI, G., SZENDRŐI, B. 2004. Fractal-small-world dichotomy in real-world networks. *Physical Review E*, v. 70, 016122.
- DALL, J., CHRISTENSEN, M. 2002. Random geometric graphs. *Physical Review E*, v. 66(1), 016121.
- DALTON, N. S., PEPONIS, J., DALTON, R. 2003. To tame a TIGER one has to know its nature: extending weighted angular integration analysis to the description of GIS road-centerline data for large scale urban analysis. *Proceedings 4th International Space Syntax Symposium*, London, p. 65.1-65.10
- DALTON, R. C., BAFNA, S. 2003. The syntactical image of the city: a reciprocal definition of spatial elements and spatial syntaxes. *Proceedings 4th International Space Syntax Symposium*, London, p. 59.1-59.22.

- DEL RIO, V. 1991. *Desenho urbano e revitalização da área portuária do Rio de Janeiro: a contribuição do estudo da percepção ambiental*. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, tese de doutorado.
- DONALD, M. 1991. *Origins of the modern mind: three stages in the evolution of culture and cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- DOROGOVTSEV, S. N., MENDES, J. F. F. 2000. Scaling behavior of developing and decaying networks. *arXiv:cond-mat/0005050v1*
- DOROGOVTSEV, S. N., MENDES, J. F. F. 2000a. Evolution of reference networks with aging. *Physical Review E*, v. 62, 1842.
- DOROGOVTSEV, S. N., MENDES, J. F. F. 2001. Effect of the accelerating growth of communications networks on their structure. *Physical Review E*, v. 63, 025101 1-4.
- DOWNS, R. M., STEA, D. 1973. Cognitive maps and spatial behavior: process and products. In: Downs, R.; Stea, D. (ed.) *Image and Environment: Cognitive Mapping and Spatial Behavior*. London: Edward Arnold., p. 8-26.
- DOWNS, R. M., STEA, D. 1977. *Maps in minds: reflexions on cognitive mapping*. New York: Harper and Row.
- ECHENIQUE, M. (org.) 1975. *Modelos matemáticos de la estructura urbana: aplicaciones en América Latina*. Buenos Aires: Ediciones SIAP.
- ECHENIQUE, M. 1972. Modelos: una discusión. In: MARTIN, L., MARCH, L., ECHENIQUE, M. *La estructura del espacio urbano*. Barcelona: G. Gilli, p. 235-248.
- ERDÖS, P., RÉNYI, A. 1960. On the evolution of random graphs. *Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Science*, 5, p. 17-61.
- EVANS, G. W. 1980. Environmental cognition. *Psychological Bulletin*, v. 88(2), p. 259-287.
- EVANS, G. W., SMITH, C., PEZDEK, K. 1982. Cognitive maps and urban form. *Journal of the American Planning Association*, v. 48(2), p. 232-244.
- FARIA, A. P. N. de 2002. *Forma urbana e estruturação cognitiva do ambiente: construção teórica e metodológica de uma medida de diferenciação espacial*. Dissertação (mestrado em Planejamento Urbano e Regional), PROPUR, UFRGS, Porto Alegre.
- FARIA, A. P. N.; KRAFTA, R. 2003. Representing urban cognitive structure through spatial differentiation. *Proceedings 4th International Space Syntax Symposium*. London. pp. 53.1-53.18.
- FIGUEIREDO, L., AMORIM, L. 2005. Continuity lines in the axial system. *Proceedings 5th International Space Syntax Symposium*, TU Delft, p. 161-174.
- FREEMAN, L. C. 1977. A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, v. 40, p. 35-41.
- FREEMAN, L. C. 1979. Centrality in social networks conceptual clarification. *Social Networks*, v. 1, p. 215-239.
- GÄRLING, T., GOLLEDGE, R. G. 1989. Environmental perception and cognition. In: ZUBE, E. H. et al. (Ed.) *Advances in environment, behavior, and design*. New York: Plenum Press, v. 2, p. 203-236.
- GASTNER, M. T., NEWMAN, M. E. J. 2006a. The spatial structure of networks. *The European Physical Journal B*, v. 49, p. 247-252.
- GASTNER, M. T., NEWMAN, M. E. J. 2006b. Shape and efficiency in spatial distribution networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, P01015.
- GIBBONS, A. 1985. *Algorithmic graph theory*. Cambridge: Cambridge University Press.

- GIBSON, J. J. 1986. *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Ass.
- GIFFORD, R. 1997. *Environmental psychology: principles and practice*. 2^a ed. Boston: Allyn and Bacon.
- GIRVAN, M., NEWMAN, M. E. J. 2002. Community structure in social and biological networks. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* v. 99, p. 7821–7826.
- GOH, K.-I., KAHNG, B., KIM, D. 2001. Universal behavior of load distribution in scale-free networks. *Physical Review Letters*, v. 87, 278701.
- GOLLEDGE, R. G., ZANNARAS, G. 1970. The perception of urban structure: na experimental approach. *EDRA 2 Proceedings of the 2nd Annual Environmental Design Research Association Conference*. Pittsburg, Pennsylvania, p. 111-117.
- GOPAL, S., SMITH, T. R. 1990. Human way-finding in an urban environment: a performance analysis of a computational process model. *Environment and Planning A*, v. 22, p. 169-191.
- GORMAN, S. P., KULKARNI, R. 2004. Spatial small worlds: new geographic patterns for an information economy. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 31(2), p. 273-296.
- GOULD, R. 1988. *Graph Theory*. Menlo Park, CA: The Benjamin/Cumming Publishing Company.
- GRANOVETTER, M. S. 1973. The strength of weak ties. *American Journal of Sociology*, v. 78, p. 1360-1380.
- GUIMERÀ, R., AMARAL, L. A. N. 2005. Cartography of complex networks: modules and universal roles. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, P02001.
- GUIMERÀ, R., AMARAL, L. A. N. 2005a. Functional cartography of metabolic networks. *Nature*, v. 433, p. 895-900.
- GUIMERÀ, R., MOSSA, S., TURTSCHI, A., AMARAL, L. A. N. 2005. The worldwide air transportation network: anomalous centrality, community structure, and cities' global rules. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 102(22), p. 7794-7799.
- GUIMERÀ, R., SALES-PRADO, M., AMARAL, L. A. N. 2004. Modularity from fluctuations in random graphs and complex networks. *Physical Review E*, v. 70, 025101
- GUIMERÀ, R., SALES-PRADO, M., AMARAL, L. A. N. 2007. Classes of complex networks defined by role-to-role connectivity profiles. *Nature Physics*, v. 3, p. 63-69.
- HAKEN, H. 1979. Pattern formation and pattern recognition – an attempt at a synthesis. In: HAKEN, H (Ed.) *Pattern formation by dynamical systems and pattern recognition*. Berlin: Springer-Verlag.
- HAKEN, H. 1994. Can synergetics serve as a bridge between the natural and social sciences? In: MISHRA, R. K., MAAB, D., ZWIERLEIN, E. (Ed.) *On self-organization: an interdisciplinary search for a unifying principle*. Berlin: Springer-Verlag, p. 51-65.
- HAKEN, H., PORTUGALI, J. 1996. Synergetics, inter-representation networks and cognitive maps. In: PORTUGALI, J. (Ed.) *The construction of cognitive maps*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p. 45-67.
- HAN, C., JUN, S., JUNLING, L. 2008. Modelling and simulation wayfinding in unfamiliar campus environment. In: *International Conference on Natural Computation* v. 6, p. 48-53. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society.
- HÄNGGI, D. 1989. Differential aspects of visual short and long-term memory. *European Journal of Cognitive Psychology*, v. 1(4), p. 285-292.

- HAQ, S. 2003. Investigating the syntax line: configurational properties and cognitive correlates. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 30, p. 841-863.
- HAQ, S. GIROTTO, S. 2003. Ability and intelligibility: wayfinding and environmental cognition in the designed environmental. *Proceedings 4th International Space Syntax Symposium*, London, p. 68.1-68.20.
- HAQ, S., ZIMRING, C., 2001. Just down the road a piece: The development of topological knowledge in building layouts. *Proceedings 3rd International Symposium on Space Syntax*, pp. 48.41-48.17, Ann Arbor, A. Alfred Taubman College of Architecture and Urban Planning.
- HARARY, F. 1969. *Graph theory*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- HARRISON, J. D., HOWARD, W. A. 1972. The role of meaning in the urban image. *Environment and Behavior*, v. 4(4), p. 389-411.
- HEFT, H. 1996. The ecological approach to navigation: a Gibsonian perspective. In: Portugali, J. (ed.) *The construction of cognitive maps*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p. 105-132.
- HILLIER, B., HANSON, J. 1984. *The social logic of space*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- HILLIER, B., IIDA, S. 2005. Network and psychological effects in urban movement. in *Proceedings of Spatial Information Theory: International Conference, COSIT 2005* Ellicottsville, NY, 14 – 18 September Lecture Notes in Computer Science Number 3693, Eds A G Cohn, D M Mark (Springer, Berlin) p. 475-490.
- HILLIER, B., PENN, A., HANSON J., GRAJEWSKI, T., XU, J., 1993. Natural movement: or configuration and attraction in urban space use. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 20, p. 29-66.
- HOLME, p., KIM, B. J., YOON, C. N., HAN, S. K. 2002. Attack vulnerability of complex networks. *Physical Review E*, v. 65, 056109.
- HUBBARD, P. J. 1994. Diverging evaluations of the built environment: planners versus the public. *IAPS 13 - Proceedings of the 13 Bi-Annual Conference of the International Association for People-Environmental Studies*, Manchester, UK, p. 125-133.
- INCEOGLU, A. 1997. Perception of buildings and culture: a cross-cultural investigation. *International Conference on Environment-Behavior Studies for the 21st Century MERA*, Tokyo: University of Tokyo, p. 173-178.
- ITTELSON, W. H. 1973. *Environment and cognition*. New York: Seminar Press.
- ITTELSON, W. H. 1978. Environmental perception and urban experience. *Environment and Behavior*, v. 10(2), p. 193-213.
- ITTELSON, W. H., FRANCK, K. A. O'HANLON, T. J. 1976. The nature of environmental experience. In: Waper, S. Cohen, S. B., Kaplan, B. (ed.) *Experiencing the environment*. New York: Plenum Press, p. 187-206.
- JANSSON, D. G., CONDOOR, S. S., BROCK, H. R. 1992. Cognition in design: viewing the hidden side of the design process. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 19(3), p. 257-271.
- JESPERSEN, S., BLUMEN, A. 2000. Small-world networks: links with long-tail distributions. *Physical Review E*, v. 62(5), p. 6270-6274.
- JIANG, B. 2007. A topological pattern of urban street networks: universality and peculiarity. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 384, 647-655.

- JIANG, B. 2008. The flow dimension and capacity for structuring urban street networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 387(16-17), 4440-4452.
- JIANG, B., CLARAMUNT, C. 2004. Topological analysis of urban street networks. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 31, p. 151-162.
- JIANG, B., ZHAO, S., YIN, J. 2008. Self-organized natural roads for predicting traffic flow: a sensitivity study. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, P07008
- KALAPALA, V., SANWALANI, V., CLAUSET, A., MOORE, C. 2006. Scale invariance in road networks. *Physical Review E*, v. 73, 026130.
- KAPLAN, R., KAPLAN, S. 1989. *The experience of nature: a psychological perspective*. New York: Cambridge University Press.
- KAPLAN, S. 1987. Aesthetics, affect and cognition: environmental preference from an evolutionary perspective. *Environment and Behavior*, v. 19(1), p. 3-32.
- KAPLAN, S., KAPLAN, R. 1982. *Cognition and environment: functioning in an uncertain world*. New York: Praeger.
- KEARNEY, A. R., KAPLAN, S. 1997. Toward a methodology for the measurement of knowledge structures of ordinary people: the conceptual content cognitive map (3CM). *Environment and Behavior*, v. 29(5), p. 579-617.
- KIM, B. J., TRUSINA, A., MINNHAGEN, P., SNEPPEN, K. 2005. Self organized scale-free networks from merging and regeneration. *The European Physical Journal B*, v. 43(3), 369-371.
- KIM, Y. O. 2001. The role of Spatial Configuration in Spatial Cognition. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Space Syntax*, p. 49.41-49.21, Atlanta, A Alfred Taubman College of Architecture and Urban Planning.
- KIM, Y. O., PENN, A. 2004. Linking the spatial syntax of cognitive maps to the spatial syntax of the environment. *Environment and Behavior*, v. 36(4), p. 483-504.
- KINTSCH, R. M. 1994. Cognitive maps: what are they and why study them? *Journal of Environmental Psychology*, v. 14(1), p. 1-19.
- KINTSCH, R. M. 1997. Exploring spatial thought. *Environment and Behavior*, v. 29(1), p. 123-156.
- KINTSCH, R. M., BLADES, M., GOLLEDGE, R. G. 1997. Relations between psychology and geography. *Environment and Behavior*, v. 29(4), p. 554-573.
- KINTSCH, W. 1970. *Memory and cognition*. New York: John Wiley & Sons.
- KLEINBERG, J. 2000a. *The small-world phenomenon: an algorithmic perspective*. Annual ACM Symposium on Theory of Computing. Proceedings of the 32nd annual ACM Symposium on Theory of Computing. p. 163-170. Disponível em: <http://www.cs.cornell.edu/home/kleinber/swn.pdf> acesso em março 2009.
- KLEINBERG, J. M. 2000. Navigation in a small world. *Nature*, v. 406, p. 845.
- KLEINBERG, J., KUMAR, S.R., RAGHAVAN, P., RAJAGOPALAN, S., TOMKINS A. 1999. The Web as a graph: measurements, models and methods. *Proceedings of the International Conference on Combinatorics and Computing*, no. 1627 in Lecture Notes in Computer Science, pp. 1-18, Springer, Berlin.
- KLEMM, K., EGUÍLUZ, V. M. 2002. Highly clustered scale-free networks. *Physical Review E*, v. 65, 036123.
- KOHLSDORF, M. E. 1989. A percepção da paisagem. *Seminário a imagem de São Paulo*, São Paulo: Prefeitura Municipal de São Paulo, p. 54-63.

- KOHLSDORF, M. E. 1996. *A apreensão da forma da cidade*. Brasília: Ed. UNB.
- KOSSLYN, S. M. 1991. A cognitive neuroscience of visual cognition: further developments. In: Logie, R. H., Denis, M. (Ed.) *Mental images in human cognition*. New York: Elsevier Science Publishers, p. 351-381.
- KOSSLYN, S. M., BRUNN, J., CAVE, K. R., WALLACH, R. W. 1984. Individual differences in mental imagery ability: a computational analysis. *Cognition*, v. 18(2), p. 195-243.
- KOSSLYN, S. M., SHWARTZ, S. P. 1977. A simulation of visual imagery. *Cognitive Science*, v. 1, p. 265-295.
- KRAFTA, R. 1994. Modelling intraurban configurational development. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 21, p. 67-82.
- KRAFTA, R., PORTUGALI, J., LEMOS, J. C. 1998. Cognition, automata and urban symbolic order. In: *IV International Conference on Design & Decision Support Systems in Arch. & Urban Planning*, 1998, Maastrich. Proceedings of the IV Int. Conf. on D&DSS in Architecture and Urban Planning. Maastrich, Holanda: Eindhoven University of Technology, v. 1.
- KRAPIVSKY, P. L., RENDER, S. 2001. Organization of growing random networks. *Physical Review E*, v. 63, 066123.
- KRAPIVSKY, P. L., RODGERS, G. J., REDNER, S. 2001. Degree distributions of growing networks. *Physical Review Letters*, v. 86, p. 5401-5404.
- KRÜGER, M. J. T. 1979. An approach to built-form connectivity at the urban scale: system description and its representation. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v 6, p. 67 – 88.
- KUIPERS, B 1978. Modelling spatial knowledge. *Cognitive Science*, v. 2, p. 129-153.
- KUIPERS, B. 1980. The cognitive map: could it have been any other way? *Conference on Spatial Orientation and Perception*, University of Minnesota, p. 345-359.
- KUIPERS, B. 1982. The 'map in the head' metaphor. *Environment and Planning A*, v. 4, p. 202-220.
- LAKOFF, G. 1987. *Women fire and dangerous things: what categories reveal about the mind*. Chicago: The University of Chicago Press.
- LÄMMER, S., GEHLSSEN, B., HELBING, D. 2006. Scaling laws in the spatial structure of urban road networks. *Physica A*, v 363(1), p. 89-95.
- LANG, J. 1987. *Creating architectural theory: the role of the behavioral sciences in environmental design*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- LATORA, V., MARCHIORI, M. 2001. Efficient behavior of small-world networks. *Physical Review Letters*, v. 87(19), 198701.
- LATORA, V., MARCHIORI, M. 2002. Is the Boston subway a small-world network? *Physica A*, v. 314, p. 109-113.
- LEISER, D., ZILBERSHATZ, A. 1989. The Traveller: a computational model of spatial network learning. *Environment and Behavior*, v. 21(4), p. 435-463.
- LEMOS, J. C. F. 2000. *Cognição espacial urbana: modelo conceitual e base experimental*. Dissertação de Mestrado – PROPUR. Porto Alegre: UFRGS.
- LEVINSON, D., YERRA, B. 2005. How land use shapes the evolution of road networks. University of Minnesota: Nexus Research Group – Working Papers 000013 disponível em <http://ideas.repec.org/s/nex/wpaper.html> acesso em julho 2008.

- LOGIE, R. H. 1989. Characteristics of visual short-term memory. *European Journal of Cognitive Psychology*, v. 1(4), p. 275-284.
- LOZANO, E. E. 1974. Visual needs in urban environment. *Town Planning Review*, v. 45(4), p. 351-374.
- LYNCH, K. 1960. *The image of the city*. Massachusetts: MIT Press.
- LYNCH, K. 1962. *Site planning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- MARK, D. M., FRANK, A. U. (1996) Experiential and formal models of geographic space. *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 23, n. 1, p. 3-24.
- MARR, D. 1982. *Vision*. New York: W. H. Freeman.
- MAYEDA, W. 1972. *Graph theory*. New York: Wiley-Interscience.
- McCALLA, G., REID, L., SCHNEIDER, P. 1982. Plan creation, plan execution and knowledge acquisition in a dynamic microworld. *International Journal of Man-Machine Studies*, v. 16(1), p. 89-112.
- McDANIEL, M. D. 2010. *Agent-based modeling of lost person wayfinding*. Dissertação de Mestrado, Department of Geography, University of California - Santa Barbara, USA.
- McDERMOTT, D., DAVIS, E. 1984. Planning routes through uncertain territory. *Artificial Intelligence*, v. 22(2), p. 107-156.
- MEDINA, A., MATTA, I., BYERS, J. 2000. On the origin of power laws in Internet topologies. *Computer Communication Review*, v. 30, n. 2, p. 18-28.
- MERVIS, C. B., ROSCH, E. 1981. Categorization of natural objects. *Annual Review of Psychology*, v. 32, p. 89-115.
- MILO, R., ITZKOVITZ, S., KASHTAN, N., LEVITT, R., ALON, U. 2004. Response to comment on "Network motifs: simple building blocks of complex networks" and "Superfamilies of evolved and designed networks". *Science*, v. 305, p. 1107.
- MILO, R., ITZKOVITZ, S., KASHTAN, N., LEVITT, R., SHEN-ORR, S., AYZENSHTAT, I., SHEFFER, M., ALON, U. 2004. Superfamilies of evolved and designed networks. *Science*, v. 303, p. 1538-1542.
- MILO, R., SHEN-ORR, S., ITZKOVITZ, S., KASHTAN, N., CHLOVSKII, D., ALON, U. 2002. Network motifs: simple building blocks of complex networks. *Science*, v. 298, p. 824-827.
- MINNHAGEN, P., ROSVALL, M., SNEPPEN, K., TRUSINA, A. 2004. Self-organization of structures and networks from merging and small-scale fluctuations. *Physica A*, v. 340(4), p. 725-732.
- MONTIS, A., BRATHÉLEMY, M., CHESSA, A. VESPIGNANI, A. 2007. The structure of inter-urban traffic: a weighted network analysis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 34(5) p. 905-924.
- MOORE, G. T. 1979. Knowing about environmental knowing: the current state of theory and research on environmental cognition. *Environment and Behavior*, v. 11(1), p. 33-70.
- MOORE, G. T. 1984. Estudos de comportamento ambiental. In: Snyder, J. C., Catanese, A. (ed.) *Introdução à arquitetura*. Rio de Janeiro: Ed. Campus. p. 65-88.
- MOSSA, S., BARTHÉLÉMY, M., STANLEY, H. E., AMARAL, L. A. N. 2002. Truncation of power law behavior in scale-free network models due to information filtering. *Physical Review Letters*, v. 88(13), 13701 1-4.

- MURPHY, G. L., MEDIN, D. L. 1999. The role of theories in conceptual coherence. In: Margolis, E. *et al.* (Ed.) *Concepts: core readings*. Cambridge, MA: MIT Press, p. 425-458. Texto original de 1985.
- NEISSER, U. 1976. *Cognition and reality: principles and implications of cognitive psychology*. San Francisco: Freeman.
- NEISSER, U. 1994. Multiple systems: a new approach to cognitive theory. *European Journal of Cognitive Psychology*, v. 6(3), p. 225-241.
- NEWMAN, M. E. J. 2000. Who is the best connected scientist? A study of scientific coauthorship networks. *arXiv:cond-mat/0011144v2* [cond-mat.stat-mech]
- NEWMAN, M. E. J. 2002. Assortative mixing in networks. *Physical Review Letters*, v. 89, 208701.
- NEWMAN, M. E. J. 2003. The structure and function of complex networks. *SIAM Review*, v. 45, p. 167-256.
- NEWMAN, M. E. J. 2003a. Properties of highly clustered networks. *arXiv:cond-mat/0303183v1* [cond-mat.stat-mech]
- NEWMAN, M. E. J. 2004. Analysis of weighted networks. *Physical Review E*, v. 70, 056131.
- NEWMAN, M. E. J. 2005. A measure of betweenness centrality based on random walks. *Social Networks*, v. 27(1), p.39-54.
- NEWMAN, M. E. J., GIRVAN, M. 2004. Finding and evaluating community structure in networks. *Physical Review E*, v. 69(2), 026113.
- NEWMAN, M. E. J., MOORE, C., WATTS, D. J. 2000. Mean-field solution of the small-world network model. *Physical Review Letters*, v. 84, 3201-3204.
- NEWMAN, M. E. J., WATTS, D. J. 1999. Renormalization group analysis of the small-world network model. *Physics Letters A*, v. 263, p. 341-346.
- NYSTUEN, J. D. 1968. Identification of some fundamental spatial concepts. In: Berry, J. (ed.) *Spatial analysis: A Reader in Statistical Geography*. New Jersey: Prentice Hall.
- OHNO, R. 1997. A hypothetical model of environmental perception: ambient vision and layout of surfaces in the environment. *International Conference on Environment-Behavior Studies for the 21st Century MERA*, Tokyo: University of Tokyo, p. 51-56.
- PALMER, S. E. 1999. *Vision science – photons to phenomenology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- PASSINI, R. 1992. *Wayfinding in architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- PEÑA, J. V. (1997) Formación y identificación de la imagen ambiental urbana: contribuciones de la antropología y la nueva historia cultural. *Urbana*, n. 20, p. 47-64.
- PENN, A. 2003. Space syntax and spatial cognition: or why the axial line? *Environment and Behavior*, v. 35, p. 30-65.
- PENN, A., HILLIER, B., BANISTER, D., XU, J. 1998. Configurational modeling of urban movement networks. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 25, p. 59-84.
- PENN, A., TURNER, A. 2003. Space layout affects search efficiency for agents with vision. *Proceedings 4th International Space Syntax Symposium*, London p. 09.1-09.16
- PENNARTZ, P. J. J., ELSINGA, M. G. 1990. Adults, adolescents, and architects differences in perception of the urban environment. *Environment and Behavior*, v. 22(5), p. 675-714.

- PEPONIS, J., ZIMRING, C., CHOI, Y. K., 1990. Finding the building in wayfinding. *Environment and Behavior*, v. 22(5), p. 555-590.
- PETERMANN, T., DE LOS RIOS, P. 2005. Spatial small-world networks: a wiring-cost perspective. *arXiv:cond-mat?0501420v2* [cond-mat.dis-nn].
- PETERSON, G. L., BISHOP, R. L., NEUMANN, E. S. 1970. The quality of visual residential environments. *EDRA 1 Proceedings of the 1st Annual Environmental Design Research Association Conference*. Pittsburg, Pennsylvania, p. 101-114.
- PIAGET, J., INHELDER, B. 1967. *The child's conception of space*. New York: Norton.
- PORTA, S., CRUCITTI, P., LATORA, V. 2006. The network analysis of urban streets: a dual approach. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 369(2), 853-866.
- PORTA, S., CRUCITTI, P., LATORA, V. 2006a. The network analysis of urban streets: a primal approach. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 33, 705-725.
- PORTUGALI, J. 1996. Inter-representation networks and cognitive maps. In: Portugali, J. (Ed.) *The construction of cognitive maps*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p. 11-43.
- PRICE, D. J. de S. 1976. A general theory of bibliometric and other cumulative advantage processes. *Journal of the American Society for Information Science*, v. 27(5), p. 292-306.
- PROSHANSKY, H. M. 1976. Environmental psychology and the real world. *American Psychologist*, v. 31, p. 303-310.
- PURCELL, A. T. 1986. Environmental perception and affect: a schema discrepancy model. *Environment and Behavior*, v. 18(1), p. 3-30.
- PYLYSHYN, Z. W. 1973. What the mind's eye tells the mind's brain: a critique of mental imagery. *Psychological Bulletin*, v. 80(1), p. 1-24.
- RAMADIER, T., MOSER, G. 1998. Social legibility, the cognitive map and urban behaviour. *Journal of Environmental Psychology*, v. 18(3), p. 307-319.
- RAPOPORT, A. 1977. *Human aspects of urban form*. Oxford: Pergamon Press.
- RAVASZ, E., BARABÁSI, A. L. 2003. Hierarchical organization in complex networks. *Physical Review E*, v. 67, 026112.
- RAVASZ, E., SOMERA, A. L., MONGRU, D. A., OLTAVI, Z. N., BARABÁSI, A. L. 2002. Hierarchical organization of modularity in metabolic networks. *Science*, v. 297, p. 1551-1555.
- REICHARDT, J., BORNHOLDT, S. 2006. Statistical mechanics of community detection. *Physical Review E*, v. 74, 016110.
- ROSCH, E. 1975. Cognitive representations of semantic categories. *Journal of Experimental Psychology: General*, v. 104(3), p. 192-233.
- ROSCH, E. 1999. Principles of categorization. In: Margolis, E. et al. (Ed.) *Concepts: core readings*. Cambridge, MA: MIT Press, p. 189-206. (Texto original de 1978)
- ROSCH, E., MERVIS, C. B., GRAY, W. D., JOHNSON, D. M., BOYES-BRAEM, P. 1976. Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, v. 8, p. 382-439.
- ROSVALL, M., TRUSINA, A., MINNHAGEN, P., SNEPPEN, K. 2005. Networks and cities : an information perspective. *Physical Review Letters*, v. 94(2), 028701.
- RUMELHART, D. E. et al. 1986. Schemata and sequential thought processes in PDP models. In: McClelland, J. L. et al. (ed.) *Parallel distributed processing, explorations in*

- the microstructure of cognition*. v. 2: Psychological and biological models. Cambridge Mass: MIT Press.
- SAARINEN, T. F. 1976. *Environmental planning: perception and behavior*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- SANOFF, H. 1991. *Visual research methods in design*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- SEGAL, S. J. (ed.) 1971. *Imagery: current cognitive approaches*. New York: Academic Press.
- SIMON, H. 1955. On a class of skew distribution functions. *Biometrika*, v. 42, p. 425-440.
- SIMON, H. A. 1996. *The sciences of the artificial*. 3^a ed., Cambridge, MA: MIT Press.
- SNEPPEN, K., TRUSINA, A., ROSVALL, M. 2005. Measuring information networks. *PRAMANA Journal of Physics*, v. 64(6), p. 1121-1125.
- SOLOMONOFF, R., RAPOPORT, A. 1951. Connectivity of random nets. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, v. 13, p. 107-117.
- SOUZA, C. L. de 1996. De Kevin Lynch aos mapas cognitivos: a percepção ambiental no desenho urbano. *Sinopses*, n. 26, p. 5-15.
- STEA, D., DOWNS, R. M. 1970. From the outside looking in at the inside looking out. *Environment and Behavior*, v. 2(1), p. 3-12.
- STERNBERG, R. J. 2000. *Psicologia cognitiva*. Porto Alegre: Artes Médicas Sul.
- THOMSON, R. C. 2003. Bending the axial line: smoothly continuous road centre-line segments as a basis for road network analysis. *Proceedings 4th International Space Syntax Symposium*, London, p. 50.1-50.10.
- TOLMAN, E. C. 1948. Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, v. 55(4), p. 189-208.
- TORRENS, P. M. 2001. Can geocomputation save urban simulation? Throw some agents into the mixture, simmer, and wait... *Center for Advanced Spatial Analysis, Working Paper Series - paper 32*, Disponível em: <http://www.casa.ucl.ac.uk/workingpapers.htm> acesso em: janeiro de 2007.
- TUAN, Y. 1980. *Topofilia: um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente*. São Paulo: DIFEL.
- TVERSKY, B. 1996. Spatial perspective in descriptions. In: Bloom, P., Peterson, A., Nadel, L., Garrett, M. F. (Ed.) *Language and space*. Cambridge, MA: MIT Press, p. 463-491.
- TVERSKY, B., HEMENWAY, K. 1983. Categories of environmental scenes. *Cognitive Psychology*, v. 15, p. 121-149.
- VÁZQUEZ, A., DODRIN, R., SERGI, D., ECKMANN, J.-P., OLTVAI, Z. N., BARABÁSI, A. L. 2004. The topological relationship between the large-scale attributes and local interaction patterns of complex networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 101(52), p. 17940-17945.
- VÁZQUEZ, A., FLAMMINI, A., MARITAN, A., VESPIGNANI, A. 2003. Modeling the protein interaction networks. *ComPlexUs*, v. 1, p. 38-44.
- VÁZQUEZ, A., OLIVEIRA, J. G., BARABÁSI, A. L. 2005. Inhomogeneous evolution of subgraphs and cycles in complex networks. *Physical Review E*, v. 71, 025103.
- VÁZQUEZ, A., PASTOR-SARTORRAS, R., VESPIGNANI, A. 2002. Large-scale topological and dynamical properties of the Internet. *Physical Review E*, v. 65, 066130 1-12.

- VOLCHENKOV, D., PLANCHARD, PH. 2007. Random walks along the streets and canals in compact cities: spectral analysis, dynamical modularity, information, and statistical mechanics. *Physical Review E*, v. 75(2), 026104.
- VRAGOVIĆ, I., LOUIS, E., DÍAZ-GUILERA, A. 2004. Efficiency of information transfer in regular and complex networks. *arXiv:cond-mat/0410174v2* [cond-mat.dus-nn]
- VYGOTSKY, L. S. 1984. *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes.
- WAGNER, R. 2008. On the metric, topological and functional structures of urban networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 387(8-9), 2120-2132.
- WATTS, D. J. 1999. *Small worlds: the dynamics of networks between order and randomness*. Princeton Studies in Complexity. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- WATTS, D. J., STROGATZ, S. H. 1998. Collective dynamics of “small-world” networks. *Nature* n. 393, p. 440-442.
- WILLINGER, W., GOVINDAN, R., JAMIN, S., PAXON, V., SHENKER, S. 2002. Scaling phenomena in the Internet: critically examining criticality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 99(1), p. 2573-2580.
- WILSON, R. A., KEIL, F. C. 2001. *The MIT encyclopedia of the cognitive sciences*. Cambridge, MA: MIT Press.
- XIE, F., LEVINSON, D. 2007. Measuring the structure of road networks. *Geographical Analysis*, v. 39(3), p. 336-356.
- YEAP, W. K. 1988. Towards a computational theory of cognitive maps. *Artificial Intelligence*, v. 34(3), p. 297-360.
- YOOK, S. H., JEONG, H., BARABÁSI, A. L. 2002. Modeling the Internet's large-scale topology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 99(1), p. 13382-13386.

BASE DE DADOS PARA A RECONSTITUIÇÃO DAS CIDADES E SUAS IMAGENS PÚBLICAS

Dados gerais

LYNCH, Kevin. Dados, fotos e anotações referentes às pesquisas de 1954 a 1959. Institute Archives and Special Collections MIT Libraries, Preliminary Inventory to the Papers of Kevin Lynch MC.0208 Disponível em: <http://libraries.mit.edu/archives/research/collections/collections-mc/mc208.html> acesso em 2008 e 2009.

Google Earth

Google Maps

Dados de Boston

Mapas:

<http://www.mapjunction.com>

1954 City Planning

1955 Boston East Boston Aerial (corrected) [USGS]

1955 Boston and Charlestown Aerial (corrected) [USGS]

<http://dome.mit.edu/handle/1721.3/36506>

Imagens antigas:

<http://www.iboston.org/mcp.php?pid=arch>

<http://bostonhistory.typepad.com>

<http://www.georgeglazer.com/maps/pictorialmap/gar-boston.html>

<http://rfi.bostonhistory.org/boston/>

<http://www.liteflick.com/image/1403634405>

Dados de Jersey City

Mapas:

<http://elibrary.rutgers.edu/quadpage/viewmaps/drgfiles/040074F1.jpg>

http://mapmaker.rutgers.edu/HUDSON_COUNTY/Jersey_City_1955/

Imagens antigas:

http://www.njcu.edu/Programs/jchistory/Pages/S_Pages/St_Peters_College.htm

<http://jclandmarks.com/medicalcenter.shtml>

<http://wirednewyork.com/forum/showthread.php?t=19768>

<http://www.jebruner.com/Tour1.htm>

<http://jclandmarks.com>

Dados de Los Angeles

Mapas:

<http://hypercities.ats.ucla.edu/>

1955 Los Angeles Street and Vicinity Maps UCLA Bruman Map Collection

1960 New Map of Downtown Los Angeles UCLA Bruman Map Collection

Imagens antigas:

<http://www.paulwilliamsproject.org/gallery/1950s-civic-buildings/#>

<http://www.uncanny.net/~wetzels/subwayarea.htm>

http://www.parkinsonarchitecture.com/buildings_map.html

<http://viewlinerltd.blogspot.com/2008/08/los-angeles-historic-buildings-1960.html>

<http://www.downtownlaretail.com>

<http://www.lapl.org/>

SOFTWARES ESPECÍFICOS EMPREGADOS NAS ANÁLISES DAS REDES

CLAUSET, A., SHALIZI, C. R. 2009. Algoritmo desenvolvido para a determinação do k mínimo e parâmetros escalares estimados das caudas de distribuições com caudas longas. Implementado no software Matlab. disponível em: www.santafe.edu/~aaronc/powerlaws/ Acesso em agosto 2009.

FARIA, A. P. N., KRAFTA, R., POLIDORI, M. C., RODRIGUES, C. L., GRANERO, J. 2009. *Morphometrics*. Implementação das medidas de descrição das redes e seus componentes.

NEWMAN, M. E. J., GIRVAN, M. 2009. Algoritmo de detecção da modularidade em redes baseado na Centralidade por Peripasse definido por arestas. <http://jung.sourceforge.net> Acesso em julho de 2009.

POLIDORI, M. C. KRAFTA, R. GRANERO, J. 2001. *Medidas Urbanas®* software versão 1.15 Pelotas: Laboratório de Geoprocessamento da UFPel. Programa original a partir do qual foi criado o *fork* utilizado neste trabalho.