

Universidade Federal de Pernambuco
Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano

Fabiano José Arcadio Sobreira

A Lógica da Diversidade
Complexidade e Dinâmica em Assentamentos Espontâneos

Recife
2003

Fabiano José Arcadio Sobreira

A Lógica da Diversidade

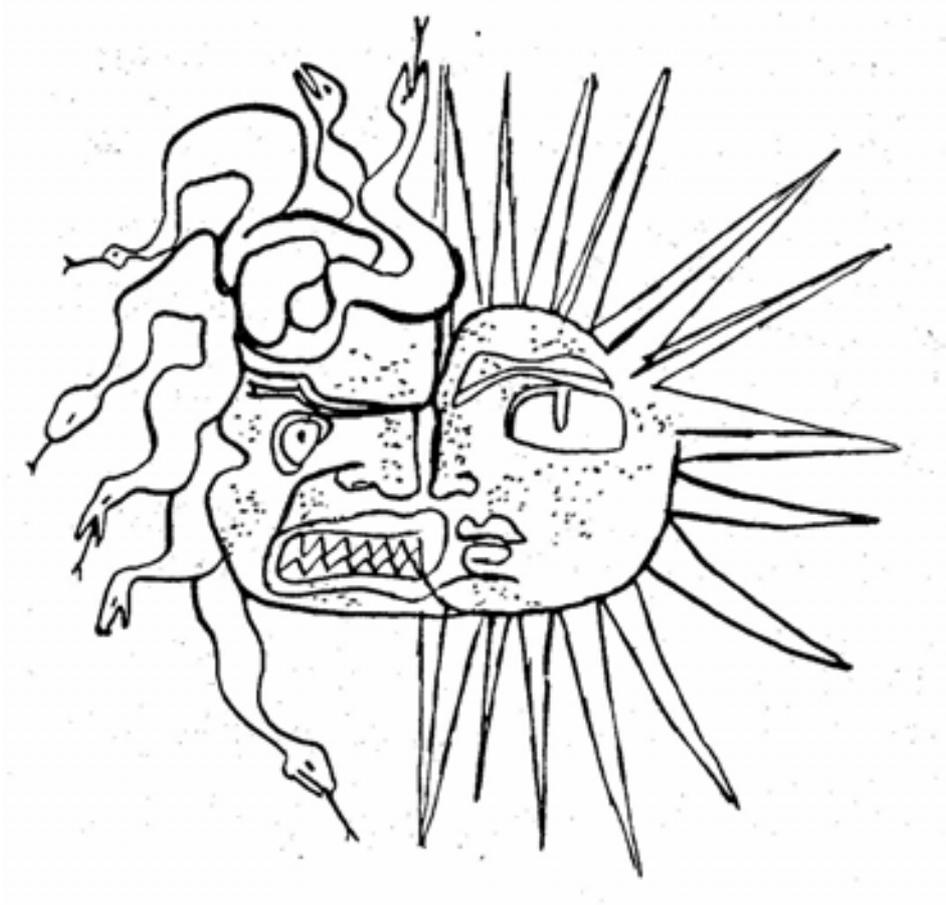
Complexidade e Dinâmica em Assentamentos Espontâneos

Tese de Doutorado

Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano
Universidade Federal de Pernambuco

Orientadora: Profa. Dra. Circe Maria Gama Monteiro
Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo Gomes

Recife
2003



Viajando percebe-se que as diferenças desaparecem: uma cidade vai se tornando parecida com todas as cidades, os lugares alternam formas, ordens, distâncias, uma poeira informe invade os continentes.

(...)

O catálogo de formas é interminável: enquanto cada forma não encontra a sua cidade, novas cidades continuarão a surgir. Nos lugares em que as formas exaurem as suas variedades e se desfazem, começa o fim das cidades.

(CALVINO, 1993, p. 125-126)

Esta tese é apresentada por Fabiano J. A. Sobreira como requisito para a obtenção do título de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, com estágio (Doutorado Sandwich - PDEE/CAPES) na University College London - UCL.

Este documento consolida as pesquisas realizadas pelo autor, sob a orientação da Profa. Circe Monteiro (MDU-UFPE), co-orientação do Prof. Marcelo Gomes (Dep.Física-UFPE) e supervisão do Prof. Michael Batty (CASA-UCL).

Agradecimentos

A escrita, em geral, é um exercício associado a isolamento, solidão, introspecção... Nesta tese, todo o processo de concepção, investigação, elaboração, análise, discussão e edição fugiu a esta regra. Este "calhamaço", aparentemente inerte, mas que por vezes seguiu como se tivesse vontade própria, é a consolidação de um intenso e agradável período de encontros, convivências, debates, discordâncias, concordâncias, euforias, preocupações, dúvidas, soluções e, finalmente, realizações. Um período compartilhado com pessoas especiais, que ajudaram a transformar o que seria o extrato de 'anos de solidão' numa síntese de encontros saudosos.

Agradeço, em primeiro lugar, a Graça Graúna, amiga, professora, orientadora, mãe, e às minhas primeiras e perenes lições sobre o mundo mágico da vida, da literatura, dos símbolos, e do misterioso e fascinante universo imaginário da escrita. Agradeço a Geraldo Sobreira, pai e amigo, pelas divertidas e inesquecíveis aventuras - reais, virtuais e idiomáticas - nas terras do 'meridiano zero'. Agradeço ao fabuloso e intrigante universo feminino, no qual cresci: Ana, Agnes, Graúna, Noêmia... e às lições de sensibilidade, criatividade e carinho, desta família de mulheres fortes, criativas e amáveis.

Agradeço a Marcelo Gomes, amigo, orientador, sempre presente, didático e dedicado, pessoa determinante nas minhas primeiras incursões científicas, parceiro fundamental na construção das idéias que permeiam esta tese, e certamente nas idéias que virão. Agradeço a Circe Monteiro, amiga e orientadora, pela sua objetividade, empreendedorismo, incentivo, e por acreditar que minhas idéias, aparentemente loucas, guardavam um certo teor de sanidade.

Agradeço aos que integram o MDU-UFPE (alunos, funcionários e professores), aos membros da Banca Examinadora e aos que de forma direta ou indireta, nos primeiros momentos ou na reta final, contribuíram para a realização deste trabalho: Luís Amorim, Sérgio Coutinho, Rainer Randolf, Cláudia Loureiro, Virgínia Pontual, Mônica Raposo e Tomás Lapa. Agradeço aos amigos pesquisadores do CASA (Centre for Advanced Spatial Analysis), University College London, em especial a Joana Barros, Theodore Zamenpoulos e Katerina Alexiou, pelas importantes contribuições, permeadas por momentos de 'nonsense' e diversão, e a Michael Batty, que me acolheu e me supervisionou no CASA, em período de amadurecimento, experimentação e publicação das idéias. Agradeço a Tony Lloyd-Jones, da University of Westminster, pela receptividade e atenção e pela importante e estimulante acolhida a este trabalho. Aos revisores anônimos, que contribuíram para o amadurecimento dos artigos científicos que deram origem a esta tese. À FASE-Recife pelo fornecimento de informações.

Finalmente, não apenas agradeço, como dedico esta tese a Deo, minha amada e carinhosa esposa, amiga e eterna namorada. Escudeira nesta aventura quixotesca, parceira nas viagens pelo mundo real e dos sonhos, pessoa sem a qual nada disso faria sentido... Dedico aos filhos que teremos juntos, e à mãe maravilhosa que ela será.

Enfim, dedico aos meus sobrinhos sapecas: Davi, Gabriel, Ian, Iasmin, Íris e Letícia.

Resumo

Nesta tese as favelas são abordadas como fenômenos realmente complexos, caracterizados por uma ordem implícita, que está presente tanto em sua estrutura morfológica quanto em sua dinâmica de crescimento. As favelas, neste enfoque são vistas como sistemas auto-organizados, e a idéia de objetos urbanos meramente desordenados é desmistificada. Mostramos que, sob determinadas condições, esses assentamentos apresentam padrões universais, traduzidos por leis que descrevem a diversidade de sua estrutura morfológica, isto é, que as favelas apresentam a mesma lógica espacial, em qualquer cidade do mundo. Mostramos, também, e que é possível, a partir de modelos computacionais baseados em teorias e conceitos da Ciência da Complexidade, reproduzir aspectos espaciais da formação e consolidação desses tão intrigantes fenômenos urbanos, os assentamentos espontâneos. Esses argumentos estão reunidos nas três partes que integram o presente volume e correspondem a etapas interrelacionadas e ao mesmo tempo complementares desta tese: 1. a contextualização do tema Complexidade em relação aos estudos urbanos (*entre a ordem e a desordem - contextos*); 2. o estudo da multiplicidade de escalas (fractalidade) nas favelas (*fragmentação urbana - análise estática*); 3. o estudo sobre a formação e consolidação desses assentamentos a partir de modelos computacionais (*a quarta dimensão urbana - análise dinâmica*). Nesses estudos sobre padrões espaciais e dinâmicas de formação são analisadas, inicialmente, as estruturas morfológicas de nove favelas em Recife. Estas são comparadas com assentamentos em Nairobi, na região central do Kenya; em Bangkok, capital da Tailândia e no distrito de Acera, em Ghana. Na escala geográfica, são estudadas as leis de escala que definem a distribuição de assentamentos em Recife, Kuala Lumpur, Manila e Lima. Enfim, podemos dizer que as contribuições analíticas e teóricas desta tese migram em duas direções: extraindo da 'ciência da complexidade' as ferramentas para compreender as favelas enquanto sistemas; e ao mesmo tempo extraindo das favelas padrões que permitam melhor compreender a 'Complexidade enquanto ciência'.

Palavras-chave: assentamentos espontâneos, fractais, complexidade, morfologia, modelos baseados em agentes.

Abstract

In this thesis squatter settlements and slums are presented as truly complex phenomena, characterised by an implicit order identified in their morphological structure and in their growth dynamics. Slums and squatter settlements, in this approach, are seen as self-organised systems, and the idea of merely disordered urban object is demystified. We point up that squatter settlements, under certain conditions, present universal patterns, defined by laws which describe their morphological diversity, i.e., they present the same spatial logic, whatever the city in the world. We point up, as well, that it is possible, through computer models based on Complexity Science theories and concepts, to describe spatial aspects of growth and consolidation in these intriguing urban phenomena named spontaneous settlements. These issues are grouped in three sections which form this document and are related to interrelated and at the same time complementary steps of this thesis: 1. the contextualisation of the issue Complexity, regarding to urban studies (between order and disorder - contexts); 2. the study about scale multiplicity and fractality in squatter settlements (urban fragmentation - static analysis); 3. the study related to the growth and consolidation of these settlements through computer models (the fourth urban dimension - dynamic analysis). In these studies about spatial patterns and growth dynamics, at first, we analyse the morphological patterns of nine slums/squatter settlements in Recife. These settlements are compared to others in Nairobi, central region of Kenya; in Bangkok, capital of Thailand and in the Accra district, Ghana. Regarding the geographical scale, we study scaling laws which define settlements distribution in cities like Recife, Kuala Lumpur, Manila and Lima. Finally, we stress that the theoretical and analytical contributions presented in this thesis migrate towards two directions: on one hand, extracting from Complexity Science the necessary tools to understand the slum as a system; and on the other hand, extracting from slums the patterns which would allow us to better assimilate Complexity as a science.

Key-words: squatter settlements, fractals, complexity, morphology, agent based models.

Sumário

Introdução	10
Parte 1 – Entre a Ordem e a Desordem	18
(contextos)	
1.1 Espontaneidade e auto-organização espacial	
1.1.1 Favelas: cidadelas contemporâneas.....	19
1.1.2 Sobre a dualidade entre o planejado e o espontâneo.....	33
1.2 (Cons)Ciência da Complexidade	
1.2.1 Um estranho atrator.....	39
1.2.2 Mudanças de paradigma nas ciências sociais.....	43
1.2.3 Dimensões urbanas da complexidade.....	47

Parte 2 - Fragmentação Urbana..... 50

(análise estática)

2.1 A geometria da não-linearidade

2.1.1 Geometria Euclidiana <i>versus</i> Geometria Fractal.....	51
2.1.2 Qual a extensão da costa brasileira?	53
2.1.3 Breve introdução às propriedades dos fractais.....	56
2.1.4 A matemática dos fractais.....	59
2.1.5 Análise fractal de elementos urbanos e arquitetônicos.....	67

2.2 Análise estatístico-espacial de assentamentos espontâneos

2.2.1 Leis de Escala e Fragmentação.....	82
2.2.2 A geometria das favelas.....	91
2.2.3 Assentamentos em Recife.....	93
2.2.4 Fragmentação do espaço construído.....	97
2.2.5 Fragmentação do espaço vazio.....	102
2.2.6 Parâmetros globais a partir de informações locais.....	110
2.2.7 Assentamentos em Nairobi.....	117
2.2.8 Recife, Nairobi e Bangkok - padrões universais.....	123
2.2.9 Limites, Empacotamento e Diversidade.....	127
2.2.10 Distribuição de assentamentos nas cidades.....	133

Parte 3 - A Quarta Dimensão Urbana..... 142

(análise dinâmica)

3.1 Complexidade a partir de regras locais

3.1.1 Modelos: abstrações da Realidade.....	143
3.1.2 Bifurcações e auto-organização.....	145
3.1.3 Autômatos celulares.....	151
3.1.4 Gente <i>versus</i> Agentes.....	163

3.2 FAVELA – um modelo heurístico-descritivo

3.2.1 Modelos espaciais na escala local.....	172
3.2.2 Emergência e auto-organização.....	180
3.2.3 Interface do usuário.....	188
3.2.4 Favela 1 – abstrações e exemplos genéricos.....	193
3.2.5 Favela 2 – experimentos com "feedback".....	197
3.2.6 Favela 3 – o caso Klong Toey.....	203
3.2.7 Dinâmicas de fragmentação.....	208

CONCLUSÕES..... 222

Referências..... 228

APÊNDICE A..... 240

APÊNDICE B..... 252

Introdução

Existe alguma lógica na organização espacial das favelas? Ao se observar uma favela na estrutura urbana de Recife, a primeira impressão é de pura desordem: casas e mais casas agrupadas, das mais diversas formas, em aglomerados dos mais diversos tamanhos, cercados por becos que se ligam a outros becos, que se conectam a um pátio, e que desembocam numa grande avenida comercial. A princípio, tamanha quantidade de informações nos parece pura desordem. Mas quando observamos os outros assentamentos espontâneos (também definidos como informais, subnormais ou irregulares), desta vez em Caracas, em Manila, em Bangkok, ou em Nairobi, notamos uma espécie de reincidência: novamente, casas e mais casas agrupadas, das mais diversas formas, em aglomerados dos mais diversos tamanhos, cercados por becos que se ligam a outros becos... enfim, seria uma desordem que se repete? Mas desordens que se repetem não são desordens, são na verdade ordens implícitas, disfarçadas, ocultas, à espera de que sejam desvendadas. Mas se a sequência de observações empíricas nos faz suspeitar que há uma ordem espacial implícita na forma com que as favelas estão organizadas no mundo, resta saber: como desvendar as regras que estão por trás dessa ordem?

De fato, essa não é uma questão simples. Mas essa mesma inquietação tem sido comum nas mais diversas disciplinas, da Física à Biologia, da Economia à Linguística, ao longo dos últimos trinta anos. Outros fenômenos tão esdrúxulos para os cientistas naturais, quanto a favela parecia ser para os cientistas urbanos, davam os mesmos sinais de uma desordem recorrente, ou de uma ordem disfarçada. Fenômenos que guardavam em comum características como grande quantidade de informações, desequilíbrio (fenômenos instáveis), indeterminismo, não-linearidade, e outras qualidades a princípio confusas, começaram a ser notados nas mais diversas disciplinas. Esses fenômenos

ficaram conhecidos como sistemas complexos, e os cientistas, a partir de um esforço conjunto e multidisciplinar, começaram a construir ferramentas (teorias, métodos e experimentos) na tentativa de melhor descrever esses estranhos atratores, que de aberrações passaram a estrelas de uma nova ciência, que ficou conhecida como Ciência da Complexidade.

Mas de que forma as favelas estão relacionadas com o tema Complexidade? As favelas, esta é a conjectura principal desta tese, também são sistemas complexos. A ordem implícita dos códigos sociais, das necessidades econômicas, e das restrições espaciais, fazem resultar a diversidade de sua estrutura morfológica. E daí nasce a hipótese: se as favelas são sistemas complexos, podemos nos utilizar dos mesmos conjuntos de ferramentas que descrevem esses sistemas para tentar descrever aspectos de sua complexidade urbana .

É esse o objetivo desta tese, que se utiliza de dois conjuntos de ferramentas, abordando o sistema complexo de maneiras distintas, porém complementares e indissociáveis. O primeiro conjunto reúne os fractais e as leis de escala, enquanto o segundo conjunto se refere aos modelos computacionais baseados em agentes. O primeiro conjunto de ferramentas se refere à estrutura espacial do sistema: a análise estática. O segundo se refere ao processo por trás dessa estrutura: a análise dinâmica.

Esta tese é apresentada em três partes, composta por um total de seis capítulos (ou seções): *Parte 1 - Entre a Ordem e Desordem* (contextos); *Parte 2 - Fragmentação Urbana* (análise estática) e *Parte 3 - A Quarta Dimensão Urbana* (análise dinâmica), além dos Apêndices A e B, que contém informações complementares à tese.

A Parte 1 (*Entre a Ordem e a Desordem*) é dedicada às revisões teóricas sobre a dialética ordem-desordem no discurso urbano e contextualiza a discussão da espontaneidade dentro das discussões sobre os estudos morfológicos. Esta primeira parte da tese está

dividida em duas seções: 1.1 (*Espontaneidade e auto-organização espacial*) é iniciado com um breve panorama sobre as favelas e a sua condição espacial. Nessa abordagem as favelas são apresentadas metaforicamente como as cidadelas contemporâneas (1.1.1), cercadas por novas muralhas, hoje representadas pelas barreiras físicas e sociais, resultantes da descontinuidade no desenvolvimento urbano em cidades de países subdesenvolvidos. Em seguida, na seção 1.1.2, disserta-se sobre a dualidade entre o planejado e o espontâneo e são apresentadas as particularidades que caracterizam os dois tipos de expressão espacial, reforçando a idéia apresentada na seção anterior de que as cidades são palimpsestos onde são sobrepostas ao longo do tempo as marcas das intervenções urbanas, num misto de planejamento e espontaneidade.

A (*Cons*)*Ciência da Complexidade* é o tema da seção 1.2, que encerra a primeira parte da tese com uma breve introdução sobre os principais conceitos da Complexidade enquanto ciência e das possíveis aplicabilidades aos estudos urbanos. A seção 1.2.1 traça os fundamentos desse *estranho atrator*, ponto de convergência das mais diversas disciplinas, em tentativas de solucionar questões não resolvidas pela ciência moderna. Nessa busca por novos conceitos e ferramentas as disciplinas tentam reorganizar os seus fundamentos e redefinir seus paradigmas, o que foi encarado por muitos pensadores como uma espécie de crise generalizada da ciência, tema abordado na seção 1.2.2. Na última seção da Parte 1 (1.2.3) são esboçadas idéias preliminares sobre as dimensões urbanas da complexidade, a serem detalhadas e aplicadas nos capítulos seguintes da tese.

A Parte 2 (*Fragmentação Urbana*) da tese é dedicada ao estudo da estrutura urbana sob a ótica da fragmentação, e envolve conceitos como fractais e as leis de escala. Esses conceitos reúnem uma série de propriedades geométricas e espaciais, que permitem a quantificação de uma propriedade típica de sistemas complexos: multiplicidade de

escalas. Numa favela, como foi descrito no primeiro parágrafo, observamos casas e mais casas agrupadas em aglomerados dos mais diversos tamanhos; assim como becos que ligam a outros becos, que se conectam a pátios, etc. Existem, na favela, elementos espaciais dos mais diversos tamanhos, das mais diversas escalas. Existem porções de casas isoladas, ladeadas por fileiras formadas por mais de uma dúzia; ao lado do pátio central descobre-se um jardim minúsculo, e assim vai se formando a lógica hierárquica, fragmentária, presente nas favelas, e comum à maioria dos sistemas complexos. As leis de escala nos dizem que não há escala predominante em um sistema complexo, pois todas as escalas são possíveis, e o que é mais importante: existe uma lógica matemática entre elas. Esse estudo da *Fragmentação Urbana* está dividido na tese em duas seções: *A Geometria da Não-linearidade* (2.1) e *Análise Estatístico-espacial de Assentamentos Espontâneos* (2.2).

Falar de multiplicidade de escalas e de fragmentação é falar de fractais, também conhecidos como a expressão geométrica da Complexidade. A seção 2.1 é, portanto, uma introdução à Geometria Fractal. Primeiramente são traçadas as principais diferenças entre essa nova geometria e a tradicional geometria Euclidiana (2.1.1). Na sequência, são apresentados alguns exemplos práticos de identificação de propriedades fractais em sistemas naturais (2.1.2) e uma breve introdução às propriedades espaciais (2.1.3) e matemáticas (2.1.4) dos fractais. Na seção 2.1.5 apresentamos um panorama sobre as principais contribuições e alguns contrapontos na relação entre elementos urbanos e arquitetônicos e a análise fractal.

A seção 2.2 é iniciada com a apresentação dos conceitos de Leis de Escala e Fragmentação (2.2.1), que serão utilizados nas análises da geometria de assentamentos espontâneos em Recife (2.2.2 e 2.2.3) e na relação morfológica destes em comparação com assentamentos em Nairobi, na região central do Kenya (2.2.7) e em Bangkok, capital da Tailândia (2.2.8). Em particular, são analisadas as estruturas fragmentadas das ilhas (grupos de casas) e dos espaços abertos (áreas não construídas). Resultados

preliminares baseados nas análises estatísticas apresentadas a seguir indicam que tais assentamentos, quando localizados no interior da malha urbana e ao mesmo tempo cercados por barreiras físicas (avenidas, divisas de propriedade) ou naturais (rios, canais), tendem a apresentar padrões morfológicos e propriedades estatístico-espaciais robustas, isto é, características que se repetem, independentemente de particularidades locais dos sistemas. Em outras palavras, são apresentadas as evidências de que assentamentos espontâneos de baixa-renda, quando sujeitos às pressões da malha urbana, são estatisticamente iguais, no aspecto morfológico, em qualquer parte do mundo (2.2.9). As favelas, portanto, apresentam estatisticamente a mesma distribuição espacial de seus elementos, e as particularidades políticas e culturais não interferem de forma relevante nesse padrão de distribuição que, conjectura-se, é universal. Ainda nessa seção será mostrado como tais propriedades estatístico-espaciais podem ser aplicadas na estimativa de propriedades globais (como população e área) a partir de informações locais. Para isso, serão apresentadas funções e outras expressões matemáticas, que são de interesse para o planejamento urbano, ou mais especificamente, para a descrição espacial dos assentamentos (2.2.6). Na última seção da Parte 2 (2.2.10) os conceitos de Leis de Escala e Fragmentação são estendidos para a escala geográfica, e são aplicados no estudo da distribuição de tamanhos de assentamentos em quatro cidades: Recife, Kuala Lumpur, Manila e Lima. Revela-se, na escala da cidade, o mesmo padrão de fragmentação observado na escala do assentamento.

Na parte 3, dedicada ao estudo dos assentamentos informais sob a ótica dinâmica (crescimento), os modelos computacionais baseados em agentes são utilizados como ferramentas heurísticas, isto é, especulativas. A idéia tradicional de modelos é a reprodução fiel de uma realidade ou a predição exata de determinada quantidade. No caso de modelos de complexidade, o conceito central é o de emergência, isto é, a estrutura global resultante emerge a partir da interação de unidades locais. Nesses modelos, embora os agentes computacionais sigam regras simples, o resultado é

altamente complexo. É o caso das favelas, que são construídas sem a figura de um planejador. A estrutura final é resultante da ação localizada e descentralizada de centenas de indivíduos (agentes) que seguem um conjunto de regras simples baseadas na lógica de ocupação real dos assentamentos intra-urbanos (UNCHS-Habitat, 1982). Esses são os conceitos envolvidos no conjunto de ferramentas utilizado nesta parte da tese que acrescenta ao estudo dos assentamentos espontâneos a quarta dimensão urbana, isto é, a dinâmica de evolução e consolidação.

O conjunto de análises apresentado na Parte 3 se desenvolve a partir de algumas questões com as quais nos confrontamos ao abordar a estrutura morfológica dos assentamentos: como é que a ação descentralizada de indivíduos é capaz de gerar uma estrutura tão intrigante e complexa quanto uma favela? Será possível representar a dinâmica de crescimento desses assentamentos através da implementação de simples regras locais? Existe algum tipo de lógica dinâmica, subjacente ao emaranhado de becos e ao aglomerado de casas que caracterizam as favelas? Será possível aplicar modelos que reproduzam graficamente os padrões de fragmentação verificados nos assentamentos espontâneos? É possível modelar fenômenos que por natureza são complexos e em tese são imprevisíveis como os fenômenos urbanos?

Possivelmente algumas dessas questões não trarão respostas absolutas, mas trarão como contribuição outras reflexões e questões ainda mais complexas. Trata-se de um exercício que será essencial para a formulação de hipóteses e conjecturas sobre o crescimento e a consolidação de tão intrigantes objetos urbanos, que são os assentamentos espontâneos. Essa tarefa é exercida em duas etapas, sintetizadas nas seções finais da tese: *Complexidade a partir de regras locais* (3.1) e *FAVELA – um modelo heurístico-descritivo* (3.2).

A seção 3.1 traz uma discussão geral sobre a idéia da criação de modelos e sua aplicação enquanto ferramentas para o planejamento e para os estudos urbanos. Inicialmente são

apresentadas questões sobre os limites da realidade e da abstração na descrição do objeto urbano (3.1.1). Em seguida são esboçadas as primeiras idéias sobre modelos baseados na dinâmica e na incerteza, que são discutidos detalhadamente nas seções seguintes, e que colocam sob suspeita a natureza estática e determinística dos modelos tradicionais. Neste aspecto, os conceitos de bifurcação, auto-organização e emergência são revisitados, desta vez através do ponto de vista espacial (3.1.2). A idéia de simples regras locais gerando complexidade é abordada sob o ponto de vista da aplicabilidade nas seções 3.1.3, dedicada aos autômatos celulares e 3.1.4, dedicada aos modelos baseados em agentes. Neste caso, é discutida não apenas a potencialidade das regras locais, mas como as mesmas podem ser elaboradas e relacionadas na construção de sistemas complexos, e como essa dinâmica tem sido interpretada na modelação de sistemas urbanos.

A seção 3.2 tem como meta principal a descrição, aplicação e avaliação do modelo heurístico-descritivo FAVELA. Esse modelo é a contribuição do autor para a análise da dinâmica de crescimento de assentamentos espontâneos intra-urbanos, e é baseado na utilização de agentes computacionais como representações de indivíduos itinerantes, em busca de espaço para ocupação em vazios urbanos. O modelo FAVELA visa cumprir funções teóricas e empíricas. No aspecto teórico, é apresentado como uma ferramenta especulativa que permite analisar a lógica de fenômenos urbanos localizados sob a ótica da emergência e da auto-organização, isto é, a complexidade formada a partir da interação de unidades locais, que interagem com base em regras simples. No sentido empírico são apresentadas conjecturas e hipóteses sobre as possíveis lógicas de desenvolvimento de assentamentos espontâneos intra-urbanos, quando limitados por barreiras de crescimento. Antes da apresentação do modelo, propriamente dito, são apresentadas as principais contribuições em relação a modelos espaciais na escala local, que são analisadas comparativamente em relação ao FAVELA (3.2.1). Em seguida são introduzidos os conceitos de auto-organização e emergência (3.2.2), que fundamentam a formulação do modelo heurístico. Finalmente é apresentado o modelo em seus aspectos

técnicos e operacionais (interface do usuário - 3.2.3) e analíticos (experimentos e análises - seções 3.2.4 a 3.2.6). Na seção 3.2.7 o modelo é avaliado e interpretado à luz dos padrões de fragmentação e diversidade sugeridos na parte 2 da tese (Fragmentação Urbana).

Enfim, é bem verdade que a idéia de uma lógica existente por trás de estruturas conceituadas como orgânicas, pitorescas, naturais, não é novidade. Mas o discurso na maioria das vezes está limitado aos argumentos exclusivamente simbólicos ou retóricos, porém raramente científicos. Além disso, se por um lado a utilização de ferramentas analíticas exclusivas de determinadas disciplinas, ou sub-campos de disciplinas, podem favorecer a cientificidade disciplinar, por outro lado podem confinar os seus cientistas em pequenos grupos centrados em torno das próprias idéias. A vantagem de se utilizar tais ferramentas, que são por natureza interdisciplinares, é o diálogo permanente e amplo entre cientistas dos mais diversos campos, e a constante atualização sobre os mais recentes avanços científicos. Assim, as contribuições desta pesquisa migram em duas direções: extraíndo da ciência da complexidade as ferramentas para compreender os assentamentos espontâneos enquanto sistemas; e ao mesmo tempo extraíndo desses assentamentos padrões que permitam melhor compreender a Complexidade enquanto ciência.

Parte 1 - Entre a Ordem e a Desordem (contextos)

O homem caminha em linha reta porque tem um objetivo; sabe aonde vai. Decidiu ir a algum lugar e caminha em linha reta. A mula zigzagueia, vagueia um pouco, cabeça oca e distraída(...) O homem rege seu sentimento pela razão; refreia os sentimentos e os instintos em proveito do objetivo que tem. (...) A mula não pensa em absolutamente nada, senão em ser inteiramente despreocupada. (...) A mula traçou todas as cidades do continente, Paris também, infelizmente.

(LE CORBUSIER, 2000, p. 6-7).

Todos sabemos [...] que essas alterações feitas na simetria não chocam de modo algum aos olhos, mas que excitam mais nosso interesse na medida em que parecem completamente naturais, com um aspecto pitoresco nada intencional. [...] A noção de simetria propaga-se em nossos dias com a rapidez de uma epidemia.

(SITTE apud CHOAY, 1997, p. 212-213)

1.1 Espontaneidade e auto-organização espacial

1.1.1 Favelas: cidadelas contemporâneas.

A população mundial ultrapassou 6 bilhões de pessoas em 2001, das quais 4 bilhões habitam em países em desenvolvimento. O número de pessoas vivendo sem mínimas condições sanitárias era estimado em torno de 3.3 bilhões no ano 2000, o que correspondia a mais da metade da população. Atualmente, pelo menos 40% da população de Caracas e Recife vivem em *barrios* e favelas, respectivamente. Em Bogotá e Bombay, 60% da população está abrigada em *barriadas* e *bustees*. Em Casablanca, os *bidonvilles* são a única alternativa habitacional para 70% ou mais da população. Qualquer que seja a denominação, ao redor do mundo, para assentamentos espontâneos ou informais de baixa renda, todos têm em comum o fato de serem o resultado da ação descentralizada e da iniciativa espontânea de seus habitantes (figura 1.1). Esse tipo de produção espontânea e informal de habitação na maioria das vezes se desenvolve sem qualquer tipo de restrição ou controle de uso e ocupação do solo, em um processo de adaptação e melhorias contínuas, realizadas pelos seus próprios moradores, com seus próprios recursos (Imparato, 1995). No entanto, apesar de tão bem citados e documentados nos aspectos políticos, econômicos e sociais, esses fenômenos urbanos são ainda pouco conhecidos em seus aspectos morfológico-espaciais.

A irregularidade e a dinâmica resultantes da forma de crescimento desses espaços tendem a ser traduzidas morfológicamente como desordem e falta de lógica. Por muito tempo a política urbana aplicada aos assentamentos informais de baixa renda (ou favelas, no caso do Brasil) foi baseada em políticas de remoção, de relocação ou simplesmente de esquecimento. No entanto, as últimas décadas, em especial os últimos anos, têm sido marcados por um crescente esforço em direção ao reconhecimento e compreensão dessas estruturas urbanas que são morfológicamente irregulares e

dinâmicas (em constante mutação). Desde a Conferência mundial das Nações Unidas sobre os Assentamentos Humanos (Habitat II - 1998) têm se fortalecido discursos em que os termos urbanização ou intervenção urbana, ocupam o lugar de remoção ou limpeza.

De fato, a pergunta sobre o que fazer com as favelas tem gerado ao longo das últimas décadas respostas diversas e muitas vezes conflitantes, que têm resultado numa variedade de ações e posturas, incluindo desde aquelas que tratam as favelas como tumores malignos que devem ser extraídos do tecido urbano das cidades, até aquelas que as vêem como expressões naturais, inevitáveis e necessárias para o equilíbrio de um sistema marcado pela instabilidade e pela desigualdade econômico-social (DWYER, 1975; DRAKAKIS-SMITH, 1981; ALDRICH; SANDHU, 1995; SOBREIRA; BARROS, 2002). Em termos práticos, podemos destacar quatro tipos de posturas que têm sido aplicadas aos assentamentos espontâneos: remoção, relocação, compartilhamento e melhoria *in loco*.

A remoção pura e simples é uma prática cada vez mais rara, em virtude da comprovada ineficácia desse tipo de ação, que trata da informalidade como uma questão puramente legal ou administrativa, e que ignora as tensões sociais envolvidas no processo. Foi largamente implantada entre as décadas de 50 e 60 na maioria das cidades de países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, sob o pretexto da manutenção da salubridade nos grandes centros urbanos. O resultado desse tipo de intervenção foi o agravamento do déficit de moradia, uma vez que as ocupações informais foram por muito tempo e ainda são a única alternativa de moradia, em realidades marcadas pela ausência de políticas públicas voltadas à questão habitacional (TASCHNER, 1995).

Favelas do Mundo

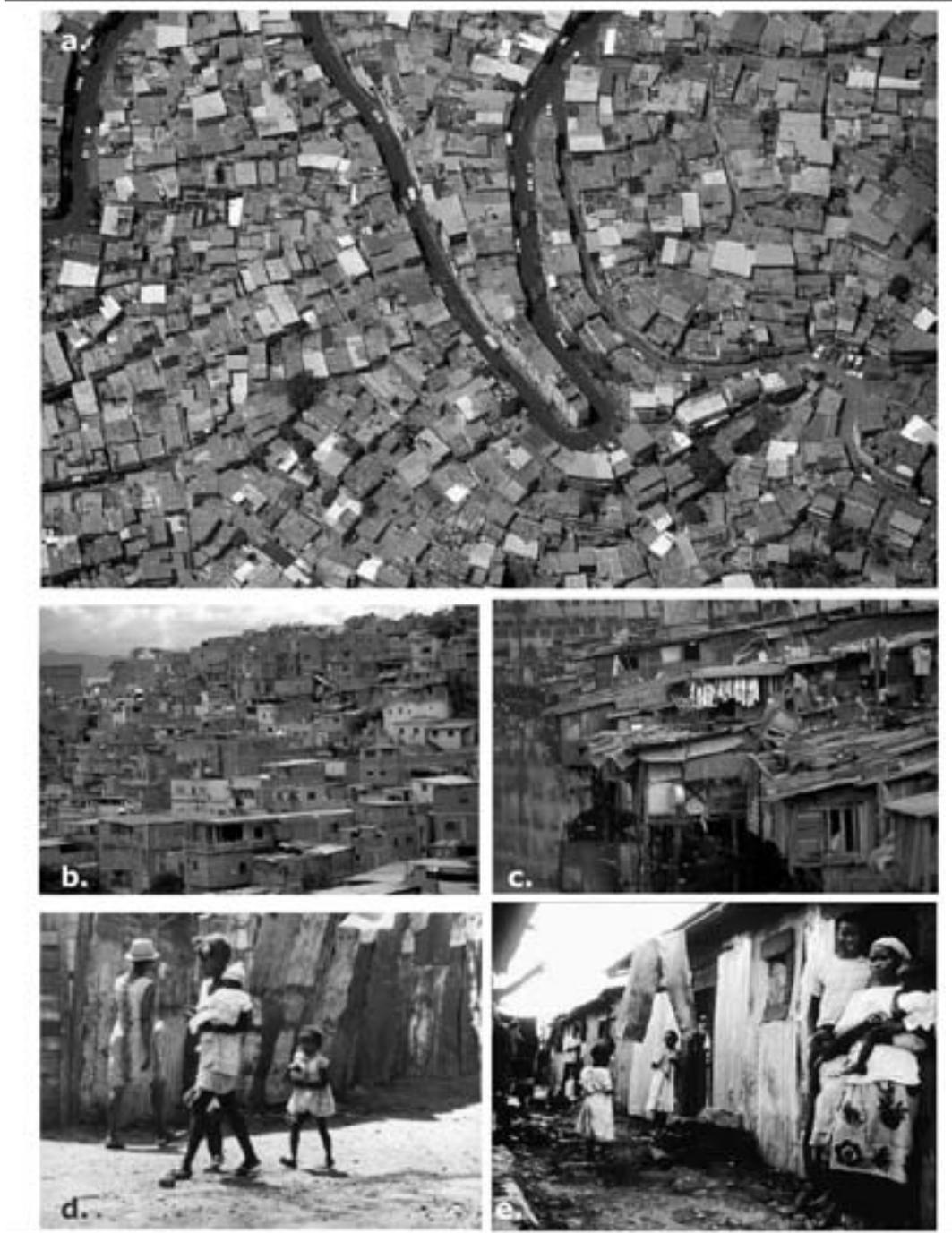


Figura 1.1 - **a.** Favela em Caracas, Venezuela; **b.** Caracas, Venezuela; **c.** Manila, Filipinas; **d.** Jamaica; **e.** Quênia.

A relocação é um tipo de intervenção que apesar de sofrer severas críticas, ainda é colocada em prática por gestores e planejadores urbanos, nas mais diversas cidades. Esse tipo de ação surgiu como aparente alternativa à expulsão, e alcançou o seu auge entre os anos 70 e 80, tendo como intenção básica livrar as áreas centrais das cidades dos indesejados bolsões de pobreza, deslocando a população de baixa renda para conjuntos habitacionais construídos em massa nas periferias das grandes cidades (VALLADARES, 1978). Hoje em dia essa prática é vista como ineficaz e anti-econômica, pois além de exigir uma grande concentração de recursos, a serem aplicados em curto espaço de tempo, exige também transformações abruptas no modo de vida e nos padrões de moradia. Conseqüentemente, boa parte dos moradores relocados acaba cedendo às pressões da especulação imobiliária, desfazendo-se do imóvel e ocupando novamente os assentamentos informais das áreas centrais, alimentando um ciclo vicioso (PATTON, 1988; TASCHNER, 1995; KELLET, 2000). Aqueles que permanecem nos conjuntos habitacionais adaptam as estruturas às suas necessidades, transformando a paisagem minimalista dos caixotes brancos e dos traçados cartesianos em uma paisagem múltipla, repleta de diversidades, cores e usos (SOBREIRA, 1995; MONTEIRO, 2000) - figura 1.2.

O compartilhamento é uma das mais recentes e populares alternativas de intervenção em favelas (ANGEL; BOONYABANCHA, 1988; BOONYABANCHA, 1988). Este método está baseado em um processo de intervenção que resulta do acordo entre os ocupantes do assentamento e potenciais interessados na terra. Em geral é intermediado por entidades governamentais e não-governamentais. Trata-se de um tipo de intervenção apropriado para áreas que são alvo de grande especulação imobiliária. Nesse tipo de intervenção (a ser financiado em parte pelos interessados na especulação da terra) são elaborados projetos de compartilhamento do solo urbano através da otimização na ocupação dos espaços, em geral através da verticalização, permitindo a liberação de parcelas do terreno ocupado para fins de comercialização.

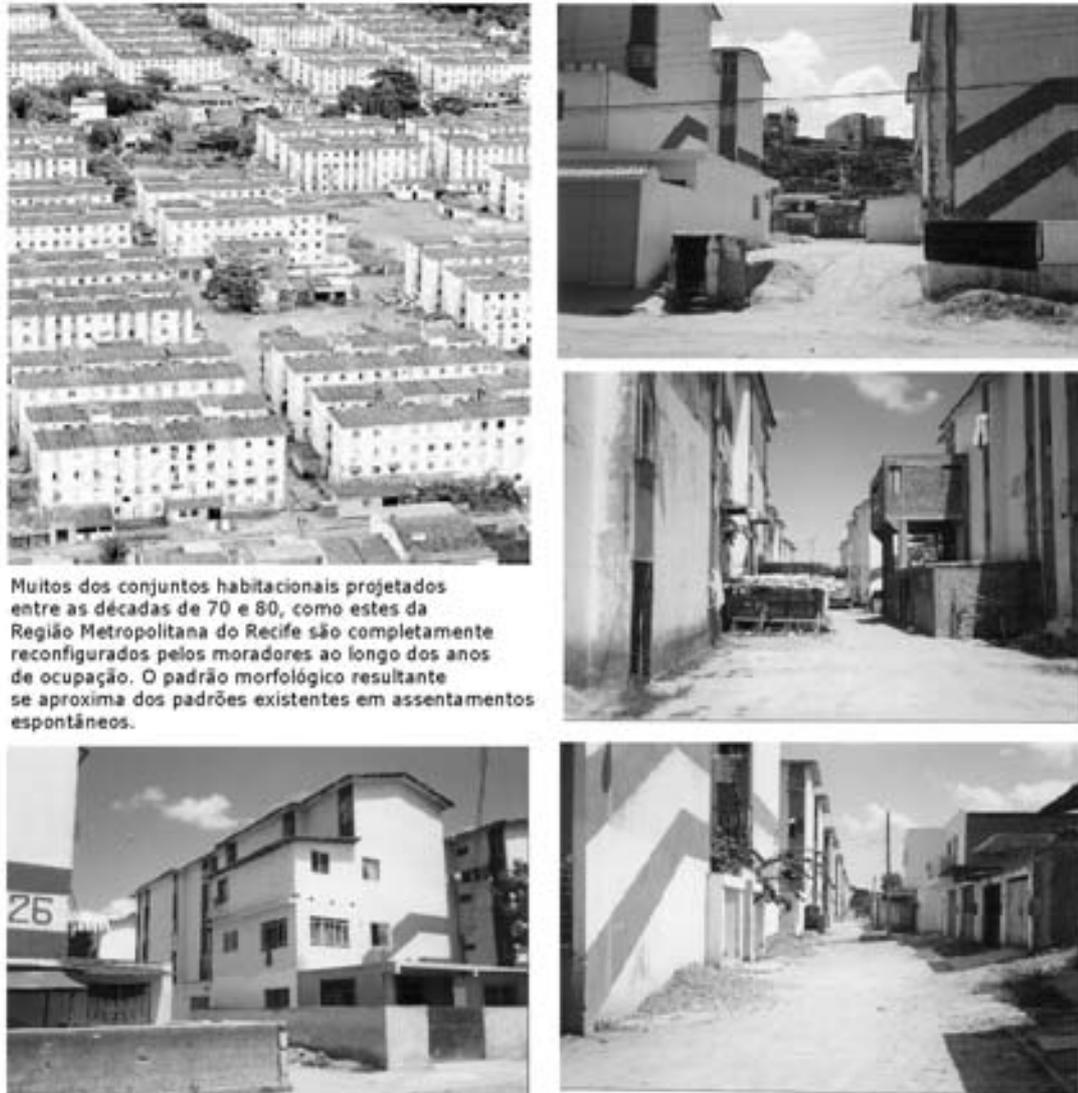


Figura 1.2 - Alterações em Conjuntos Habitacionais - Região Metropolitana do Recife

Assim como no caso da relocação, o processo de compartilhamento também sofre com a especulação imobiliária que ocorre em virtude da mudança repentina no padrão econômico e espacial da nova moradia. Podemos dizer que o compartilhamento é uma forma de relocação localizada. Apesar da novidade e da recente popularidade do processo (especialmente em Bangkok, na Tailândia), o resultado espacial muitas vezes apresenta os mesmos vícios que ocorrem no processo de relocação: na grande maioria dos casos a estrutura original do assentamento é descartada e substituída por uma nova estrutura urbana baseada na verticalização e no traçado cartesiano típico dos projetos habitacionais em massa, hoje tão criticados (figuras 1.3 e 1.4).

A melhoria *in loco* é o tipo mais difundido e aparentemente mais econômico e eficaz de ação sobre os assentamentos espontâneos (ETHERSON, 1976; BAPAT, 1987; UNCHS-HABITAT, 1987; NOSTRAND; CORNELIUS, 1982). O processo inclui necessariamente uma série de procedimentos, como a legalização da posse da terra; a proteção da área contra especulação imobiliária através de legislação urbanística, como a criação das Zonas Especiais de Interesse Social - ZEIS (MARINHO, 1999); e finalmente projetos de intervenção urbana que em geral mantêm a estrutura original do assentamento e estabelecem melhorias graduais na infra-estrutura do assentamento. É o tipo de intervenção priorizado pelo Banco Mundial e pelas principais organizações internacionais de financiamento e suporte à urbanização em países subdesenvolvidos (UNCHS-HABITAT, 1982), mas é também o que mais envolve pressões políticas no processo de implantação e gestão. Essa prática é também alvo de críticas em virtude do questionável impacto das intervenções (ações graduais) e dos resultados, que só ocorrem a médio e longo prazo (OKPALA, 1999; MUKHIJA, 2001).



Figura 1.3 - Propostas de Compartilhamento - Bangkok

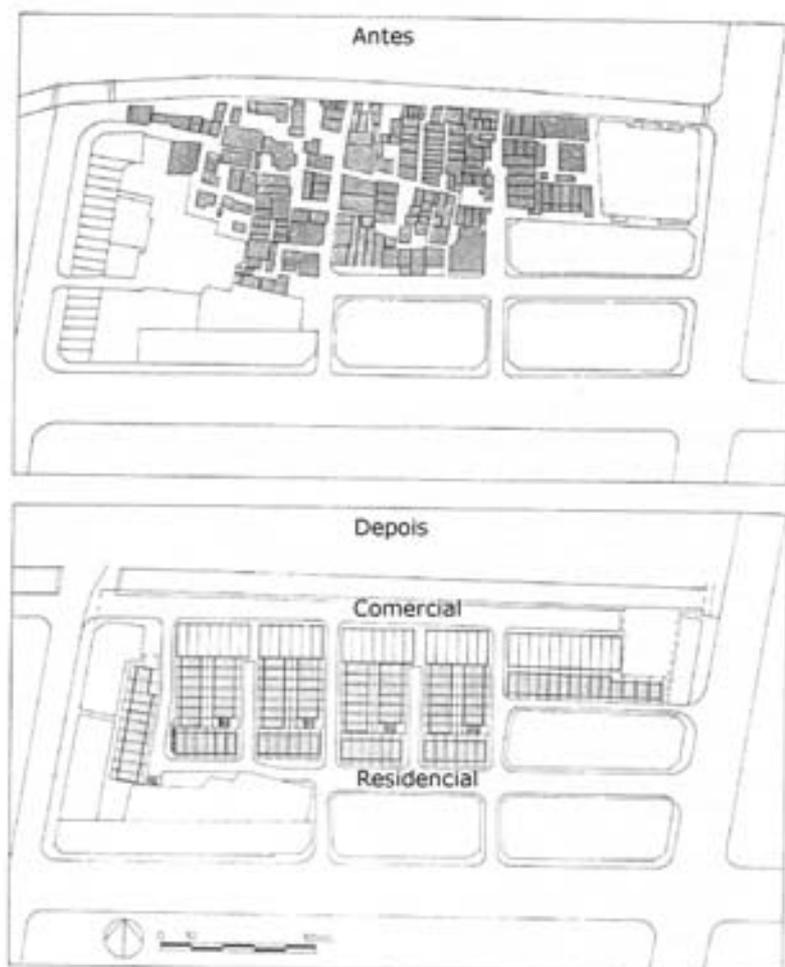


Figura 1.4 - Propostas de Compartilhamento - Bangkok

Ainda assim, este tipo de intervenção (melhoria *in loco*) tem sido considerado como a alternativa mais sustentável e eficaz para a maioria dos casos, em situações que combinam alto déficit habitacional e escassez de recursos. Neste tipo de intervenção, como destacamos, a estrutura do assentamento é em grande parte mantida e não há mudanças abruptas de padrões econômicos ou de padrões culturais. Em outras palavras, nesse processo a informalidade é legitimada e a especulação é controlada, através de legislações específicas e da melhoria gradual da infra-estrutura local (figura 1.5).

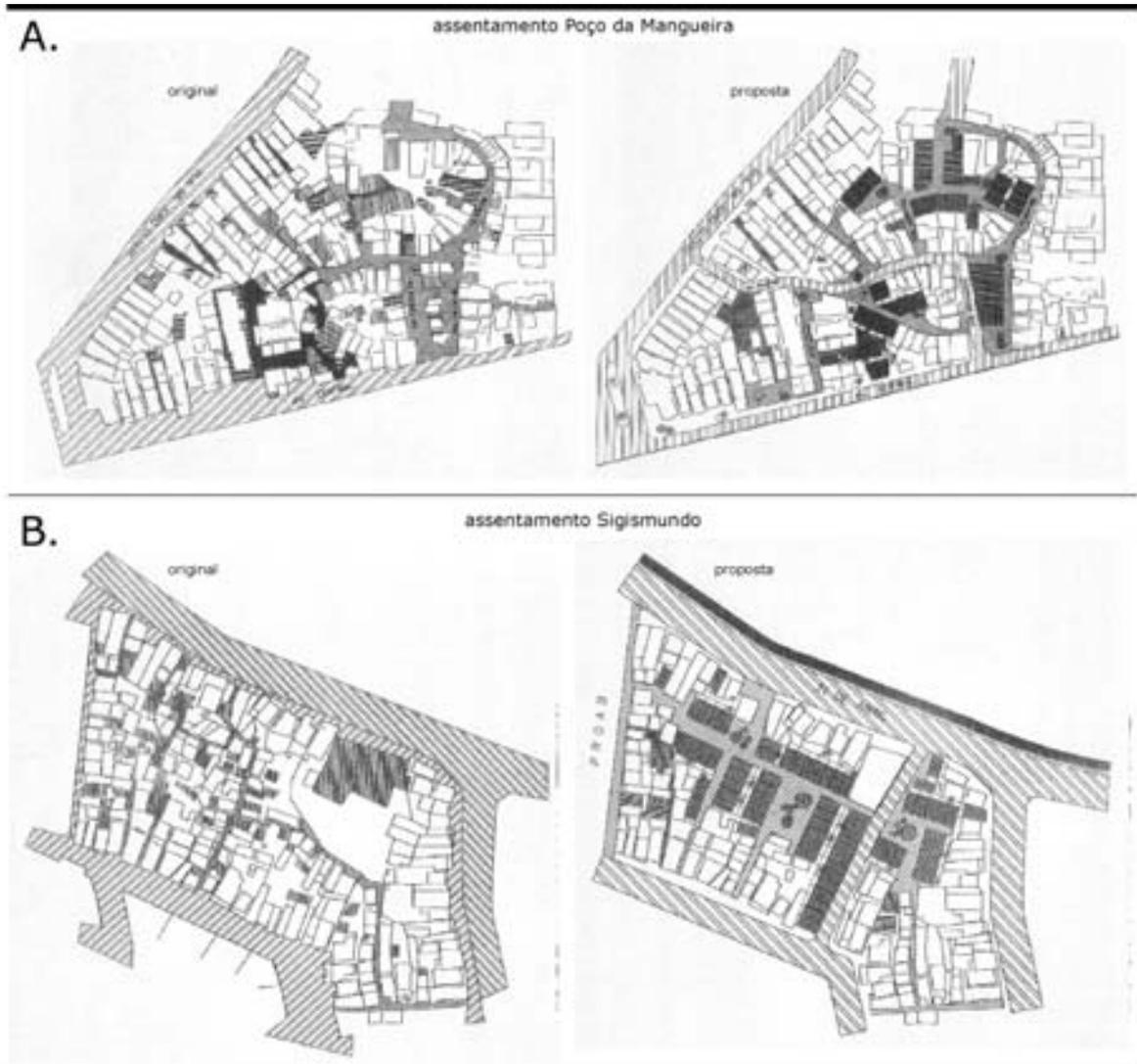
É bem verdade, no entanto, que em alguns casos de melhoria *in loco* os planejadores são traídos pela tendência, diríamos cultural, de formalização exagerada e tentam restringir o processo dinâmico da informalidade através da implantação de legislações urbanísticas locais rígidas, baseadas nos padrões estáticos da cidade formal. Ocorre então um processo de contradição entre o planejado e a dinâmica natural, entre o formal e o informal (VAN HOREN, 1999), de maneira que o processo de intervenção que originalmente tinha como função o reconhecimento da informalidade acaba se transformando em mais um conjunto de regras que inevitavelmente serão ignoradas pelos moradores no processo natural de consolidação dos assentamentos.

Sobre essa questão da intervenção em assentamentos informais, de acordo com as Nações Unidas (UNCHS-HABITAT, 1982), mesmo que haja uma intenção política, em muitas cidades, em favor da legitimidade e da reavaliação das posturas em direção aos assentamentos espontâneos, é inegável que as administrações urbanas estão ainda buscando meios práticos de viabilizar e operacionalizar os discursos. Muitas das dificuldades enfrentadas por planejadores urbanos e gestores, a esse respeito, estão relacionadas à falta de dados sobre o uso do solo na escala efetivamente local, de ferramentas que permitam a catalogação e o manuseio de tais informações e de informações e análises sobre a dinâmica de crescimento e a estrutura morfológica das favelas. A disponibilidade e a precisão de mapas cadastrais, assim como a disponibilidade de dados espaciais e estatísticos, são elementos essenciais para a fundamentação de

qualquer tipo de ação ou política de intervenção urbana. Mas em se tratando de áreas informais de países em desenvolvimento, como o Brasil, esse tipo de informação ainda é escasso. É sobre essa lacuna que se inserem as contribuições apresentadas pelo autor nesta tese, ao se apresentarem ferramentas analíticas que permitam a compreensão das propriedades espaciais (estáticas e dinâmicas) dos assentamentos informais.

As contribuições aqui apresentadas estão baseadas no entendimento de que é preciso, paralelamente a todas as discussões políticas, sociais e econômicas, olhar para os assentamentos informais sob a ótica do espaço, incluindo nesse enfoque as perspectivas estática (produto) e dinâmica (processo). Para esse fim, parte-se de uma correlação a princípio metafórica, baseada na observação empírica desses fenômenos urbanos informais. Nessa correlação, as favelas são vistas como as cidadelas contemporâneas, isto é, sob o ponto de vista simbólico podemos dizer que os assentamentos intra-urbanos são as cidades muradas dos tempos modernos.

As novas muralhas, no entanto, não são necessariamente paredes construídas em pedras, mas são representadas pelo contraste social e pelas linhas de desenvolvimento da cidade predominantemente formal (figura 1.6). As fronteiras, que separam estruturas sociais distintas, também distinguem padrões morfológicos diferentes: a cidade predominantemente formal, do lado de fora; e a informal, do lado de dentro. Morfologicamente, algumas dessas fronteiras podem ser vistas como *barreiras atrativas*, isto é, passagens, pólos de desenvolvimento, pois são permeáveis e permitem o fluxo dos recursos e oportunidades da cidade formal para o lado informal, da escassez e da instabilidade. São os corredores de comércio e serviço, avenidas, ruas locais e auto-estradas, que margeiam os vazios e que dão origem ao desenvolvimento urbano informal às suas margens.



Acima são apresentados exemplos de projetos de melhoria *in loco* em Recife. Os mapas são referentes ao assentamento Poço da Mangueira (A) e Sigismundo (B). Os mapas do lado esquerdo ilustram a situação original (mapa cadastral) de cada assentamento, enquanto os mapas do lado direito referem-se ao plano geral da proposta física de intervenção. As intervenções foram baseadas em dois pontos: a precariedade do sistema de circulação interna e a presença de focos de degradação ambiental nas áreas centrais dos assentamentos. Os planos, portanto, incluem a integração viária (abertura de vias de penetração e implementação de redes de infra-estrutura) e a reorganização de condomínios (reparcelamento e reorganização tipológica). Fonte: URB - EMPRESA DE URBANIZAÇÃO DO RECIFE (1999). Plano de Regularização Urbanística. Zeis da Mangueira, Recife.

Figura 1.5 - Intervenções em Favelas - Recife

Há fronteiras que são apenas *barreiras não-atrativas*, impermeáveis, que limitam o crescimento, como as linhas férreas, rios¹, canais e divisas de propriedade. Esses dois tipos de barreira formam, em diversas combinações, os elementos básicos na conformação do assentamento espontâneo intra-urbano. Mas a metáfora que relaciona é também a que diferencia. No aspecto social, enquanto as cidadelas medievais eram o lugar oficial para os cidadãos escolhidos, as cidadelas contemporâneas abrigam aqueles que são excluídos. Politicamente, enquanto a primeira está regulada pelo poder oficial, a segunda é o reflexo, em certo sentido, da ausência de governância. Morfologicamente, as paredes medievais eram barreiras sucessivamente construídas para proteger a cidade, enquanto as paredes contemporâneas cercam vazios urbanos que resultam da conexão incongruente de estradas, ferrovias, canais e limites de propriedade, do desenvolvimento descontínuo, e da especulação imobiliária, aspectos típicos de cidades de países subdesenvolvidos. No primeiro caso (medieval), a cidade está do lado de dentro das muralhas; enquanto no caso contemporâneo a cidade, enquanto estrutura formal, está do lado de fora. E assim se desenvolvem as favelas, como resultado conjunto de discontinuidades urbanas, econômicas, políticas e sociais.

¹ Vale salientar que em alguns casos, as barreiras não-atrativas como os rios podem se apresentar como barreiras atrativas, geradoras de desenvolvimento ou pólos atrativos de ocupação, como é o caso dos assentamentos informais que se contrõem sobre palafitas, nas comunidades ribeirinhas.



Figura 1.6 - Acima, à esquerda: Aigues-Mortes, fortaleza medieval fundada como uma base de onde eram enviadas expedições à 'Terra Santa' (Editado a partir da fonte: Kostof, S., 1991). À direita: A fortaleza contemporânea. Assentamento espontâneo na área central de Manila, Filipinas, que se desenvolveu em vazio urbano situado entre ferrovias, avenidas comerciais, e cercado por barreiras naturais como rios e canais (Fonte: Payne, G. 1977). Abaixo, à esquerda: diagrama que esboça as tensões de ocupação em torno das bordas atrativas (áreas tracejadas), que correspondem a vias de interesse comercial e linhas de infraestrutura e transporte. Essas barreiras são os atratores e moldam o desenvolvimento dos assentamentos informais.

Esses são os assentamentos intra-urbanos, isto é, aqueles que estão inseridos na malha central das cidades. Estes assentamentos, objetos de estudo desta tese, por crescerem em vazios urbanos, tendem a se consolidar em altas densidades e se desenvolver em função das restrições físicas dos limites de propriedade e barreiras naturais que contornam esses vazios. Já os assentamentos que se desenvolvem relativamente livres de pressão urbana tendem a crescer de forma mais dispersa, por se desenvolverem em áreas ainda não urbanizadas, resultando, portanto, em estruturas de menor densidade. A combinação desses dois tipos forma os assentamentos híbridos, que nascem com características semi-rurais e se tornam urbanos, devido à extensão da malha urbana da cidade, que ao longo do tempo acaba envolvendo áreas previamente desocupadas ou ocupadas por assentamentos de baixa densidade. Como consequência, ocorre a transformação nos padrões espaciais do assentamento: devido às novas fronteiras urbanas (especialmente a estrutura viária e os limites de propriedade) o assentamento que é originalmente disperso e de baixa densidade, se transforma em assentamento intra-urbano, que é fragmentado e denso.

Em geral observamos esses assentamentos espontâneos como bolsões de informalidade que se alastram pela malha urbana, em processos cíclicos de formação: assentamentos que formam cidades, que formam assentamentos, que formam cidades novamente... Nesse ciclo de transformações, resta a pergunta: como traçar planos de intervenção para assentamentos marcados pela informalidade e pela dinâmica, sem se conhecer a sua lógica de crescimento e os possíveis padrões morfológicos? O que de fato se faz necessário é descobrir o que acontece no interior desses bolsões, na tentativa de extrair dados e construir ferramentas que auxiliem na elaboração de políticas globais e locais de intervenção. Antes, porém, de serem apresentadas as ferramentas, as análises e os experimentos que visam descrever os aspectos morfológicos dessa informalidade (objetivo central desta tese), são discutidos nas seções a seguir alguns dos aspectos teóricos e epistemológicos que fundamentam esse novo olhar científico sobre a produção da informalidade urbana.

1.1.2 Sobre a dualidade entre o planejado e o espontâneo

A classificação de um sistema urbano entre planejado ou espontâneo, ordenado ou desordenado, estático ou dinâmico, não tem sido apropriada para descrever a multiplicidade e a sobreposição de elementos que compõem a cidade real. A idéia de cidade estritamente planejada e isenta de ações descentralizadas e espontâneas pertence apenas ao universo utópico, da mesma forma que o movimento natural e espontâneo não está imune às iniciativas centralizadoras, nas mais diversas escalas (sejam na forma de legislação ou de convenções de vizinhança). A cidade real escapa dos padrões e regras desejados pelos planejadores da cidade conceitual, e ao mesmo tempo está além da decisão localizada dos indivíduos. A cidade é múltipla, e resulta da combinação simultânea de movimentos aparentemente opostos e excludentes, mas que são na verdade complementares: o planejado e o espontâneo.

De fato, as distinções entre o natural e o planejado por vezes se confundem, em virtude da continuidade natural entre crescimento natural e planejado. Mas algumas distinções podem ser feitas. As partes naturais (espontâneas) das cidades crescem de forma muito mais lenta que as planejadas. Essas partes que crescem naturalmente são formadas a partir da miríade de decisões individuais em escala local. As planejadas resultam de decisões concentradas em escala global, e são em geral concebidas para serem edificadas a um só tempo. Essas partes planejadas são em geral monumentais e regulares, e são em geral expressões de forças políticas que as usam como elemento simbólico de triunfo e poder. As partes naturais, como vistas hoje, são o resultado de uma série de superposições de influências e alterações efetuadas ao longo do tempo, e os usos se mesclam na malha urbana. As planejadas foram pensadas como objetos inalteráveis, divididos em zonas específicas de usos e serviços. No entanto, a realidade tem demonstrado que a manutenção dessas características é quase impossível com o passar do tempo, por contrariar a força natural do crescimento de qualquer cidade (BATTY; LONGLEY, 1994). Todas essas distinções são claras visualmente, e vão se

traduzir em padrões bem distintos: irregular e fragmentado (partes naturais), de um lado, e regular e euclidiano (partes planejadas) do outro.

Todo planejamento está baseado em conceitos e princípios. Mas a cidade conceitual por muito tempo se afastou da cidade real, e assim permaneceu, enquanto a descrição e a teorização sobre as cidades referiam-se ao objeto como ele deveria ser, e não ao objeto como ele realmente é. Assim, na ausência da dualidade necessária para se entender o que está entre os extremos, a consequência foi um hiato crescente entre o real e o conceitual. Entre o que era imaginado por poucos e o que era vivenciado por muitos.

Na maioria dos casos de cidades reais, portanto, a estrutura morfológica resultante é um misto desses dois tipos de movimento. É difícil falar de uma cidade que ao longo do tempo permaneça puramente planejada, ou estritamente natural. A cidade contemporânea, como já foi argumentado, é um mosaico de intervenções, ora centralizadas, ora descentralizadas. Uma espécie de palimpsesto, em que o símbolo de hoje se sobrepõe aos símbolos passados, de forma que as leituras e interpretações estão sempre marcadas por sobreposições de imagens. São comuns, por exemplo, estruturas originalmente planejadas que são adaptadas, ao longo do tempo, por ações localizadas, e que evoluem de forma natural, sobre uma estrutura originalmente regular. Igualmente, são comuns os casos de estruturas originalmente orgânicas, que são objeto de sucessivas intervenções e ações centralizadas de planejamento.

Na figura 1.7a, por exemplo, nota-se a transformação gradual de uma colônia romana em uma cidade islâmica. À esquerda, a solidez da malha romana, pontuada por um mercado ao ar livre e por um anfi-teatro. No centro, notam-se as primeiras transformações resultantes da ocupação árabe. A população se apropria dos monumentos públicos para o uso particular e o surgimento de becos e reentrâncias começa a violar o traçado regular original. À direita nota-se a transformação completa,

caracterizada por um mínimo de espaços vazios, restando poucos indícios da cidade em seu formato regular. Pode-se observar na figura 1.7b, que representa o centro de Damasco, cidade ocupada pelos árabes na metade do século VII, o tecido orgânico que se implanta sobre o traçado hipodâmico da cidade helenística, destruindo sua regularidade (ou, como veremos mais adiante, construindo uma regularidade implícita). Em preto, os monumentos da cidade árabe; em tracejado, os desaparecidos da cidade helenística. A figura 1.7c ilustra um exemplo contemporâneo de transformação espacial. Trata-se da transformação de conjuntos habitacionais populares pelos seus moradores ao longo do tempo de ocupação. O traçado regular é gradualmente alterado em função de um processo de auto-organização espacial, através de inserções de melhorias, acessos individuais, elementos estéticos personalizados, novas edificações ou expansão das existentes (vide detalhes na seção Ações e Intervenções), fazendo com que a forma dos conjuntos apresente, com o tempo, padrões morfológicos similares aos das estruturas espontâneas (vide imagens da figura 1.2).

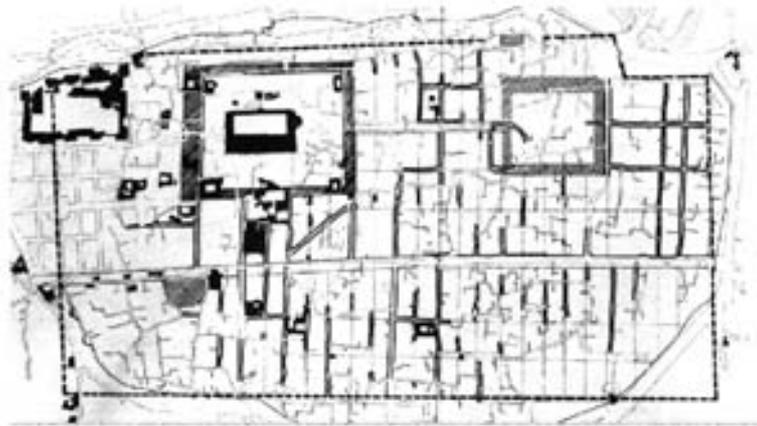
A visão sobre essa espontaneidade foi por muito tempo (e ainda tem sido) marcada por visões antagônicas, que chegam a ser classificadas (obviamente, de forma pouco pacífica e conclusiva) entre racionais e românticas. Sob a ótica da morfologia urbana, a diversidade (aqui traduzida, de forma simplificada, como a multiplicidade de informações que compõem determinado elemento) sempre foi o principal ponto de referência crítica, sendo pelos primeiros abordada como empecilho e pelos últimos como expressão desejável da natureza humana. Os racionais, se assim classificarmos os seguidores da cartilha modernista, argumentam que a diversidade (e suas consequências, como a irregularidade) se traduz em caos, desordem, afronta ao objetivismo, como sugere Corbusier (2000), ao definir que a cidade é um instrumento de trabalho e que já não cumpre essa função, por ter se tornado alvo da multiplicação da desordem e da decadência.

Entre o planejado e o espontâneo

a.



b.



c.

conjunto original



conjunto alterado



a. Editado a partir de Kostof, 1999a; b. Editado a partir de Benévolo (2001).
c. Editado a partir de Sobreira (1995).

Figura 1.7 - a. Transformação do tecido urbano após ocupação islâmica sobre traçado romano; b. sobreposição de linguagens no centro de Damasco; c. traçado esquemático das alterações típicas de conjuntos habitacionais na Região Metropolitana do Recife.

Os românticos, este vêem a diversidade como expressão da natureza, propriedade orgânica, carregada de subjetivismo e do elemento pitoresco, características tidas como essenciais à qualidade do espaço urbano, como sugere Camilo Sitte (1945), ao lembrar que as quebras de simetria das cidades naturais não são casuais, pois despertam nosso interesse à medida que preservam o caráter pitoresco.

No aspecto morfológico, o planejado traduz-se como o resultado da disposição linear e repetitiva de elementos ou ilhas², todas numa mesma escala, dispostas de forma cartesiana (Barcelona, Manhattan e Brasília, por exemplo). Por outro lado, em relação ao objeto espontâneo pouco se fala sobre as suas propriedades geométricas, restando na maioria das vezes referências simbólicas e metafóricas como orgânico, natural, caótico... Se por um lado a cidade planejada tem sido descrita, geometricamente, como expressão literal dos princípios euclidianos e cartesianos (determinismo, exatidão e linearidade), haveria expressões geométricas que caracterizassem as estruturas definidas como orgânicas ? Seriam os assentamentos informais simplesmente meros resultados de emaranhado de ruas, largos e becos tortuosos, conectados de forma desorganizada, envolvendo agregados de casas dispostos de forma aleatória? Ou haveria algum tipo de ordem por trás da aparente desordem morfológica?

No que se refere à variável tempo, por exemplo, o planejado tem tradicionalmente representado o que é estático e definitivo, enquanto o objeto natural representa o que é dinâmico e instável. Em relação à variável espaço, a escala e a regularidade são os elementos fundamentais para essa busca por uma classificação mais objetiva e analítica e menos retórica e descritiva. O objeto planejado seria aquele cujos elementos pertencem a uma única escala e estão dispostos de forma cartesiana.

² Ilhas: grupos de edificações cercados por espaços vazios, ou blocos (HILLIER; HANSON, 1984).

Em virtude do próprio processo centralizado de criação e de controle, o objeto planejado é caracterizado por propriedades como simetria de repetição (relação de igualdade entre partes, numa mesma escala), e unicidade de escala (o objeto é composto por elementos de tamanho característico ou único), que são propriedades geométricas naturais de um objeto concebido de forma que o todo seja facilmente assimilado a partir da observação das partes (princípio básico do planejamento centralizado). Já o objeto espontâneo, em relação à variável espaço, apresenta duas propriedades básicas: *simetria de dilatação*, que é a relação de similaridade entre partes de escalas distintas, e a *multiplicidade de escalas*, segundo a qual o objeto é composto por elementos sem tamanhos característicos, isto é, todas as escalas estão presentes (dentro de determinados limites). Um exemplo típico de co-existência desses dois tipos de padrão espacial é a cidade de Barcelona, em que a malha urbana regular (marcada pela unicidade de escalas das quadras típicas do projeto por Cerdá), envolve a estrutura informal do núcleo medieval (marcada pela multiplicidade de tamanhos das quadras típicas do crescimento predominantemente espontâneo).

A espontaneidade, enfim, é parte essencial no palimpsesto morfológico que caracteriza as cidades ao longo da história. O regular e o espontâneo não são características de culturas ou de épocas; são expressões espaciais de necessidades sociais. Coexistem, portanto, em diversas culturas e épocas. O espaço, nesse contexto, é a ferramenta a ser utilizada para se desvendar os símbolos desse palimpsesto de formas. E falar de lógica oculta em traçados irregulares é falar de rupturas ideológicas com os princípios do determinismo; rupturas que têm marcado a recente história disciplinar dos estudos morfológicos, e que irão fornecer os fundamentos para a construção de um novo método de abordagem do espaço informal.

1.2 (Cons)Ciência da Complexidade

1.2.1 Um estranho atrator

"Quando alguma coisa alcança as massas, ela na verdade já se foi". Com essas palavras Per Bak (apud HORGAN, 1995, p. 75), um dos mais respeitados cientistas da complexidade nos fala da transitoriedade dos conceitos, e se refere diretamente à *Teoria do Caos*, uma das derivações (ou fontes) da Complexidade enquanto ciência. Bak (apud HORGAN, 1995, p. 75) afirma que os conceitos relacionados à Teoria do Caos tiveram o seu ápice por volta de 1985, dois anos antes de James Gleick (1991) ter publicado *Caos - a criação de uma nova ciência*. Per Bak é um dos maiores defensores da chamada Ciência da Complexidade e da busca por uma teoria universal para todos os sistemas complexos. Essa transitoriedade da razão - um dos símbolos da tão postulada crise da ciência moderna, segundo Santos (1989) - tem deixado os cientistas constantemente preparados para a revisão dos próprios conceitos. Esse novo olhar sobre a ciência, definido por alguns como ciência pós-moderna, vem se contrapor a uma visão (a visão moderna) que durante séculos é a referência de todo o conhecimento humano. E em torno desse conhecimento, dessa verdade, as diversas disciplinas levantaram as indagações e buscaram as respostas. O que se percebe é que as Ciências da Complexidade e o seu novo olhar têm se fortalecido bastante e hoje estão pondo em cheque as bases conceituais que pareciam tão sólidas. Consequentemente, a Complexidade tem se transformado na nova referência de indagação e busca por respostas entre as mais diversas disciplinas. Evidentemente há modismos e euforias na formulação e divulgação das novas e ousadas idéias científicas, mas estas tendem a se dissipar antes de chegar ao solo e portanto não fertilizam os campos disciplinares. No caso da Complexidade, esses campos estão férteis, mas ainda não se sabe ao certo que frutos serão gerados e qual a sua utilidade. Por isso, as convergências, aplicabilidades e

coerências desses conceitos em relação aos diversos campos disciplinares e especialmente ao estudo dos Sistemas Urbanos, serão amplamente discutidas nesta dissertação. Devemos antes responder a uma pergunta básica: o que é a Complexidade ? John Holland, cientista da computação e um dos mais renomados complexologistas, tem uma visão da Complexidade que é tida por alguns como ambiciosa e pouco modesta, mas que resume a diversidade de conceitos que giram em torno do tema.

Para Holland (1998b, p.4, tradução nossa),

[...] muitos de nossos problemas - balança de mercado, sustentabilidade, AIDS, defeitos genéticos, saúde mental, vírus de computador, - estão centrados em certos sistemas de extraordinária complexidade. Os sistemas que guardam tais problemas - economia, ecologia, sistema imunológico, embriologia, sistema nervoso, redes de computação, - parecem ser tão diversos quanto seus problemas. Apesar das aparências, contudo, os sistemas compartilham significantes características, de forma que nós os agrupamos sob uma simples classificação no Santa Fe Institute, definindo-os como sistemas adaptáveis complexos (SAC). Isso é mais que uma terminologia. Isso assinala nossa intuição de que há princípios gerais que governam todos os comportamentos dos SAC, princípios que ajudarão a resolver os contínuos problemas.

A Complexidade é às vezes definida como o limite do caos , quando sugere que coisas verdadeiramente complexas aparecem no limite entre a ordem e a desordem. Uma espécie de atrator para onde convergem os sistemas dinâmicos. Essa idéia veio preencher diversas lacunas deixadas pelos modelos da ciência moderna. Nesses modelos da ciência moderna, como critica Gleick (1991, p.61): "as soluções estáveis é que eram interessantes. Ninguém queria perder tempo numa linha de investigação que se tornava irregular, não produzindo nenhuma estabilidade."

Os jargões da filosofia moderna eram a racionalidade e a simplificação, que podem se resumir em linearidade. No entanto, por mais complexa que a matemática linear pudesse ser, para os complexologistas ela inevitavelmente enganava os cientistas sobre o mundo, onde predominava a não-linearidade. Essa, pois, é uma das principais características dos sistemas complexos.

Uma outra característica é a de que o comportamento dos sistemas complexos emerge a partir da interação entre cada um e destes com o ambiente. Conseqüentemente, esses sistemas não são estáticos, são dinâmicos. A interatividade gera constantes mudanças com o tempo. Essa noção de dinamicidade e interação parece inadmissível dentro das posturas da ciência moderna e embora os sistemas complexos sejam diferentes nos detalhes, segundo Holland, a questão da manutenção da coerência sob as mudanças é o enigma central de todos eles, aspecto que pode ser associado à idéia de equilíbrio.

Enquanto na concepção da ciência moderna o todo é formado por partes que se somam linearmente, entre os sistemas complexos o todo é mais do que a simples soma dos comportamentos, características ou dimensões de suas partes, o que está diretamente relacionado à não-linearidade. Ainda dentro dessa relação parte-todo, os complexologistas afirmam que os sistemas complexos expressam aparente desordem em seu conjunto, mas ocultam lógicas de ordem baseadas em regras simples em seus elementos individuais. Uma outra peculiaridade dos SAC é que esse grau de irregularidade aparente permanece constante em diferentes escalas, isto é, o mundo exhibe repetidamente, uma irregularidade regular. Enfim, nota-se porque Complexidade tem sido o estranho e sedutivo atrator para onde as disciplinas, aparentemente saturadas pelos paradigmas da ciência moderna, estão convergindo. Afinal, a Complexidade acolhe objetos e características que, até então, foram ignorados ou simplificados ao extremo.

Batty e Longley (1994) traçam uma breve dicotomia, em que são confrontados os fundamentos que caracterizam as posturas da ciência moderna de um lado e as novas posturas relacionadas à Complexidade, do outro. Os autores partem do princípio que há uma série de distinções que marcam o atual discurso em torno das ciências, teorias e métodos, e que naturalmente têm se refletido nos estudos das cidades. Essa dicotomia, que traduz a tensão paradigmática entre teorias e conceitos é resumida nos itens a seguir:

Simplicidade e complexidade – há uma tensão constante entre a necessidade de simplificar, de maneira a se permitir a compreensão do objeto, e a necessidade de oferecer informações que descrevam de forma mais precisa e fiel a sua complexidade.

Reduccionismo e holismo – a visão reducionista vinha dominando disciplinas como a Física e a Economia até recentemente. O todo maior que a soma das partes tem se transformado numa espécie de clichê da teoria geral dos sistemas. Seja como for, há uma profunda inquietação em posturas que visam saber mais e mais sobre cada vez menos.

Continuidade e descontinuidade – a ciência clássica tem falhado ao tentar lidar com sistemas que apresentam mudanças abruptas de comportamento, e ao mesmo tempo tem-se descoberto que esses sistemas, na natureza, são a regra, e não a exceção: sistemas que não podem ser abordados segundo a visão da continuidade. Essa idéia de espaço descontínuo, por exemplo, se aplica diretamente à questão das cidades, devido às constantes, repentinas e às vezes inesperadas transformações urbanas. Cientistas argumentam que, neste aspecto, se nos laboratórios a ciência tradicional vinha se mostrando eficaz, na aplicação ao mundo real, as limitações são inquestionáveis.

Homogeneidade e heterogeneidade (uniformidade e diversidade) – sistemas que apresentavam heterogeneidade (diversidade) sempre foram tratados como algo além dos limites da ciência. Os sistemas observados pela ciência clássicas eram aqueles bem comportados, previsíveis, controláveis, homogêneos e ordenados. Como se tem verificado, o universo e a grande maioria de seus componentes (como as dinâmicas sociais) são intrinsecamente diversos e heterogêneos. Seriam então necessários novos conceitos, uma nova ciência. Uma ciência da diversidade. Uma ciência da complexidade.

Certeza e incerteza – quanto mais nós mergulhamos em explicações, menos certeza nós temos sobre o que foi explicado. Será isso algum tipo de progresso? O reconhecimento da incerteza em si já é um grande progresso na formação dos novos e necessários conceitos, que irão lidar com o complexo e o imprevisível.

Regular e irregular: geometria de Euclides e geometria de Mandelbrot (propagador da Geometria Fractal). É neste ponto da dicotomia em que são tratadas as propriedades espaciais dos sistemas complexos, como veremos com detalhes na parte 2 desta tese.

A Complexidade, enfim, surge como uma fonte promissora de novos conceitos e ferramentas que poderiam explicar fenômenos e comportamentos até então ignorados nas mais diversas disciplinas. Seria, então, uma espécie de "salvação" teórico-metodológica contra um estado de crise pelo qual estariam passando a ciência pós-moderna, incluindo as ramificações humanas e sociais? Haveria, de fato, alguma crise?

1.2.2 Mudanças de paradigma nas ciências sociais

Os filósofos anunciam que a ciência moderna está em crise (SANTOS, 1989; HORGAN, J. 1998). O distanciamento e a estranheza do discurso científico em relação ao senso comum e à prática social, presentes no discurso de pensadores como Bacon, Hobbes, Hegel e Descartes (SANTOS, 1989) passaram a ser questionados. Nesta época de transição, marcada pelos questionamentos filosóficos e epistemológicos da ciência moderna, a tendência tem sido inversa: o reencontro da ciência com o senso comum. Entre as ciências sociais e humanas, tem havido uma proximidade cada vez maior com a prática e os indivíduos, um discurso que passou a admitir a complexidade social como fonte de alimentação das bases científicas e que questiona o conceito de verdade científica demasiado estreito, obcecado pela sua organização e pela sua certeza.

De fato, muito se tem falado que estamos passando por um período de transição, de revisão de nossos conceitos. A ciência tem sido objeto de questionamentos, e os conceitos modernos de dogmatização da cientificidade e a indiferença ao empirismo passaram a ser revistos. A idéia de verdade única e perene tem sido questionada e substituída por uma idéia de validade transitória. O absolutismo tem dado lugar à relatividade. Santos (1989) destaca, ainda, em lados opostos, o positivismo lógico de Descartes e o distanciamento entre ciência e senso comum de Bachelard, de um lado, e a desconstrução de Derridá, do outro, onde o espírito científico de Hegel tem sido confrontado com a necessidade de uma ciência mais próxima da prática social, que se aproprie das diversidades e se alimente da dinamicidade e diversidade do universo. Ao se falar da crise, podemos nos apropriar da visão do autor (SANTOS, 1989), que identifica duas categorias: a crise de crescimento e a crise de degenerescência. A primeira é disciplinar, e não questiona as bases epistemológicas da ciência. Ao contrário, tende a fortalecer o espírito científico. A segunda afeta as bases conceituais das ciências, e é interdisciplinar. É uma crise dos paradigmas. Acredita-se que essa crise pela qual passamos é ao mesmo tempo disciplinar e paradigmática. Mas onde entra a discussão dos sistemas urbanos neste debate sobre a crise da ciência moderna? Como a crise da ciência tem afetado o estudo dos sistemas urbanos?

Podemos dizer que o estudo dos sistemas urbanos passa por uma dupla crise. Uma crise mais profunda que a ocorrida com o nascimento do modernismo. Naquele momento, apesar da disciplina estar sendo questionada em seus métodos e conceitos, a base filosófica e científica permaneciam ainda mais reforçadas, e eram as mesmas do classicismo e do renascentismo. Esta nova crise (últimos 40 anos) a que nos referimos é uma crise de paradigmas. Ela está no estudo dos sistemas urbanos e também em todas as demais disciplinas científicas, pois não apenas métodos estão sendo questionados, mas a própria maneira de ver a sociedade. Naturalmente, nem todas as disciplinas perceberam essa fase de transição e ainda ignoram a crise paradigmática. No caso dos sistemas urbanos essa percepção tem sido lenta e pouco extensiva. Um dos motivos

desse atraso perceptivo e reflexivo é a forte compartimentalização imposta ao estudo dos sistemas urbanos.

Evidentemente, como ocorre nas ciências, as revisões metodológicas e teóricas, quando atingem questões paradigmáticas, isto é, quando questionam a própria concepção e o papel das disciplinas sob revisão, tendem a estimular o surgimento simultâneo e interdependente de novos conceitos e idéias. É o que ocorreu no início dos anos 70, quando as idéias de sistemas simples, estáticos, simétricos e previsíveis davam a lugar, em diversas campos disciplinares, a conceitos relacionados a complexidade, dinâmica, assimetria e imprevisibilidade de comportamento³: assim ocorreu com cientistas vindos da Física e Química, como Herman Haken com os seus estudos sobre Sinérgica, e as teorias de auto-organização e bifurcação de Ilya Prigogine (Prêmio Nobel em Química). Da matemática, destacou-se René Thom com a Teoria da Catástrofe e dinâmicas não-lineares, ao mesmo tempo em que os primeiros estudos sobre caos e complexidade se iniciavam com Edward Lorenz e outros. Enquanto isso, Benoit Mandelbrot elaborava as bases da Teoria Fractal e avançavam teorias computacionais como os Autômatos Celulares, criados nos anos 50 por John von Neumann e popularizado por John Conway através do Jogo da Vida, nos anos 70, paralelamente aos estudos sobre Inteligência Artificial. O ambiente era de fertilidade criativa, e mais do que nunca de prováveis e necessárias contribuições e diálogos interdisciplinares.

As ciências sociais e os estudos urbanos, naturalmente, sempre tiveram nas ciências da natureza uma espécie de fonte de inquietação teórica e de inspiração metodológica. Foi assim em relação aos alicerces teóricos da Física Clássica - quando a sociedade era vista sob a ótica do determinismo e da razão - e assim continuou quando esses próprios conceitos passaram a ser revistos e questionados nas suas disciplinas de origem.

³ Os autores comentados na sequência do parágrafo e suas respectivas contribuições são citados por Peter Allen em *Cities and regions as self-organizing systems* (1997).

Mas, poderíamos também dizer o inverso? Seria também a sociedade, através das ciências que a estudam, um termômetro para as próprias reformulações epistemológicas e paradigmáticas das ciências exatas, na identificação de limites teóricos e validades metodológicas? É bem possível, afinal, se considerarmos a construção do conhecimento como uma sucessão de rupturas e não necessariamente de extensões, o que teria causado nos cientistas tal sentimento de mudança? Seria uma descoberta inesperada sobre a termodinâmica de fluidos? Ou seriam, por exemplo, as reformulações filosóficas do pós-guerra? Quem estaria à frente, ciência ou filosofia? Veremos que esse caminho inverso também existe. Alguns conceitos-chave das ciências da computação, por exemplo, como Inteligência Artificial e Inteligência Artificial Distribuída, que surgiram entre as décadas de 60 e 70, e que são a base de toda a atual revolução computacional vivida nos dias de hoje, foram buscar suas abstrações na psicologia e na sociologia, respectivamente (HUHNS E SINGH, 1998). Afinal, o cientista é um ser social e não está isento das diversidades e adversidades do mundo real, mesmo quando imerso na aparente frieza e no isolamento de um laboratório.

A idéia de sistema adaptável complexo como um conjunto aparentemente desordenado composto por elementos diversificados interagindo entre si e em constante mudança parece cair como uma luva, em analogia à sociedade e ao homem. As bolsas de valores, as comunidades pré-históricas, a linguagem, a estratificação social, as guerras, as cidades, enfim, todos são sistemas sociais ou humanos de profunda complexidade e que têm recebido a atenção de complexologistas em seus estudos, como é o caso de John Holland (1998a), segundo o qual, os diversos problemas que nos deixam perplexos na sociedade contemporânea tendem a persistir até que nós desenvolvamos um entendimento da dinâmica desses sistemas.

Mas quais as convergências práticas e teóricas entre Complexidade e Ciência Urbana? Quais os caminhos possíveis? Uma coisa parece certa: há uma revolução em andamento,

para onde todas as ciências parecem estar convergindo, e o estudo dos sistemas urbanos tende a seguir para o mesmo rumo, esse estranho atrator .

1.2.3 Dimensões urbanas da complexidade

Tem sido realmente difícil, ao longo da história da ciência urbana, interrelacionar os enfoques físico e espacial, de forma que o enfoque físico, baseado na idéia de cidades enquanto objetos espaciais, não tem sido facilmente relacionado à teoria de cidades enquanto sistemas institucionais, econômicos ou sociais, gerando uma lacuna disciplinar. Forma-se, por consequência, um curioso paradoxo: se por um lado não há dúvidas de que a forma física das cidades é ao mesmo tempo resultado e causa da diversidade de processos econômicos e sociais, ou de que os problemas urbanos se manifestam, em sua maioria, em termos espaciais; por outro, ainda não há consenso sobre o papel da forma, da geometria e da configuração no estudo do fenômeno urbano. Esse paradoxo chama a atenção para a necessidade de um novo olhar para a ciência urbana, que permita observar as cidades sob a ótica da fragmentação do espaço e da multiplicidade de escalas: a ótica da Complexidade.

Apesar de ter nascido entre as ciências exatas e da natureza (Matemática, Física ou Biologia) a Complexidade tem estendido os seus tentáculos interdisciplinares entre áreas bem diversas, como a Economia, a Sociologia, a Arqueologia e outras afins ou não. As ciências humanas e sociais, talvez devido à complexidade dos seus sujeitos-objetos que são homem e sociedade, têm cada vez mais buscado na fonte desse novo campo das ciências respostas a indagações que ficaram sem respostas nos domínios do positivismo lógico . Nos estudos urbanos há contribuições teóricas e analíticas que vêm marcando as pesquisas econômicas, sociais e morfológicas sobre a cidade, nas mais diversas escalas, a partir dos anos 70, e mais intensamente a partir de meados dos anos 90.

Os estudos sobre a Complexidade têm se difundido num momento em que o estudo físico dos sistemas, incluindo entre estes as cidades, passam por uma espécie de revisão teórica e redescoberta metodológica. Esse novo olhar sobre as ciências trouxe idéias como ordem sob aparente desordem, complexidade em lugar de reducionismo, não-linearidade em oposição à linearidade, o todo que é mais do que a soma das partes, a interação entre agentes locais que interfere sobre a estrutura global dos sistemas, e assim por diante. É com base nesses conceitos e ferramentas que ao longo dos últimos anos tem crescido, no campo da teoria urbana, a idéia de que a irregularidade e a confusão presentes na forma da cidade são manifestações superficiais de uma ordem mais profunda. A Complexidade e as propriedades matemáticas e físicas a ela associadas (auto-organização, emergência, não-linearidade, leis de escala, fractalidade...) têm sido importantes instrumentos nessa revisão conceitual.

Mas além das aproximações matemáticas e técnicas, tem havido espaço para discussões um pouco mais metafóricas, mas que não deixam de guardar sentido e lógica se observadas mais atentamente e menos racionalmente. Há, evidentemente, certos exageros em prol do estilismo e do esteticismo tendencioso. Haveremos, portanto, de distinguir o que é realidade do que é apenas retórica, ou como alerta Horgan (1995), distinguir a Complexidade da mera perplexidade. Mas há de se admitir que dentro da dialética simples-complexo, o símbolo desempenha papel importante, e conseqüentemente a estética. Essa aproximação surge, primeiramente, através do distanciamento ou estranhamento ao oposto, como nas palavras de James Gleick (1991, p.89), parafraseando Mandelbrot (1983):

As formas da geometria clássica são as linhas e os planos, os círculos e as esferas, os triângulos e os cones. Representam uma poderosa abstração da realidade, e inspiraram uma vigorosa filosofia de harmonia platônica. Euclides fez delas uma geometria que durou dois milênios. [...] Para compreender a complexidade, porém, essas formas revelam-se o tipo inadequado de abstração.

E assim Gleick nos fala do lado romântico da geometria de Mandelbrot. Uma geometria de reentrâncias, depressões, do que é fragmentado, torcido, emaranhado e entrelaçado. Charles Jencks (1997), definido por David Harvey (1992) como o principal cronista da pós-modernidade, alerta para o fato de que os arquitetos e urbanistas devem travar uma luta entre as ciências pós-modernas da complexidade e as ciências modernas da simplicidade. Seguindo os conceitos da Geometria Fractal, Jencks sugere que a auto-similaridade é positiva, enquanto auto-repetição é monótona. Mas Jencks ainda lança alguns questionamentos: poderemos construir a um só tempo? Como gerar, neste caso, variedade cultural e profundidade? E assim é destacado o conceito de superposição estética e simbólica, uma das marcas do Deconstrutivismo na arquitetura. Mas ainda estaria por chegar a idéia de emergência (como veremos adiante, na parte III), que poderia ser traduzida em uma intervenção em que o urbanista ou arquiteto informa o sistema, que age em significativa auto-organização.

Mas qual, afinal, a relação entre todo esse discurso sobre a Complexidade e o estudo sobre os assentamentos informais? As favelas, esta é a conjectura principal desta tese, também são sistemas complexos. A ordem implícita dos códigos sociais, das necessidades econômicas, e das restrições espaciais, fazem resultar a diversidade de sua estrutura morfológica. E daí nasce a hipótese: se as favelas são sistemas complexos, podemos nos utilizar dos mesmos conjuntos de ferramentas que descrevem esses sistemas para tentar descrever aspectos espaciais de sua complexidade urbana .

Nesta tese, são utilizados dois conjuntos de ferramentas, abordando as favelas enquanto sistemas complexos, de maneiras distintas porém complementares e indissociáveis. O primeiro conjunto reúne os fractais e as leis de escala, enquanto o segundo conjunto se refere aos modelos computacionais baseados em agentes. O primeiro conjunto de ferramentas se refere à estrutura espacial do sistema: a análise estática. O segundo se refere ao processo por trás dessa estrutura: a análise dinâmica. É o que veremos ao longo dos capítulos a seguir.

Parte 2 - Fragmentação Urbana

(análise estática)

[O universo] está escrito em língua matemática e seus caracteres são triângulos, círculos e outras figuras geométricas, sem as quais é impossível entender uma palavra sequer...

(GALILEI, 1623, apud MOREIRA, 1999, p. 51)

Nuvens não são esferas, montanhas não são cones, linhas costeiras não são círculos, cascas de árvores não são suaves nem o raio se propaga em linha reta.

(MANDELBROT, 1983, apud GLEICK, 1991, p.90)

2.1 A geometria da não-linearidade

2.1.1 Geometria Euclidiana *versus* Geometria Fractal

A frase de Mandelbrot (1983, apud GLEICK, 1991, p.90) - vide página anterior - ficou famosa como uma espécie de *slogan* da geometria fractal. A contraposição proposital às colocações de Galileu fica clara. Podemos claramente perceber que entre Galileu de um lado, e Mandelbrot do outro, há não apenas diferenças metodológicas, mas essencialmente filosóficas, se considerarmos a geometria como um instrumento de síntese, criado de maneira a permitir representações objetivas do mundo observado. Nesse sentido, não há dúvidas de que, na tentativa de entender o seu entorno, "o homem constrói e utiliza conceitos geométricos, escolhendo a geometria em função de sua comodidade e da maior adequação à descrição dos fenômenos" (MOREIRA, 1999, p.51). De fato, como sugerem Batty e Longley (1994), na tentativa de entender o mundo, os cientistas têm elaborado descrições extremamente simplificadas, descrevendo o descontínuo como contínuo; o dinâmico como estático; o complexo como simples e o fragmentado como inteiro.

Mas os postulados de Galilei não apenas enfatizavam a precisão e o determinismo típicos da geometria euclidiana, como também criticava ardorosamente o seu contrário:

[...] as linhas irregulares são aquelas que, não tendo determinação alguma, são infinitas e indefiníveis. Não se pode demonstrar delas propriedade alguma, nem definitivamente saber nada sobre elas. Dizer-se: tal acidente ocorre graças a uma linha irregular é o mesmo que dizer: não sei por que ocorre. A introdução de tal linha não é melhor que a introdução das simpatias, antipatias, propriedades ocultas, influências e outros termos usados por alguns filósofos como máscara da verdadeira resposta que é não sei. (GALILEI, 1623 apud MOREIRA, 1999, p.52).

Assim como os postulados de Galileu, boa parte da ciência Newtoniana está também baseada na noção de uma geometria perfeita:

[...] a descrição de linhas retas e círculos, sobre as quais a geometria se funda, pertence à mecânica. [...] é a glória da geometria que de poucos princípios, tirados do nada, ela é capaz de produzir tantas coisas. (NEWTON, 1686 apud MOREIRA, 1999, p.52).

Ao longo do século XIX, a física baseada na Mecânica de Newton e a geometria de Euclides se tornaram a base da ciência moderna. Em áreas como a Biologia, as teorias Darwinianas de evolução contínua estavam relacionadas ao espírito Newtoniano de continuidade. Nesse tempo, acreditava-se que os sistemas na natureza resultavam de um conjunto mensurável de forças e que a compreensão desses sistemas poderia ser efetuada através de sucessivas reduções.

O determinismo e o classicismo se basearam em estruturas teóricas e idéias segundo as quais a observação do mundo, seja ela baseada na física clássica, na matemática ou nas artes, deve ser fundamentada em metodologias e ações claras, simples, definitivas e, portanto, mecanicistas. Mas ao longo dos últimos 30 anos esses conceitos e preceitos têm sido revistos e flexibilizados, enquanto têm crescido e se fortalecido novos enfoques, relacionados à complexidade e à dinâmica da natureza, como é o caso da Geometria Fractal. O que essa nova geometria e todos os conceitos a ela relacionados oferecem é a possibilidade de amarrar idéias aparentemente dissociadas e diversas numa estrutura descritiva mais ampla, numa espécie de imagem mais completa e precisa do objeto sob observação (BATTY E LONGLEY, 1994). Deve-se notar que a Geometria Fractal não surge diretamente da Euclideana; pelo contrário, é precedida de um período onde a mecânica quântica e a teoria da relatividade geral debilitaram drasticamente a visão Euclideana de muitos fenômenos físicos ligados ao mundo microscópico das partículas elementares, bem como ao mundo macroscópico da cosmologia.

2.1.2 Qual a extensão da costa brasileira?

A partir de uma questão semelhante a esta o matemático Benoit Mandelbrot (1983) lançou, há cerca de cinquenta anos, os fundamentos de uma geometria que passaria a incluir o que até então a geometria euclidiana ignorava ou considerava esdrúxulo . Afinal, como seria possível para uma ciência comprometida com o determinismo falar de uma entidade geométrica composta por infinitos elementos mas cuja área tende a zero; ou mesmo figuras de área limitada, porém com perímetro infinito? E o que falar de objetos sem tamanhos característicos, ou cuja extensão é relativa? Ao lançar a pergunta sobre qual a extensão de uma linha costeira, Mandelbrot estava chamando a atenção não apenas para um conjunto de novos conceitos, mas, principalmente, para uma revolução na forma de olhar os sistemas naturais e humanos. A essa nova geometria (cujos primeiros passos foram dados por matemáticos ainda no século XIX), Mandelbrot deu o nome de Geometria Fractal, a geometria da complexidade, da não-linearidade, da fragmentação, enfim, a geometria da natureza.

De fato, algo de estranho acontecia no mundo da matemática, até então marcada pela precisão, pelo determinismo, e pelo valor absoluto. Afinal, suavizar as bordas, linearizar as curvas, ignorar os fragmentos... eram as posturas tradicionais que visavam transformar o irregular em regular. Mas nessa tentativa de regularização, muitas vezes perdeu-se a essência do que estava sendo observado, pois muitas vezes a resposta estava na forma concreta como os fragmentos se distribuem, e não na abstração formal de um objeto inteiro e regular.

Veremos que os fractais trouxeram às ciências não apenas padrões geométricos intrigantes, mas desafios aos conceitos tradicionais de espaço. Questões como o infinito ou a dimensão relativa vieram desafiar uma ciência até então construída sobre bases determinísticas e exatas (EGLASH, 1999). E assim a ciência começava a admitir o

irregular, o complexo, o diverso, o incerto, a inter-relação parte-todo-parte (e não cada um isoladamente).

Mas, enfim, o que é um fractal? Esta questão está diretamente associada à primeira, que intitula esta seção: qual a extensão da costa brasileira? A resposta, ainda mais intrigante que a pergunta, é que a extensão depende do instrumento com o qual faremos a medida. Mas como é possível um objeto ter extensão relativa? Veremos que se pensarmos cuidadosamente na questão, a resposta parecerá óbvia. Por exemplo: se formos medir a costa brasileira representada num mapa cartográfico de escala 1:5.000.000 com uma régua de 12cm, chegaremos a uma aproximação em que muitos detalhes serão perdidos, devido às reentrâncias e saliências da geografia natural.

Se em outra tentativa utilizarmos uma régua de 4cm, chegaremos a uma outra aproximação, e desta vez o comprimento será maior que o anterior, pois foi possível incluir detalhes que a régua de 10cm não permitia. E assim por diante: se utilizarmos uma régua de 1cm o resultado será um comprimento ainda maior, pois novos detalhes passaram a ser computados. Enfim, qual será o comprimento exato da costa brasileira? Definitivamente, depende do tamanho da régua. Podemos então chegar a uma primeira definição de fractais: são conjuntos cuja forma é extremamente irregular ou fragmentada e que têm essencialmente a mesma estrutura em todas as escalas, como é o caso da Figura 2.1, a pré-curva de Koch (EGLASH, 1999), que será discutida mais adiante.

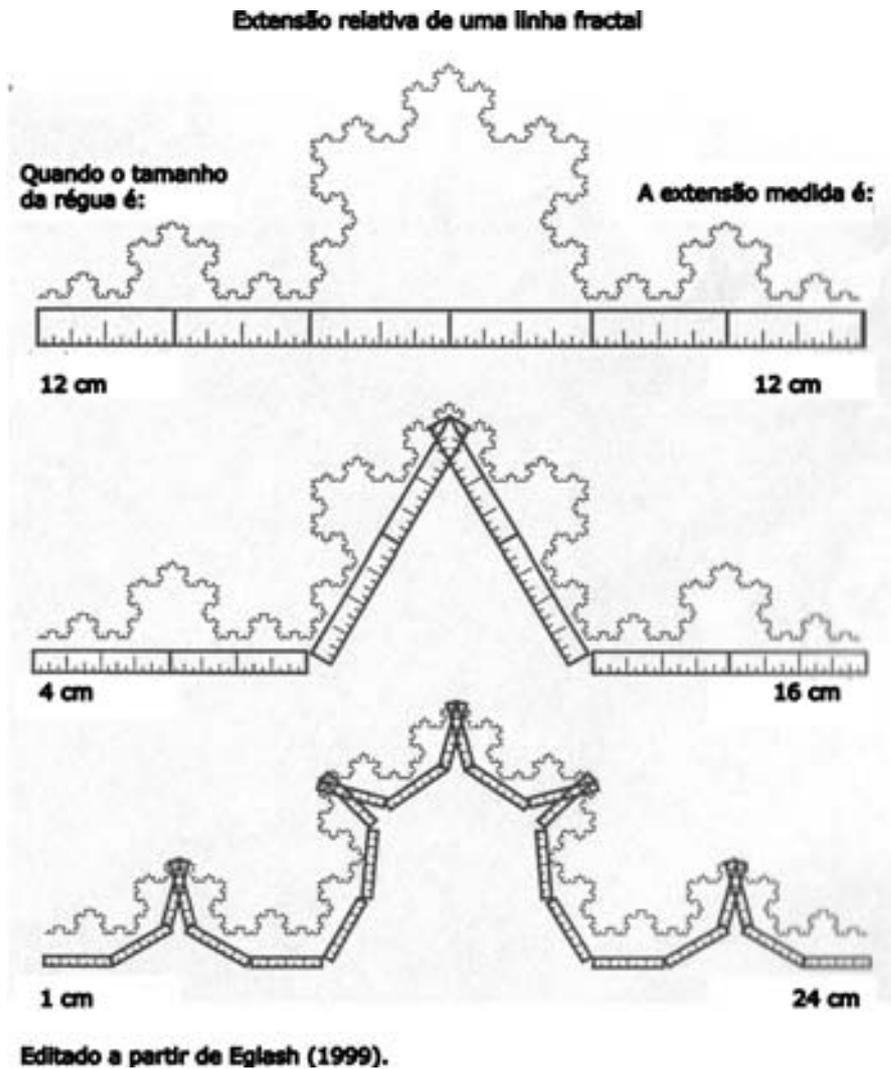


Figura 2.1 - Se formos medir a pré-curva de Koch acima (vide exemplo de formação da curva na figura 2.3), um exemplo típico de estrutura fractal, com uma régua de 12cm, chegaremos a uma aproximação em que muitos detalhes serão perdidos, devido às reentrâncias e saliências da geografia natural. Se em outra tentativa utilizarmos uma régua de 4cm, chegaremos a uma outra aproximação, e desta vez o comprimento será maior que o anterior, pois foi possível incluir detalhes que a régua de 10cm não permitia. E assim por diante: se utilizarmos uma régua de 1cm o resultado será um comprimento ainda maior, pois novos detalhes passaram a ser computados.

As linhas costeiras, portanto, são um exemplo de estrutura espacial que apresenta propriedades fractais. Ao invés de serem compostos por linhas retas e curvas suaves, os objetos fractais são fragmentados e irregulares, compostos por sucessões de subestruturas, que são notadas à medida que observamos o objeto de forma mais e mais detalhada (FRANKHAUSER, 1997). Enfim, fractais são objetos cuja forma espacial é definida como irregular, e tal irregularidade se repete através das escalas, isto é, a irregularidade da forma é invariante de escala a escala, propriedade definida como auto-similaridade ou invariância de escala. Vale destacar que quando se está referindo a um objeto como sendo irregular, não se está dizendo que o mesmo seja caótico ou desordenado. Simplesmente, o termo irregular se refere ao aspecto fragmentado e não-euclidiano do objeto.

2.1.3 Breve introdução às propriedades dos fractais

Objetos fractais são caracterizados por uma série de propriedades (que se referem não apenas à configuração espacial mas também à própria dinâmica de formação). Eglash (1999) aponta, de forma simplificada, algumas delas, que são resumidas a seguir:

Recursão - em geral, fractais são gerados através de um processo circular; um ciclo em que o resultado de um estágio será o elemento gerador da fase seguinte. É o que se convencionou chamar de recursão. Muitos dos fractais computacionais são gerados a partir desse processo recursivo.

Auto-similaridade - esta pode ser exata (determinística), como é o caso dos experimentos matemáticos de Cantor e Koch (EGLASH, 1999), em que os elementos menores são idênticos aos maiores, ou estatística (não-determinística), como as linhas costeiras, em que as partes se assemelham ao todo. A auto-similaridade não ocorre em todos os fractais, nem em todas as partes de um fractal.

Infinidade e Dimensão fracionária - como é possível que um fractal como a curva de Koch possua comprimento infinito e limites finitos? É um paradoxo fundamental para a compreensão dos fractais. Em geral pensamos em dimensões como números inteiros. Euclides nos ensina que os elementos fundamentais que compõem a geometria são o ponto (dimensão zero), a linha (unidimensional), o plano (bidimensional) e o volume (tridimensional). Mas o que estaria entre o ponto e a linha, ou entre a linha e o plano? Estão os fractais, figuras de dimensões fracionárias, não inteiras (daí o termo fractais). Figuras como o conjunto de Cantor estão numa dimensão fracionária entre o ponto e a reta, enquanto as figuras de Sierpinski não são bidimensionais, pois não formam um plano sólido, nem são unidimensionais, por não se resumirem a uma linha. Estão entre as duas dimensões. E Mandelbrot (1983) sugere que essa não é uma geometria das exceções, mas de regra, pois a maioria dos sistemas e dos elementos na natureza são fractais. A geometria Euclidiana é que seria a geometria das exceções (EGLASH, 1999). Todas as demais dimensões (números fracionários) são a regra do mundo fragmentado e complexo em que habitamos e no qual estão incluídas, como veremos mais adiante, as cidades.

Leis de Escala - expressam matematicamente o fato de que há elementos de diversos tamanhos, dentro de certo universo que está sendo considerado. É uma característica típica de sistemas compostos por elementos sem tamanhos característicos, pois os mesmos existem nas mais diversas escalas em que o objeto está sendo observado.

Para melhor compreensão das propriedades listadas acima, são apresentadas a seguir as descrições e ilustrações de alguns exemplos clássicos de fractais.

Uma das primeiras experiências com a elaboração de um fractal foi a de Georg Cantor (EGLASH, 1999; FRANKHAUSER, 1997), que em 1877 concebeu o conjunto de Cantor, que é um conjunto de pontos gerados a partir de infinitas recursões sucessivas de um conjunto de segmentos, isto é, o final de cada etapa é tomado como o início da etapa

seguinte. Nesse experimento, inicialmente, um segmento é dividido em três segmentos iguais e tem o segmento central extraído, gerando um conjunto de dois segmentos separados por um vazio. Cada um desses segmentos é também subdividido em três partes e tem a parte central extraída, e assim sucessivamente. Se essa recursão continuar indefinidamente, o resultado será um conjunto de segmentos cujo comprimento tende a zero no limite de infinitas recursões (Figura 2.2) Ao conjunto de pontos limite dá-se o nome de conjunto ou poeira de Cantor.

Um outro exemplo é a figura de Helge von Koch (EGLASH, 1999), de 1904, conhecida como a curva de Koch . A mesma idéia de recursão é utilizada, mas neste caso o processo é de adição de elementos e não de exclusão. Neste experimento em particular existe uma forma triangular inicial formada por quatro linhas. A cada iteração, uma linha é substituída por uma versão reduzida no conjunto inicial, e assim sucessivamente numa recursão infinita. Nessa figura, os elementos menores se assemelham a elementos maiores, que se assemelham ao todo; propriedade definida como auto-similaridade (figuras 2.1 e 2.3). A curva de Koch é a curva limite do processo de recursão após infinitas operações, e tem portanto comprimento infinito. Como no caso das linhas costeiras, a extensão do objeto irá depender da dimensão da régua com a qual o objeto está sendo medido.

Outro exemplo, que pode ser gerado a partir de recursão, é o Tapete de Sierpinski (GLEICK, 1991). O estado inicial da figura é um quadrado. A cada etapa divide-se o quadrado de três por três em nove quadrados iguais, e retira-se o quadrado central. Repete-se a operação nos oito quadrados restantes, deixando um buraco quadrado no centro de cada um, e assim sucessivamente. Um objeto tridimensional análogo é a esponja de Menger (GLEICK, 1991), uma estrutura aparentemente sólida que tem uma área de superfície infinita e um volume que tende a zero (figura 2.4).

2.1.4 A matemática dos fractais

Os fractais são originalmente um conceito matemático, não são fenômenos naturais. Foi Mandelbrot (1983) quem primeiramente estendeu o conceito ao estudo de sistemas naturais, como as linhas costeiras, cadeias de montanhas, ramificações de arbustos, entre tantos outros. Foi ele quem concebeu a idéia de dimensão fractal, como uma medida do padrão de irregularidade dessas estruturas complexas. De fato, o que Mandelbrot ressalta é que o que parecia ser uma geometria esdrúxula era de fato a geometria existente na grande maioria dos sistemas em nossa volta, nas mais diversas escalas. Afim de tornar mais clara a idéia matemática dos fractais, voltemos à questão da extensão da linha costeira. Vimos que a extensão relativa cresce, à medida que diminuimos o tamanho da régua (Figura 2.1).

Se lançarmos em um gráfico os pares ordenados de dados referentes ao tamanho de cada régua, associado à respectiva medição, e o respectivo comprimento total obtido, poderemos observar a intensidade com que o tamanho relativo do objeto cresce, à medida que o tamanho da régua diminui. Essa taxa de crescimento (representada pela inclinação da reta no gráfico logarítmico) nos dirá o quanto quebradiça ou tortuosa é a figura ou o objeto em questão.

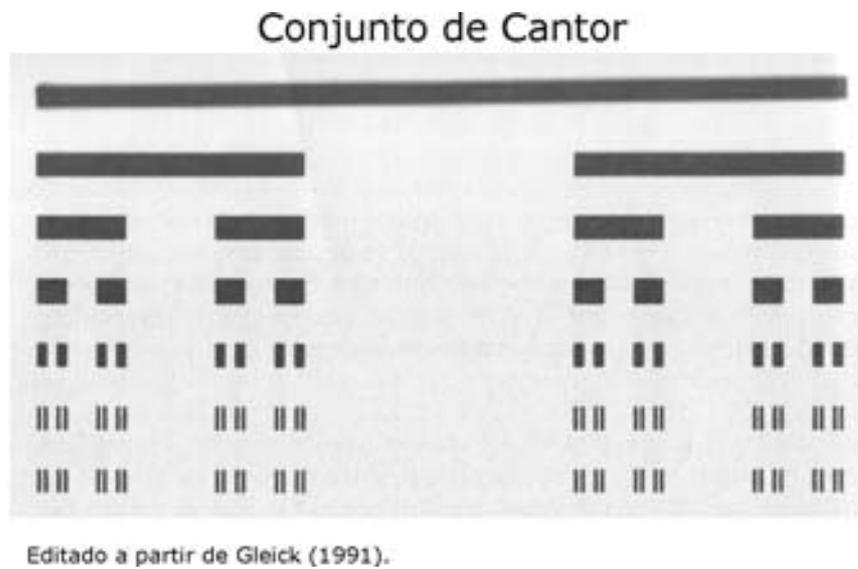
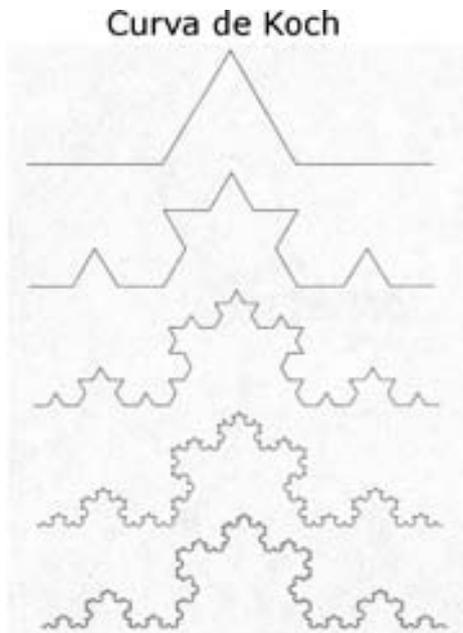
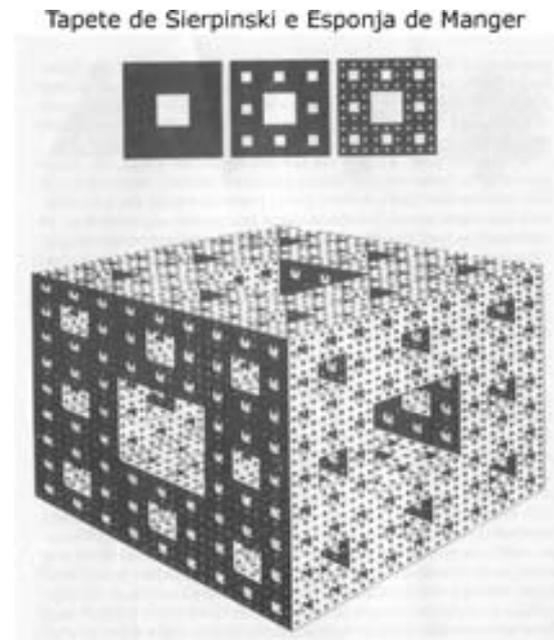


Figura 2.2 - Primeiros sete estágios do processo de construção do Conjunto de Cantor.



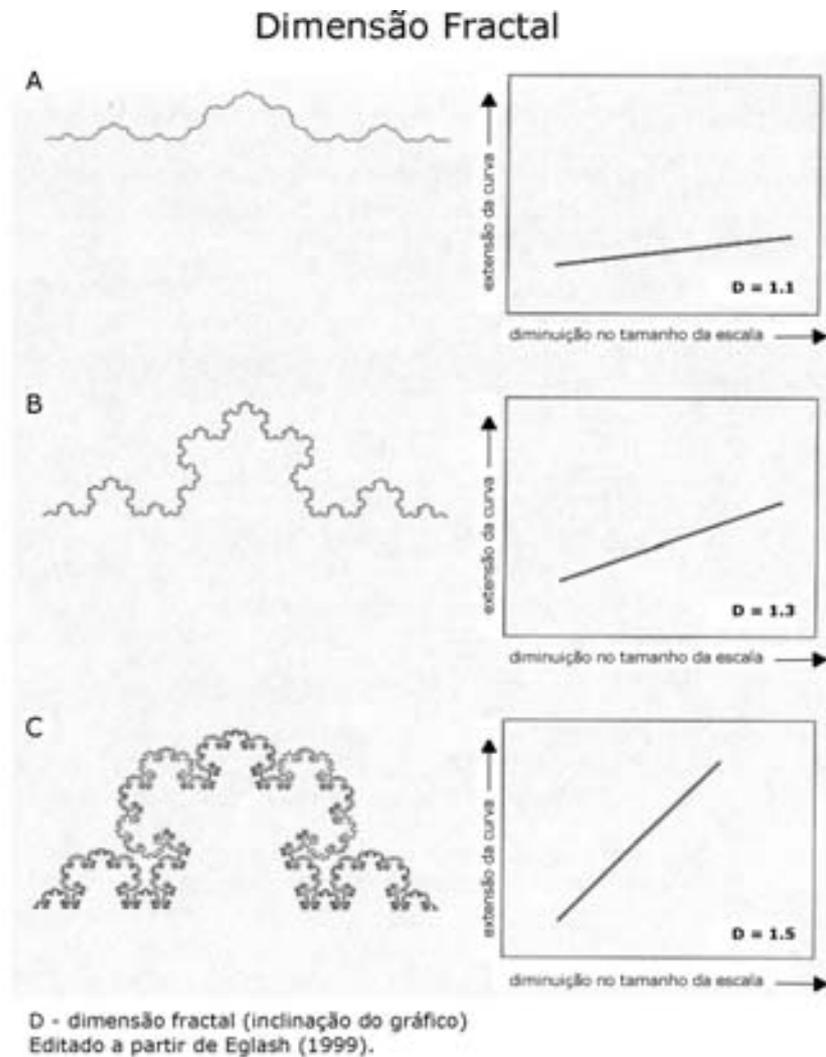
Editado a partir de Eglash (1999).



Editado a partir de Gleick (1991).

Figura 2.3 - (à esquerda) Na formação do fractal conhecido como Curva de Koch existe uma forma triangular inicial formada por quatro linhas. A cada iteração, uma linha é substituída por uma versão reduzida no conjunto inicial, e assim sucessivamente numa recursão infinita. Na figura acima, onde estão representados os cinco primeiros estágios de recursão, os elementos menores se assemelham a elementos maiores, que se assemelham ao todo; propriedade definida como auto-similaridade.

Figura 2.4 - (à direita) 'Tapete de Sierpinski' - o estado inicial da figura é um quadrado. A cada etapa divide-se o quadrado de três por três em nove quadrados iguais, e retira-se o quadrado central. Repete-se a operação nos oito quadrados restantes, deixando um buraco quadrado no centro de cada um, e assim sucessivamente. O resultado é uma estrutura fractal. "Esponja de Menger" - é a versão tridimensional do Tapete de Sierpinski. Uma estrutura aparentemente sólida que tem uma área de superfície infinita e um volume que tende a zero. Um exemplo de fractal em três dimensões.



Dimensão fractal de linhas costeiras



Figura 2.5 - A inclinação do gráfico indica o quanto quebradiça é uma estrutura, o que caracteriza uma das dimensões fractais do objeto, pois indica o quanto fragmentado ou irregular é o mesmo, em função de medições em escalas sucessivas.

Para figuras muito irregulares, veremos que o tamanho relativo cresce rapidamente, para cada diminuição no tamanho na régua, resultando numa grande inclinação da linha no gráfico. No caso de figuras mais regulares (menos tortuosas), o tamanho relativo a cada medição não muda tanto, e a inclinação do gráfico é menor. Essa inclinação do gráfico, que indica o quanto quebradiça é uma figura, é uma das dimensões fractais do objeto, pois indica o quanto fragmentado ou irregular é o mesmo, em função de medições em escalas sucessivas (Figura 2.5). As linhas costeiras nunca são retas, por mais que sejam observadas de perto. Intuitivamente, elas estão em algum lugar entre a linha, cuja dimensão euclidiana é 1, e o plano, cuja dimensão euclidiana é 2. A dimensão da linha costeira estaria entre 1 e 2 e seria um número fracionário.

Existem várias maneiras de se medir a dimensão fractal. Cada uma das maneiras gera uma medida distinta, que indica um certo padrão no objeto observado. Um objeto pode ter mais de uma dimensão fractal, dependendo da forma como é observado. Isto significa que a dimensão fractal não é única, pois depende do método de observação e medição utilizado. Portanto, há várias categorias de dimensões fractais, todas categorizando o objeto segundo a sua fragmentação, mas a partir de visões distintas.

Um dos mais utilizados métodos na definição da dimensão fractal é a que mede o quanto determinado conjunto ou objeto preenche o espaço em que está imerso. Esta é chamada dimensão fractal de capacidade, de preenchimento, também conhecida como dimensão da malha (FRANKHAUSER, 1997). Este método gera valores que se referem ao aspecto global do objeto. Essa dimensão de malha é calculada a partir da contagem das células ocupadas pelo objeto numa malha regular, em diversas escalas de observação (método também conhecido como contagem de caixas ou *box counting*).

Uma explicação simplificada do procedimento de cálculo da dimensão fractal através da contagem de caixas: divide-se a área do conjunto analisado em um certo número de caixas iguais. Conta-se o número de caixas em que existe pelo menos um ponto do

conjunto. Repete-se o procedimento para vários tamanhos de caixas. Os dados (tamanho de caixa *versus* número de células ocupadas) são lançados num gráfico logarítmico (pois neste gráfico a lei de potência é convertida em função linear, sendo possível medir o expoente da função, que corresponde à inclinação da reta resultante após uma regressão linear). A dimensão fractal, neste caso, equivale à inclinação do gráfico.

Considerando $N(\varepsilon)$ o número de células ocupadas e ε o tamanho da célula a cada contagem, obtém-se:

$$N(\varepsilon) \sim \varepsilon^{-d_m}$$

onde \sim significa comportamento assintótico no limite $\varepsilon \rightarrow 0$

d_m , neste caso, refere-se ao que Frankhauser (1998) denominou de dimensão da malha. Essa dimensão, que corresponde ao expoente da função acima, é verificado através do gráfico logarítmico (log-log). O expoente corresponde ao coeficiente angular da reta (inclinação do gráfico).

O segundo método é definido como dimensão radial, e está mais relacionado a propriedades locais do objeto sob análise. A análise radial oferece um tipo de informação bem diferente. Trata-se de uma relação entre o raio (crescente) e o respectivo número de elementos. Este tipo de procedimento é mais apropriado, portanto, a estruturas que de certa forma são concêntricas. A cada contagem, é definido o número $N(r)$ de elementos dentro de determinado raio (r) a partir do centro:

$$N(r) \sim r^{d_r}$$

O expoente d_r é a dimensão radial. Este método oferece uma informação mais detalhada sobre aspectos relacionados à densidade de determinadas áreas.

Uma outra forma alternativa de método para a análise da dimensão fractal pode ser definida através da relação entre área e perímetro (Frankhauser, 1997; Batty e Longley, 1994). Para qualquer figura geométrica regular, existe uma proporcionalidade típica entre área e perímetro, descrita por:

$$A(p) \sim p^x, \text{ sendo } x = 2 \text{ para todas as figuras geométricas Euclidianas.}$$

Essa relação sugere que para qualquer figura bidimensional Euclidiana a área é proporcional ao quadrado do perímetro. No caso de um quadrado, teremos: $A=l^2$, e $p=4l$ e portanto: $A = (1/16)p^2$. No caso das estruturas fractais, o expoente que define a relação área-perímetro não é inteiro, e sim fracionário. Esse expoente pode ser interpretado como uma outra variação de dimensão fractal do objeto. De fato, cada um dos métodos de análise fractal apresentados aborda propriedades distintas do sistema analisado, ora indicando o grau de preenchimento dos espaços, ora indicando padrões de densidade em regiões localizadas. Mas qual a relação entre fractais e estruturas urbanas?

Batty e Longley (1994) argumentam que a aplicação de teorias fractais às cidades é imediata. Se por um lado as partes planejadas das cidades são resultados diretos da aplicação da geometria de Euclides, por outro lado as partes naturais crescem de forma espontânea e não-planejada, fogem do controle do planejador e apresentam propriedades geométricas que estão além dos postulados Euclidianos. Como resultado, apresentam formas que não são simples, nem podem ser descritas pelas mesmas ferramentas que descrevem e compõem a cidade planejada. Mesmo as cidades inteiramente planejadas são, ao longo do tempo, objetos de intervenções e crescimento natural, ações que afetam a sua concepção geométrica original, como sugerem Batty e Longley (1994), reforçando o argumento de que as cidades são, por natureza, estruturas fractais. O problema é que ao longo das gerações arquitetos e planejadores tentaram impor uma espécie de ordem visual suavizada, ordenada e simplificada às cidades, na crença de que tal ordenamento pudesse conter a aparente desordem e a aparente disfunção resultantes do desenvolvimento natural ou orgânico :

Desde a Utopia, de Platão, vem-se tentando impor a geometria de Euclides para as cidades, como uma espécie de exemplo do triunfo do homem sobre a natureza . E assim a arte foi se separando da ciência. (BATTY; LONGLEY, 1994, Preface, vii, tradução nossa).

2.1.5 Análise fractal de elementos urbanos e arquitetônicos

A idéia de cidade fractal contraria diretamente a visão tradicional, segundo a qual as cidades são vistas como estruturas simples e regulares, compostas por linhas suaves ou ortogonais. Trata-se de uma mudança em que a cidade é vista como um organismo complexo, que evolui e muda de acordo com regras locais, apresentando regularidades que se repetem ao longo das escalas. (BATTY; LONGLEY, 1994, p.10, tradução nossa).

Padrões urbanos são em geral caracterizados por uma forma irregular e fragmentada, que parece não corresponder a qualquer princípio de ordem. Esse tipo de morfologia é persistente, apesar das tentativas do planejador de conter a irregularidade e de controlar a forma urbana. No entanto, essa persistência natural observada no crescimento urbano sugere a existência de processos sócio-econômicos, subentendidos na estrutura espacial. Assim, segundo Frankhauser (1997), de maneira a investigar esses padrões morfológicos, fazem-se necessárias ferramentas e métodos que permitam a comparação entre estruturas e aglomerações urbanas. A análise fractal, nesse sentido, é um importante instrumento para o processo de compreensão da morfologia urbana, da forma que ela é: fragmentada.

Nesta seção apresentamos um breve panorama do que se tem discutido nessa novíssima (e por isso em alguns aspectos questionável) relação entre a geometria fractal, de um lado, e os elementos de expressão humana do outro. São análises de regiões geográficas (BATTY; LONGLEY, 1994); áreas metropolitanas (FRANKHAUSER, 1997; BENGUIGUI et al, 2000); distribuição de uso nas cidades (BATTY; LONGLEY, 1994; BATTY; XIE, 1996); redes ferroviárias (BENGUIGUI, 1992); elementos decorativos e artísticos (EGLASH, 1999).

Na busca por elementos que caracterizassem a fractalidade natural das estruturas urbanas, Frankhauser (1997) reuniu dados de 60 cidades de tamanhos distintos e lançou em gráfico os dados empíricos referentes às áreas e respectivos perímetros de cada cidade. O autor concluiu que existe uma boa correlação entre as duas variáveis (área e

perímetro), neste caso descrita por uma função não-linear dominada por um expoente fracionário ($\chi=1.05$). Os resultados indicam que no caso das cidades, devido à irregularidade do perímetro urbano, repleto de reentrâncias, saliências e vazios, o perímetro cresce proporcionalmente mais (em relação à área) do que no caso das figuras regulares.

Em certos padrões urbanos a dimensão fractal pode ser uma propriedade local, isto é, ela pode variar de acordo com o subconjunto ou a seção do objeto que foi analisada. Isto significa que, para algumas áreas metropolitanas, algumas áreas periféricas podem apresentar padrões fractais diferenciados em relação ao centro. Neste caso, a dimensão da malha (d_m) representaria uma espécie de média das diferentes dimensões de cada área. Nos trabalhos de Frankhauser (1997, 1998) são apresentados três níveis de análise: regional, metropolitano e urbano. Utilizando-se o método da dimensão de malha, foram obtidos baixos valores de expoente para a escala regional (em média, $d_m=0.98$), quando comparados aos resultados da escala metropolitana (em média, $d_m=1.6$). Isso traduz um aspecto aparentemente óbvio em relação ao preenchimento dos espaços na estrutura urbana: o espaço construído na escala regional é mais esparsa e composto por agregados, distribuídos de forma hierárquica, enquanto as áreas urbanizadas tendem a ser mais homogêneas e compactas:

Em geral, não se espera que as cidades apresentem padrões fractais simples, como os fractais determinísticos (Sierpinski, Cantor, Koch...). Pode ocorrer, por exemplo, que um sistema contenha sub-sistemas que apresentem dimensões fractais distintas, isto é, um comportamento multifractal. Há também os limites de escala, por isso é preciso ficar atento para os valores limites, isto é, as unidades elementares do sistema (limite mínimo) e as extremidades do mesmo (limite máximo). Finalmente, é importante ressaltar que os resultados podem também variar em função da representação gráfica (cartografia) utilizada e do processo de digitalização da figura. (Frankhauser, 1997, p.157).

A análise radial, segundo o autor, é mais localizada, apropriada para a escala urbana, e pouco indicada para a escala regional. Trata-se de um método que depende de um ponto central de referência, em torno do qual o espaço construído está desenvolvido, o que não

se observa comumente na escala regional, marcada pela dispersão de aglomerados. Para a escala metropolitana, segundo Frankhauser, é preciso ter atenção na escolha do centro de referência para a obtenção das medidas da análise radial. O autor ainda observa que a análise da malha em geral apresenta os melhores resultados, apresentando gráficos mais ajustados e precisos. Em geral, os valores da dimensão de malha são menores do que os valores da dimensão radial. São apresentados a seguir os resultados da análise de uma série de aglomerações na escala metropolitana, realizadas por Frankhauser (1997, 1998) entre cidades européias, norte-americanas e de países do terceiro-mundo. Em todos os casos verificou-se a propriedade classificada pelo autor como multifractal, isto é, diferentes valores para análise radial (d_r) e de malha (d_m):

Europa	Dimensão		Outras	Dimensão	
	d_r	d_m		d_r	d_m
Berlin	1.95	1.73	Boston	1.96	1.69
London	1.99	1.72	Pittsburgh	1.91	1.59
Paris	1.99	1.66	Los Angeles	1.99	1.93
Moscow	1.96	1.60	Melbourne	1.99	1.85
Budapest	1.97	1.72	Sydney	1.95	1.82
Rome	1.82	1.69	Calcutta	2.00	1.51
Stuttgart	1.94	1.41	Mexico City	1.97	1.76
Dortmund	1.97	1.79	Taipeh	1.97	1.39
Essen	1.97	1.81			

Comentando os dados de Frankhauser, mostrados na tabela acima, fica impossível atribuir aos valores fracionários d_r qualquer significado fractal ali indicados: a análise

radial desse autor mostra apenas que grandes cidades se comportam, na escala metropolitana, como objetos bidimensionais ($d_r \sim 2$).

Os resultados apresentados até agora sugerem que a distribuição do espaço construído de assentamentos urbanos segue leis fractais ao longo de diferentes escalas de observação; uma ordem interna persistente, apesar da morfologia irregular. A etapa seguinte no processo de análise apresentado por Frankhauser é a análise do processo de crescimento na escala metropolitana, para a qual foi selecionada a cidade de Berlim entre os anos de 1875 e 1945. De acordo com as medições, a dimensão de malha cresce juntamente com o crescimento da cidade. A dimensão radial praticamente permanece estável, crescendo apenas, o raio de segregação (ponto que marca o fim da área urbanizada), em função do crescimento periférico natural.

Berlim	Dimensão	
	d_r	d_m
1875	1.96	1.43
1910	1.94	1.43
1920	1.94	1.54
1945	1.97	1.68

Esses resultados nos dizem que o núcleo urbano da cidade é originalmente denso (compacto) e assim permanece, enquanto a cidade cresce, o que pode ser verificado pelos valores de d_r (dimensão radial) que se mantêm próximos a 2 nos três períodos em análise. Mas quando a cidade é analisada num universo que vai além do centro urbano e que inclui os arredores, observa-se que a estrutura urbana como um todo tende a preencher os espaços de forma mais efetiva, o que é representado pelo crescimento nos valores de d_m (dimensão de malha). Esse processo de evolução da cidade de Berlim

(Figura 2.6), ilustra, segundo Frankhauser, o típico desenvolvimento das metrópoles europeias: crescimento em função do traçado das linhas ferroviárias em direção aos subúrbios; e inclusão gradual de sub-centros originalmente situados na periferia do núcleo original. Tanto o centro quanto os sub-centros seguem padrões fractais (com dimensões diferentes), formando uma estrutura policêntrica e multifractal (FRANKHAUSER, 1997).

Igualmente importantes são as contribuições de Batty e Longley (1994) em *Fractal Cities* (Cidades Fractais), em que os autores procuram traçar a base para uma teoria fractal das cidades. São reunidas séries de análises das propriedades fractais de cidades em seções no tempo, seja em termos de áreas delimitadas ou das cidades como um todo; estudos da distribuição de usos urbanos; além de análises sobre o crescimento das cidades fractais ao longo do tempo. São considerados não apenas os padrões geométricos como também as possíveis lógicas de desenvolvimento, abordadas através de modelos de crescimento, juntamente com questões de distribuição de densidade populacional sob a ótica fractal.

Uma das análises apresentadas pelos autores refere-se à geometria fractal do uso do solo urbano. Neste caso, é realizado um estudo sobre o centro urbano de Swindon, na porção central-sul da Inglaterra, cerca de 100 km de Londres. Trata-se de uma cidade relativamente compacta, que nos anos 60 passou por um grande processo de urbanização devido à expansão da região metropolitana de Londres. São analisados cinco tipos de uso: residencial, comercial-industrial, educacional, transportes e espaços vazios. A estrutura urbana de Swindon está dividida por regiões referentes a cada um dos cinco tipos de usos analisados. Verifica-se que a grande maioria dos espaços vazios está no interior da estrutura urbana, região ocupada predominantemente pelo uso educacional. Para realizar esta análise, Batty e Longley se utilizam da relação área-perímetro. Neste caso, as áreas de cada uma das regiões identificadas no mapa são lançadas em gráfico logarítmico e analisadas em função dos respectivos perímetros. A análise fractal

(dimensão área-perímetro - d_{ap}) para cada uso (com exceção do uso educacional por insuficiência de dados - apenas três regiões) sugere que os usos comercial-industrial ($d_{ap}=1.48$) e transportes ($d_{ap}=1.45$) apresentam estrutura morfológica mais tortuosa (maior dimensão fractal) do que os usos residencial ($d_{ap} =1.33$) e espaços vazios ($d_{ap} =1.24$). A dimensão média para todos os usos é $d_{ap}=1.3$. Os autores, evidentemente, reconhecem a relatividade dos resultados obtidos, em virtude dos problemas de observação e medição que são inerentes a toda ciência baseada em dados empíricos.

Batty e Longley (1994) apresentaram ainda análises de grandes centros urbanos, seja em seu aspecto estático (a cidade, analisada em determinado momento) ou dinâmico (sucessão de mapas representando períodos históricos de desenvolvimento). Para isso, os autores se utilizaram do método da dimensão de malha (contagem de células ou box-counting), que analisa as cidades através da variação da escala. Foram então analisadas as dimensões fractais das estruturas urbanas de Londres, Nova Iorque, Paris e Tóquio, que resultaram em valores de d_m equivalentes a 1.77, 1.71, 1.86 e 1.31, respectivamente (figura 2.7). À exceção de Tóquio, cuja baixa dimensão fractal resulta da existência da grande baía situada na porção sudeste da metrópole, os demais centros apresentam dimensão média da ordem de 1.75. Em relação aos resultados, vale salientar, diferentes fontes cartográficas poder resultar em pequenas diferenças nos resultados das dimensões fractais, como se pode notar ao se compararem os dados de Frankhauser (1997) e Batty e Longley (1994), sobre as mesmas cidades. No que se refere à análise dinâmica (crescimento urbano), o objeto de análise é a cidade de Londres nos períodos: 1820, 1840, 1860, 1880, 1900, 1914, 1939 e 1962 (figura 2.8). Os valores obtidos para d_m , neste caso, foram respectivamente: 1.32, 1.58, 1.41, 1.70, 1.73, 1.76, 1.79 e 1.77. Os resultados parecem indicar que a cidade, à medida que cresce, preenche os espaços de forma mais eficiente e compacta, o que também foi verificado para o caso de Berlim, apresentado por Frankhauser (1997).

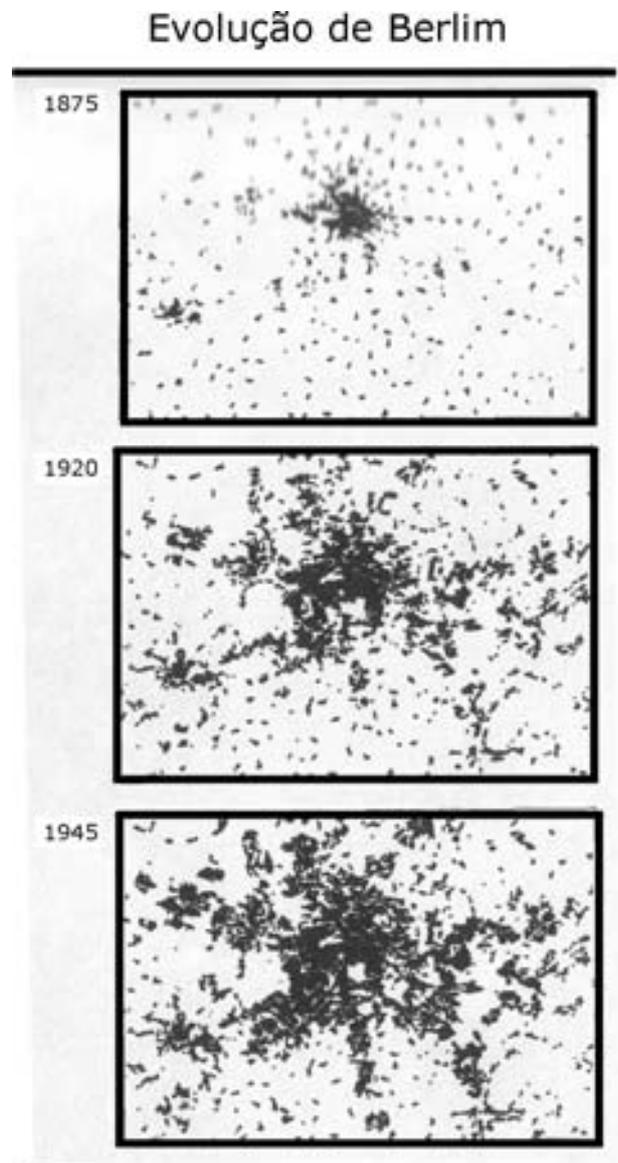


Figura 2.6 - A figura ilustra três momentos na evolução da área metropolitana de Berlim: 1820, 1920, 1945. Nota-se que a estrutura cresce ao longo do tempo, de forma irregular, gerando estruturas com distintos graus de fragmentação. Frankhauser (1997) analisou cada uma das estruturas sob a ótica da dimensão fractal de malha (d_m). Os valores encontrados foram 1.43, 1.54 e 1.68, respectivamente. O aumento gradual no valor de d_m indica que à medida que o centro urbano se desenvolve, os espaços são preenchidos de forma mais efetiva e irregular.

Em 1996, Batty e Xie apresentam um conjunto de análises sobre a geometria de áreas residenciais em seis cidades industriais na região nordeste dos Estados Unidos (Albany, Buffalo, Cleveland, Columbus, Pittsburgh e Syracuse). Os resultados, segundo os autores, parecem suportar a teoria da cidade fractal, mas ainda ressaltando o fato de que técnicas distintas de estimativa geram diferentes tipos de dimensão fractal.

A estrutura fractal de redes ferroviárias de Paris e Moscow é discutida por Benguigui (1992a). Neste caso, a dimensão fractal foi obtida através da relação $L(r) \sim r^d$, onde L é o comprimento total de todas as linhas de uma rede ferroviária existentes dentro de círculos de raio r . O valor de d sugerido por Benguigui nesse experimento refere-se à dimensão fractal radial (d_r) introduzida por Frankhauser (1994). Os resultados obtidos foram 1.5 para o subúrbio de Paris e 1.7 para o centro de Moscow. Em outro artigo Benguigui (1992b) apresenta simulações com o objetivo de reproduzir os padrões encontrados para a estrutura ferroviária de Paris. Os resultados do modelo, segundo o autor, refletem o padrão dos casos empíricos.

Posteriormente, Benguigui (2000) lançam a questão: quando e onde uma cidade é fractal? Nesse artigo, os autores analisam o desenvolvimento da região metropolitana de Tel Aviv. A dimensão fractal foi estimada tanto para a metrópole como um todo, quanto para algumas de suas partes, considerando dados que datam a partir de 1935. A conclusão geral dos autores é que a parte central da região metropolitana de Tel Aviv é fractal, e que a dimensão cresce de 1.53 a 1.80, entre 1971 e 1978. No que se refere ao centro estendido da cidade, a fractalidade é observada para todo o período em estudo com dimensão estimada entre 1.38 e 1.73. Para a região metropolitana como um todo, o padrão fractal é evidente apenas após 1985, quando a dimensão apresenta valor médio de 1.6. Tais resultados mostram, como sugere a pergunta que intitula o artigo, uma Tel Aviv heterogênea e multifractal, e que os padrões morfológicos dependem não apenas de variáveis espaciais, mas também temporais.

fractalidade urbana

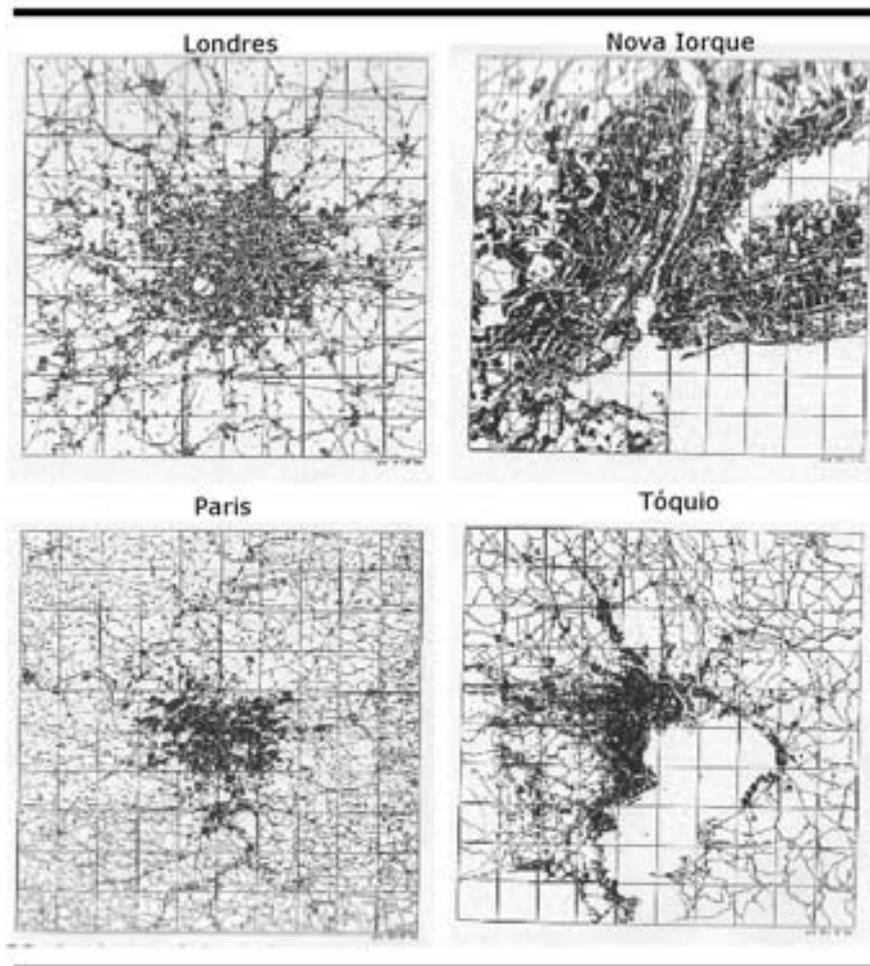


Figura 2.7 - Estruturas urbanas de Londres, Nova Iorque, Paris e Tóquio, cujas dimensões fractais (d_m) equivalem a 1.77, 1.71, 1.86 e 1.31, respectivamente. À exceção de Tóquio, cuja baixa dimensão fractal resulta da existência da grande baía situada na porção sudeste da metrópole, os demais centros apresentam dimensão média da ordem de 1.75.

Evolução de Londres

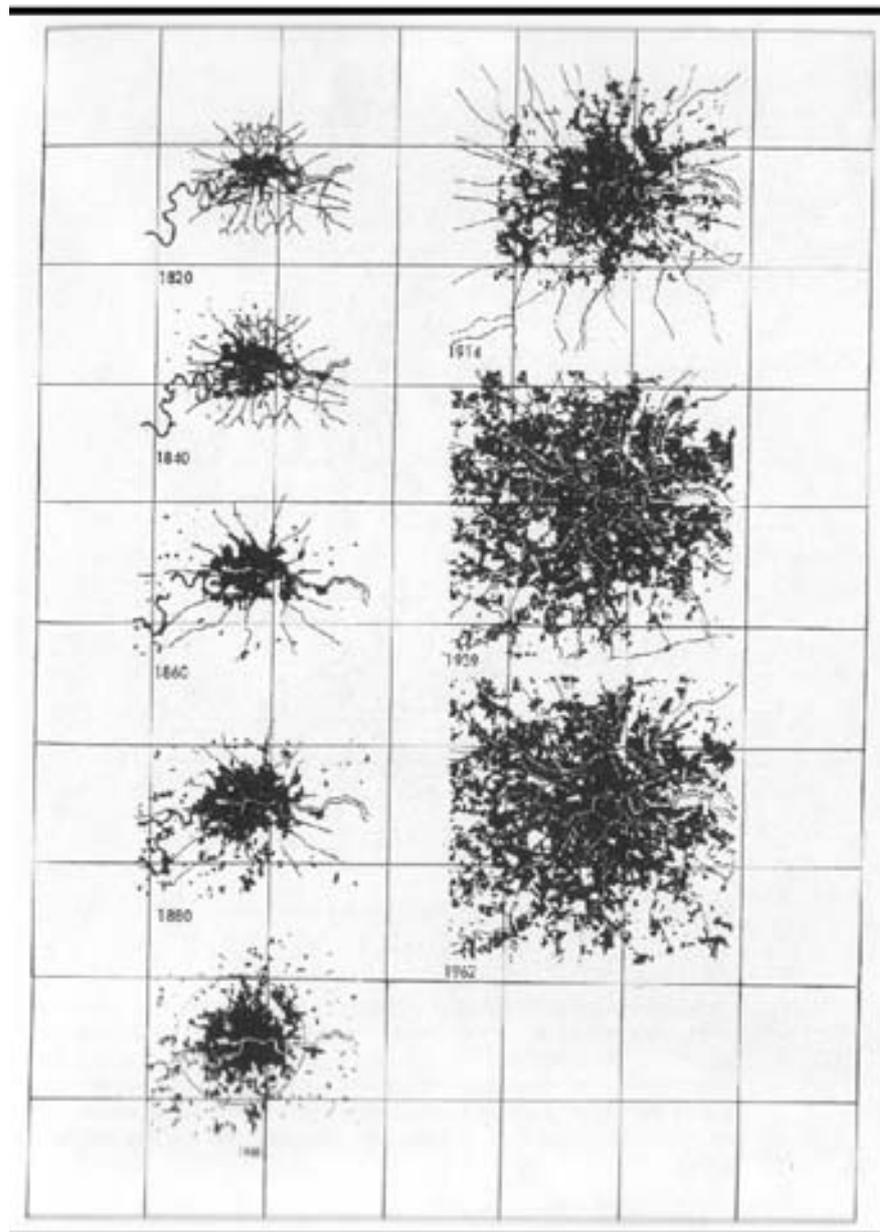


Figura 2.8 - Diversos momentos na evolução da cidade de Londres (Batty e Longley, 1994): 1820, 1840, 1860, 1880, 1900, 1914, 1939 e 1962. Os valores obtidos para a dimensão fractal (d_m), neste caso, foram respectivamente: 1.32, 1.58, 1.41, 1.70, 1.73, 1.76, 1.79 e 1.77. Os resultados parecem indicar o mesmo tipo de dinâmica encontrado por Frankhauser para Berlim: a cidade, à medida que cresce, preenche os espaços de forma mais fragmentada e compacta.

É interessante observar que a associação entre fractais e expressões espaciais na sociedade vão além das cidades e dos assentamentos, e descem até a escala da arquitetura e dos elementos decorativos. Nesse caminho há contribuições interessantes, como os estudos de Eglash (1999) sobre a expressão fractal em comunidades africanas, que nos revelam a natureza fractal de assentamentos tribais e expressões artísticas, e nos conduzem a interessantes reflexões envolvendo a expressão simbólica entre grupos étnicos.

Eglash (1999) nos apresenta um interessante estudo que nos revela o quanto a lógica fractal está presente, consciente ou inconscientemente, na produção social e artística da sociedade pré-colonial africana. O autor mostra que boa parte dessas expressões não são meras expressões acidentais ou inconscientes, mas são o reflexo de uma lógica matemática que pode estar implícita em sua cultura. Para isso, o autor apresenta séries de exemplos de elaboração gráfica nessa sociedade. Algumas expressões são consistentes, mas baseadas em conhecimento implícito; outras revelam uma consciência da lógica matemática na composição de elementos gráficos e decorativos.

O autor sugere que não apenas na arquitetura, mas também no penteado, nas esculturas, nas pinturas, na religião, nos jogos, nos utensílios práticos, nas técnicas quantitativas e nos sistemas simbólicos, os africanos têm utilizado os padrões geométricos e os conceitos abstratos, relacionados aos fractais. Mas a relação entre geometria euclidiana e geometria fractal, destaca o autor, não pode ser encarada como uma oposição entre o bom e o ruim, entre o agradável e o desagradável, mas como uma relação simbólica que evidencia distintas necessidades espaciais e simbólicas.

Neste aspecto, o autor lança uma questão para o debate: se as linhas retas da geometria euclidiana são tão naturais à cultura europeia e os padrões fractais são expressões naturais da cultura africana, pode-se encarar a imposição de padrões euclidianos em substituição a padrões fractais como uma questão de afronta étnica à cultura africana?

Eglash sugere ainda em seus estudos que, se por um lado os fractais estão relacionados a uma ciência de alta tecnologia e avanço computacional, por outro lado os seus padrões geométricos são surpreendentemente comuns na tradição simbólica, especificamente na expressão gráfica e artística de comunidades como as africanas. Os assentamentos tradicionais africanos (figura 2.9), por exemplo, apresentam características de auto-similaridade: círculos dentro de círculos, retângulos que envolvem grupos de retângulos menores, ruas principais que se bifurcam e se conectam a vias de hierarquia menor, sucessivamente. Nesse sentido, o autor conclui:

Se por um lado não podemos afirmar que as comunidades pré-coloniais africanas detivessem o conhecimento sobre fractais, por outro lado não se pode excluir essa possibilidade. Afinal, o que parece ser um padrão inconsciente ou acidental pode na verdade conter componentes matemáticos intencionais. (EGLASH, 1999, p.4)

Essas observações de Eglash (1999) estão estreitamente relacionadas à correlação que se pode estabelecer entre forma e números. Segundo o autor, a presença da matemática na cultura oscila entre os extremos da intencionalidade (consciência) e da não-intencionalidade (inconsciência). Assim, muitas das estruturas e muitos dos sistemas que observamos na natureza e na sociedade são estruturas não-intencionais, isto é, mesmo que possam ser descritas através de ferramentas matemáticas, as mesmas foram resultados de ações coletivas, em que os indivíduos não tinham controle e consciência do processo como um todo, como é o caso das cidades. Eglash destaca ainda que por muitos anos antropólogos têm observado que padrões produzidos em diferentes culturas estão relacionados a temas de elaboração gráfica específicos. Na Europa e na América do Norte, por exemplo, são comuns cidades elaboradas com base em malhas ortogonais, compostas por linhas retas e ângulos retangulares. O sistema de coordenadas cartesianas, que pode ser graficamente representado por uma malha, é uma das principais bases matemáticas dessas sociedades. Afinal, como sugere o autor, formas e

números não são apenas regras universais de medida e lógica; são também ferramentas culturais que podem ser usadas para expressar idéias sociais:

Na cultura chinesa são comuns as composições geométricas elaboradas com base em hexágonos combinados de forma matematicamente precisa. Uma escolha que pareceria aleatória, não fosse a importância do número 6 nos hexagramas chineses (I Ching), na base conceitual da acupuntura ou até mesmo na arquitetura. (EGLASH, 1999, p.3).

Na última década, enfim, têm sido frequentes as contribuições relacionando geometria fractal a estruturas urbanas. É bom ressaltar que a dimensão fractal de estruturas naturais ou de fractais aproximados ou estatísticos (como as estruturas urbanas), deve ser obtida através de uma análise de fato cuidadosa. Para objetos naturais o processo de escalonamento (similaridade ao longo das escalas) tem limites e só funciona dentro de certa faixa de escalas. A idéia de universo infinito não se aplica, como nos casos dos fractais determinísticos (Cantor, Koch e Sierpinski). A menor escala é em geral definida pelo tamanho dos constituintes elementares do objeto, da mesma forma que o processo tem também um limite superior dado pelo tamanho finito do objeto considerado.

No que se refere à escala, vimos que praticamente todos os estudos que de alguma forma relacionam fractais e cidades estão situados na escala metropolitana ou regional. Entre as exceções estão Eglash (1999), apesar do enfoque mais ilustrativo, que associa a forma de assentamentos à forma de fractais determinísticos; e Frankhauser (1994) em breve citação sobre a estrutura hierárquica das ruas de Paris. As análises que se referem às escalas metropolitana e regional (análises globais do objeto urbano) abordam a estrutura como um todo, e não tratam das características de suas partes componentes.

Em se tratando do método, alguns autores, como Batty e Longley (1994), admitem que há limitações na utilização da geometria fractal como ferramenta única de definição de padrões, devido à complexidade e diversidade dos métodos de contagem e à heterogeneidade e falta de precisão das fontes de dados empíricos (mapas). Em

particular, vimos que nos casos ilustrados ao longo deste capítulo, entre as dimensões em questão estão o grau de preenchimento dos espaços e a densidade radial. Não foram abordados outros aspectos como a fragmentação e a ordem hierárquica, que são propriedades típicas de sistemas complexos e estruturas fractais.

A revisão desses aspectos, de alguma forma relacionados à escala e ao método é o ponto de partida para as análises das estruturas espaciais de assentamentos espontâneos sob a ótica da fragmentação. No que se refere à escala, as favelas são analisadas em hierarquias espaciais, que incluem desde as suas unidades elementares (casas, grupos de casas, pátios e ruas) à distribuição de tamanhos de assentamentos nas cidades. No caso do método, o enfoque está no grau de fragmentação, isto é, o quanto quebradiças são as estruturas e como os diversos tamanhos de fragmentos estão relacionados estatisticamente. Para isso, o conceito de lei de escala é utilizado nessas análises, como ferramenta de análise de padrões espaciais e de ordem hierárquica. Esse conceito, como veremos a seguir, embora fundamental para se compreender a teoria dos fractais, antecede e transcende a geometria de Mandelbrot e se estende pelas mais diversas disciplinas. É o que veremos nos capítulos a seguir, que tratam da análise estatístico-espacial de assentamentos espontâneos.

Assentamentos Africanos

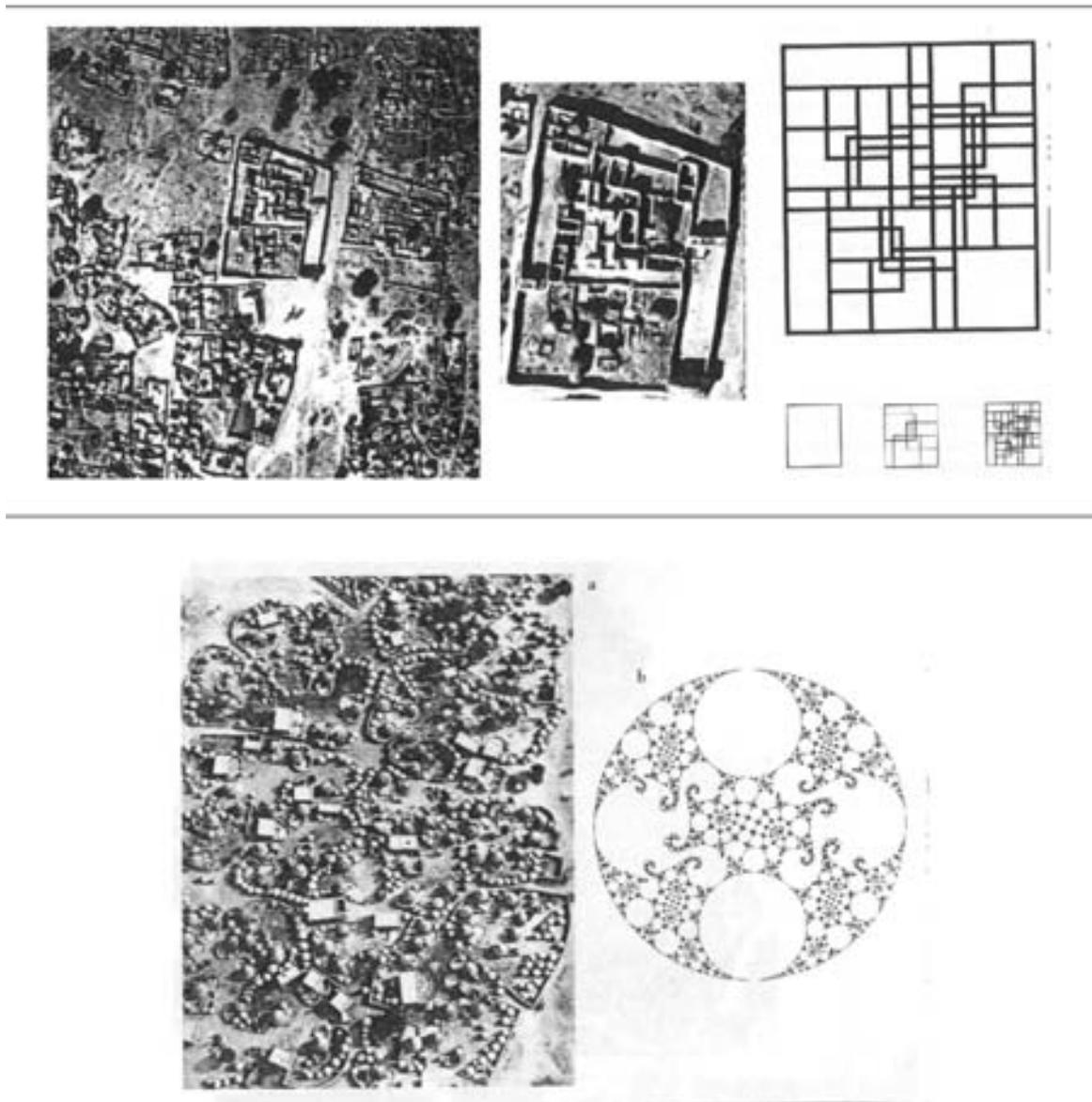


Figura 2.9 - reprodução de alguns exemplos apresentados originalmente por Eglash (1999), em seus estudos sobre a relação visual entre fractais e cultura africana. Os assentamentos tradicionais africanos, por exemplo, apresentam características fractais como a auto-similaridade: círculos dentro de círculos, retângulos que envolvem grupos de retângulos menores, ruas principais que se bifurcam e se conectam a vias de hierarquia menor, e assim sucessivamente. Na parte superior da figura temos do lado esquerdo uma vista aérea da cidade Logone-Birni nos Camarões, na parte central um detalhe do palácio e no lado direito o resultado de uma simulação computacional baseada em recursão. Pode-se observar que as estruturas da cidade e do palácio africano se assemelham à simulação computacional gerada a partir de da recursão, método típico na produção de fractais. Na porção inferior da figura 2.9, uma comparação entre a vila Labbezanga, em Mali (esquerda) e uma estrutura fractal gerada a partir de computador (direita).

2.2 Análise estatístico-espacial de assentamentos espontâneos

2.2.1 Leis de Escala e Fragmentação

Uma das principais características entre sistemas naturais (formações geológicas, organismos, paisagens) e sistemas humanos (economia, população, linguagem), é a multiplicidade de escalas, isto é, esses sistemas são compostos por unidades dos mais variados tamanhos, sem escala característica. Essa multiplicidade de tamanhos está relacionada a uma ordem hierárquica, marcada pela existência de uma lógica não-linear na distribuição das sub-unidades de um sistema. Essa ordem hierárquica é definida como lei de escala.

As leis de escala têm sido comuns na descrição de fenômenos e estruturas em diversas disciplinas (especialmente em estudos com variáveis espaciais) que já aplicavam esses conceitos bem antes da geometria fractal ser popularizada. Por descrever objetos e sistemas que possuem propriedades como hierarquia e fragmentação (comuns aos fractais), as leis de escala têm sido interpretadas como uma das ferramentas para se medir a fractalidade dos sistemas (MANDELBROT, 1983). As leis de escala definem a lógica (quando esta existe) segundo a qual os diversos elementos de um objeto (ou sistema) se organizam hierarquicamente, e são descritas matematicamente por uma lei de potência do tipo:

$$N \sim t^b ,$$

onde N é o número de elementos com tamanho t em determinado sistema, e b é uma constante.

No caso do expoente b ser negativo ($b < 0$), teremos uma relação em que, quanto maior o tamanho de um elemento, menor será a sua quantidade (ou frequência) no sistema, e vice-versa. É o caso da grande maioria dos sistemas complexos, que além disso apresentam alta diversidade (variedade de tamanhos das unidades).

As leis de escala podem ser vistas como instrumentos de medição da complexidade de um sistema ou da fractalidade de uma estrutura. O expoente b , neste caso, tem sido definido como uma categoria de dimensão fractal (Mandelbrot, 1983), pois irá caracterizar a lógica não-linear existente na distribuição de tamanhos dos elementos no sistema. Mas vale salientar que existem diferenças entre sistemas que apresentam leis de escala e objetos fractais, em especial aqueles cuja concepção é determinística (conjuntos fractais de Koch, Sierpinski...). Os fractais determinísticos envolvem uma propriedade típica, que é a auto-similaridade, que não está necessariamente presente na estrutura dos sistemas complexos. A auto-similaridade é um tipo de simetria diferente (e complementar) em que uma parte do sistema se assemelha ao sistema como um todo (curva de Koch). Essa auto-similaridade pode ser estatística, e neste caso é expressa por leis de escala, onde parte e todo estão relacionados estatisticamente, não necessariamente de forma determinística.

Essa lógica de multiplicidade de escalas está presente em sistemas dos mais diversos campos disciplinares⁴: na Economia, os estudos de Pareto (1897) sobre a distribuição de renda, com expoente b flutuando entre 1.5 e 2; na Geografia, os estudos de Lotka (1956) sobre a distribuição de cidades de acordo com a população ($1 < b < 2$); distribuição de gêneros em uma espécie (WILLIS, 1922); o estudo sobre a frequência do uso de uma palavra em determinada linguagem ($1 < b < 1.5$), apresentado por Zipf (1949); número de componentes numa estrutura de DNA (Allegrini et al, 1995); a distribuição de linguagens no planeta (Gomes, 2001), entre tantas outras contribuições.

⁴ Autores a seguir citados por Gomes, 1999.

Todos esses exemplos descrevem relações de escala entre quantidade e tamanho de uma determinada variável, controladas na maioria das vezes por expoentes negativos (quanto maior o tamanho, menor a quantidade). Essas relações são robustas e, na maioria dos casos, universais. O conceito de universalidade, neste caso, está associado à idéia de sistemas diferentes exibirem um mesmo tipo de comportamento crítico, ou seja, exibirem os mesmos expoentes, independentemente das particularidades físicas do sistema (GOMES, 1999).

Segundo a Lei de Zipf (1949 apud GOMES, 1999), por exemplo, a frequência de uma palavra que ocupa o rank r (variável relacionada à ocorrência em um determinado universo) em determinado texto varia como $F \sim r^{-1}$, isto é, a segunda palavra mais frequente em um texto ($r=2$) ocorre duas vezes menos que a mais frequente ($r=1$). Essa frequência, segundo Zipf, independe da língua em que o texto está escrito. No caso da Lei de Pareto (1896 apud GOMES, 1999), a fração F de famílias com renda maior ou igual a r é definida por $F \sim r^{-B}$, relação que independe do país analisado (Figura 2.10b).

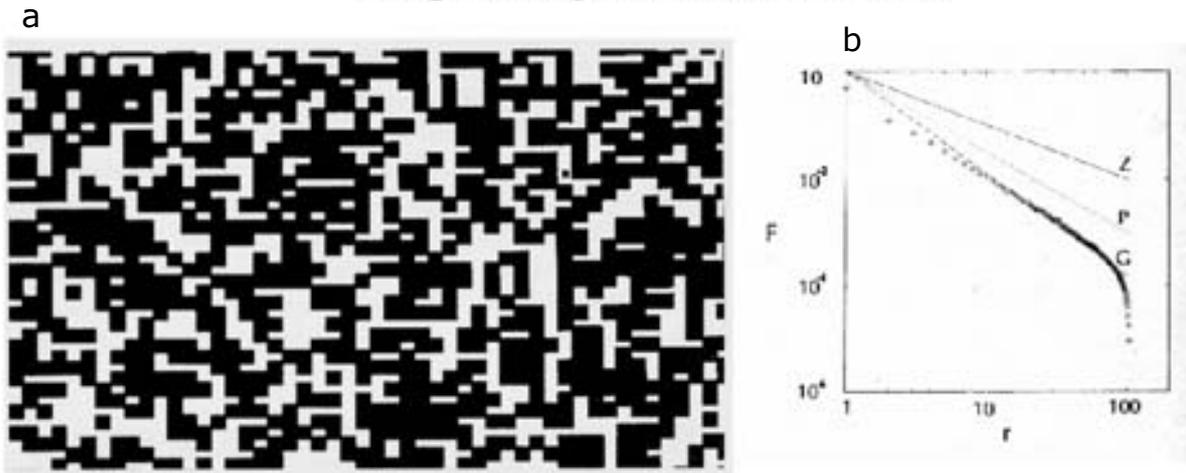
Um campo disciplinar que muito tem aplicado os conceitos de leis de escala e universalidade é a Física Estatística, em especial nos estudos relacionados à criticalidade auto-organizada e às dinâmicas de fragmentação, que podemos definir como as marcas respectivamente espacial e temporal da complexidade. Afinal, enquanto as leis de escala espaciais desvendam as ordens hierárquicas de um objeto, as temporais desvendam as ordens de ocorrência de um fenômeno.

Segundo Gomes (1999), a idéia de criticalidade auto-organizada foi apresentada por Per Bak, Chao Tang e Kurt Wiesenfeld (1987, apud GOMES, 1999) e está relacionada a sistemas compostos por muitas partículas interagentes e que evoluem naturalmente para um estado definido como estado crítico auto-organizado. O estado crítico auto-organizado é caracterizado por leis de escala (espaciais e temporais) e pela ausência de sintonização (o sistema evolui para o estado crítico naturalmente). Muitos sistemas cujo

comportamento pode ser descrito como complexo existem no limiar do caos onde a criticalidade ocorre e a lei de potência predomina, como é o caso dos terremotos, das avalanches, ou até mesmo da frequência no uso de palavras. Os terremotos, por exemplo, são fenômenos naturais cuja ocorrência individual é imprevisível, mas a frequência anual de terremotos é robusta e pode ser descrita por uma lei de potência inversa. Em outras palavras, todas as intensidades (escalas) de terremoto são possíveis, apenas tornando-se tanto mais raras quanto mais elevada for a intensidade (NUSSENZVEIG, 1999). A criticalidade auto-organizada, portanto, está diretamente relacionada a sistemas altamente não-lineares, resultantes de ações localizadas de curto alcance (interação de unidades em escala local) o que torna imprevisível o comportamento individual desses sistemas. Para sistemas clássicos tradicionais, se um objeto tem uma aceleração, é possível identificar e quantificar a força que está atuando sobre o mesmo, isto é, se a força é duplicada, a aceleração também duplica, numa relação linear de causalidade (GOMES, 1999). Mas no caso de sistemas complexos, compostos por unidades que interagem em escala local, torna-se difícil encontrar a origem de determinado comportamento, a força que levou a um deslocamento. Neste caso, a relação causa-efeito linear não se aplica, pondo em cheque o tipo determinismo com o qual a ciência clássica estava acostumada até o início ou meados do século XX.

Os estudos de fragmentação envolvem duas propriedades básicas que serão extremamente importantes nos capítulos seguintes, em que analisaremos a morfologia de estruturas urbanas, e que são descritíveis a partir de leis de escala: distribuição de tamanho dos fragmentos e diversidade de tamanho dos fragmentos. Existem muitos aspectos fractais nos processos de fragmentação, já que muitas vezes os fragmentos são produzidos dentro de uma gama grande de tamanhos que não estão associados a nenhum comprimento característico natural. A lei empírica, usada com frequência para descrever a produção de pedaços em um processo de fragmentação, tem a mesma forma da lei de potência: $N \sim m^{-d}$, onde N é o número de fragmentos com massa maior que m . A constante d , neste caso, refere-se ao quanto a estrutura está fragmentada.

Fragmentação e Leis de Escala



Editado a partir de Gomes (1999).

Figura 2.10 - **(a)** apresenta um exemplo de um sistema sem comprimentos característicos: a distribuição de fragmentos (ilhas brancas) obtida com uma dinâmica de fragmentação em duas dimensões, numa estrutura celular, no instante em que a diversidade de escalas (fragmentos) é máxima. **(b)** o gráfico log-log ilustra alguns tipos de leis de escala em problemas físicos e não-físicos: (Z) lei de Zipf - Linguística: distribuição de frequência de palavras em textos, para qualquer língua, versus rank; (P) lei de Pareto - Economia: distribuição acumulada de salários, independentemente do país; (G) Astrofísica: distribuição de grupos de galáxias (Gomes, 1999).

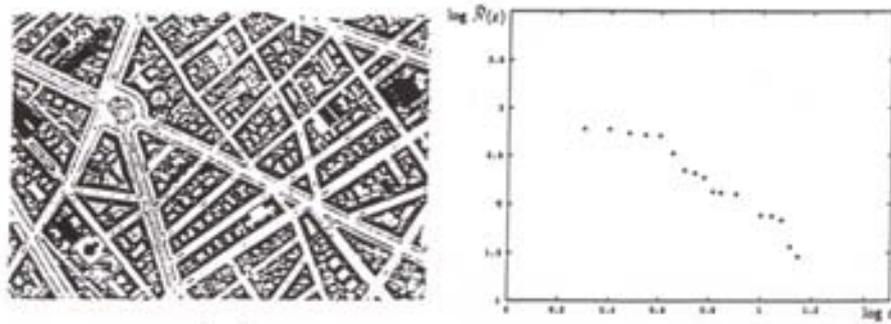


Figura 2.11 - Frankhauser (1994) se utilizou da análise da distribuição de tamanhos (larguras) das ruas para estudar a estrutura viária da cidade de Paris. O expoente encontrado oscila entre 1.5 e 1.9, dependendo da seção da cidade analisada. A existência dos expoentes reflete certa regularidade na hierarquia da estrutura viária da cidade.

A figura 2.10a apresenta um exemplo de um sistema sem comprimentos característicos: a distribuição de fragmentos (ilhas brancas) obtida com uma dinâmica de fragmentação em duas dimensões, numa rede quadrada de 50x50, no instante em que a diversidade de escalas (fragmentos) é máxima (GOMES, 1999).

A diversidade de tamanhos D é uma variável particularmente apropriada para se medir a complexidade de sistemas com grande extensão (espacial ou temporal). A diversidade - $D(t)$ - está relacionada ao número de diferentes tamanhos de fragmentos pelos quais determinada estrutura é composta em determinado tempo t . Uma das mais interessantes conclusões desses estudos relacionados à diversidade é a existência de uma lei de escala robusta $D \sim N^{1/2}$, entre a diversidade de um sistema e o número total de fragmentos que o compõe. Essa relação nos diz que a diversidade de um sistema cresce em função da raiz quadrada do número de fragmentos que compõem o mesmo. Segundo Garcia *et al* (1999), o estudo da diversidade é de fato atrativo na análise de sistemas complexos, uma vez que pode ser aplicado a sistemas de qualquer natureza (que apresentem propriedades espaciais); é facilmente implementado (algoritmos simples); e está intimamente relacionado ao estudo dos fractais (sistemas sem tamanho característico e com uma grande diversidade de escalas). Muitos dos sistemas que se fragmentam no mundo real apresentam um alto grau de diversidade (variedade de tamanhos das unidades componentes) e em estados de diversidade máxima, as leis de escala são robustas.

Se considerarmos, por exemplo, que as funções urbanas estão distribuídas nas cidades de forma hierárquica, através de diversas escalas, pode-se dizer que as cidades têm uma estrutura fragmentada e hierárquica. A idéia de vizinhança, distrito e setores dentro de uma cidade, ou a hierarquia das redes de transporte e infra-estrutura, podem oferecer exemplos de estruturas fractais que caracterizam as cidades. A distribuição do tamanho de cidades em uma região, descrita através da lei de escala de Pareto, por exemplo, é

considerada uma lei robusta e universal de sistemas espaciais, e é um exemplo tradicional de distribuição fractal aplicada às cidades.

Frankhauser (1994), por exemplo, se utilizou da análise da distribuição de tamanhos (larguras) das ruas para estudar a estrutura viária da cidade de Paris. O expoente encontrado oscila entre 1.5 e 1.9, dependendo da seção da cidade analisada. A existência dos expoentes reflete certa regularidade na hierarquia da estrutura viária da cidade. Inspirado nos resultados, Frankhauser traz à tona uma interessante questão: estariam os boulevards de Hausmann integrados hierarquicamente ao restante da malha viária parisiense? Segundo o autor, o gráfico de distribuição da largura das ruas sugere que sim, pois as avenidas hausmanianas não parecem afetar a linearidade do mesmo, o que sugere uma aparente integração, ao menos estatística e hierárquica, entre os boulevards e a cidade orgânica.

Makse *et al* (1998) mostram que a distribuição de tamanho (área) de cidades e distritos em regiões e metrópoles pode ser descrita através de leis de escala. Neste caso são apresentados estudos empíricos referentes à Grã-Bretanha ($D=2.03$), e aos sistemas de cidades ao redor de Londres ($D=1.96$) e Berlim ($D=1.98$). Esses resultados estão de acordo com estudos diversos (Batty; Longley, 1994), que também encontraram expoentes em torno de 2 para diversas cidades no mundo.

Sambrook e Voss (2001) analisam a distribuição espacial de assentamentos humanos na Pennsylvania, no Kansas e em Utah na escala regional. A lei de escala, neste caso, foi estimada em função das distâncias entre assentamentos, numa escala que vai de 3 a 300 km. Resultados indicam a existência de leis de escala na distribuição de assentamentos, definidas pelos seguintes expoentes: 1.9 (Kansas), 1.7 (Pennsylvania) e 1.4 (Utah), sugerindo que a distância entre assentamentos numa região geográfica é dependente de leis de escala caracterizadas pelos expoentes acima citados.

Mas alguns autores têm visto as leis de escala como fontes retóricas de formulação de postulados estéticos, de forma que as regras universais deixariam de ser ferramentas analíticas e passariam a ser propositivas. Salingaros e West (1999), em artigo intitulado uma regra universal para a distribuição de tamanhos, apresenta como principal argumento a idéia de que os objetos que agradam aos olhos são aqueles que obedecem distribuições de lei de potência. Em outras palavras, os autores sugerem que as melhores criações são aquelas que são compostas por elementos nas mais diversas escalas. No artigo, os autores destacam três aplicações ao postulado: distribuição de tamanhos de vias numa cidade; distribuição de projetos urbanos em orçamentos públicos e distribuição de elementos construídos. Em todos os casos a lei de potência deveria ser seguida como regra que irá garantir a agradabilidade, a viabilidade ou a funcionalidade do objeto ou sistema em questão. E ainda ressaltam que, por violarem essas regras, as cidades modernistas criaram ambientes urbanos inviáveis e desagradáveis:

Existem regras, embora ocultas, na organização e na conformação de estruturas complexas, que de certa forma definem a forma como as partes devem ser reunidas. Essas regras podem ser descobertas - desde que saibamos como observá-las - na arte tradicional e na arquitetura. São essas regras que garantem aos seres humanos a percepção (às vezes inconsciente) das ordens matemáticas inerentes à agradabilidade das formas. (SALINGAROS; WEST, 1999, p. 909)

No caso da malha urbana, por exemplo, os autores destacam que as regiões urbanas efetivamente vivas e dinâmicas, em qualquer lugar do mundo, estão composta por elementos de conexão em grande variedade de escalas, que são as calçadas de pedestres, as ciclovias, as ruas locais, as avenidas e as grandes auto-estradas, em ordem decrescente de frequência nas cidades. As cidades modernistas, que prorizam as avenidas e auto-estradas, são situadas pelos autores em um dos extremos, em que só existem elementos de larga escala, e que por isso apresentam problemas por faltas de conexões locais, gerando falta de interatividade entre núcleos de vizinhança.

O segundo exemplo apresentado por Salingaros e West de aplicação das leis de escala à organização do ambiente construído é relacionado à inclusão de projetos na formulação de orçamentos de obras públicas. Uma prática muito comum, porém extremamente equivocada, segundo os autores, é a elaboração de orçamentos que priorizam grandes projetos, mas que incluem um reduzido número de projetos pequenos e médios. Quanto maior o projeto, maior a sua probabilidade de inclusão em orçamentos públicos. Esse tipo de postura, segundo os autores, destrói a estrutura urbana. A razão é que os grandes projetos, em geral relacionados a intervenções de larga escala, consomem praticamente todo o montante destinado às intervenções urbanas nas cidades, restando pouco ou nada para intervenções localizadas. Cria-se, portanto, uma política urbana concentrada em uma escala particular da cidade, desrespeitando a regra natural de multiplicidade de escalas.

Finalmente, o terceiro exemplo de aplicação da regra universal de distribuição de tamanhos, defendida por Salingaros e West (1999) está relacionado à hierarquia dos diversos objetos que compõem o espaço construído. As cidades tradicionais, que se desenvolveram de forma natural, contêm elementos dos mais diversos tamanhos, numa variedade que vai do maior dos edifícios (como uma catedral gótica) ao mais simples dos mobiliários urbanos (uma fonte de água). Com base nessa observação os autores defendem que uma condição necessária (porém não suficiente) para a construção de um ambiente vivo e agradável está na distribuição dos objetos urbanos de acordo com leis de escala:

Os maiores edifícios e espaços abertos deveriam ser em menor quantidade, ao passo que o número de elementos deveria aumentar à medida que a escala diminui. As cidades precisam de elementos urbanos na escala humana, numa hierarquia que inclui os edifícios e inclusive as escalas estruturais típicas de materiais naturais. (SALINGAROS; WEST, 1999, p. 911, tradução nossa)

Até mesmo as obras cubistas de Picasso, argumentam os autores, que a princípio parecem violar as regras de multiplicidade, são na verdade um exemplo de

complexidade entre escalas, representada pela fragmentação e decomposição dos espaços na tela, isto é, até mesmo os traçados de Picasso seguem leis de escala.

Mas qual a relação entre leis de escala e todas as propriedades a elas relacionadas - como hierarquia, criticalidade, auto-organização, fragmentação e diversidade - e os assentamentos espontâneos? É o que veremos a partir das seções a seguir.

2.2.2 A geometria das favelas

O que se argumenta, neste trabalho, é que as favelas, independente de particularidades culturais e político-geográficas, são exemplos típicos de estruturas fragmentadas, resultantes de um processo de auto-organização, que converge espacialmente para uma espécie de estado crítico (consolidação), caracterizado por uma ordem hierárquica não-linear e pela diversidade de escalas de suas unidades componentes. Podemos assim dizer que assentamentos espontâneos são espécies de sistemas complexos, caracterizados por uma ordem espacial não-linear, fragmentada, e que por isso parecem candidatos naturais às análises que têm como base leis de escala e fragmentação.

A complexidade, neste caso, é definida em função de um *padrão* para os padrões de irregularidade desses espaços urbanos. Particularmente, serão realizadas análises da distribuição de tamanhos (frequência) de unidades espaciais (do espaço construído e vazio) de acordo com os seus tamanhos; tal distribuição tem a forma de leis de escala.

Esse conjunto de análises estatísticas será dividido em duas escalas distintas de observação. A primeira se refere à escala do assentamento, em que as unidades elementares são as casas (quando se trata do espaço construído), ou trechos de rua e becos (quando se trata do espaço aberto). A segunda parte se refere à escala da cidade, em que a unidade elementar é o assentamento, que são representados como manchas irregulares dentro de representações simplificadas do ambiente urbano.

Os dados utilizados na primeira parte da análise referem-se a uma coleção de nove assentamentos espontâneos situados em áreas distintas da cidade do Recife, que são primeiramente analisados em função do espaço vazio, e depois, em função do espaço construído. Em seguida, são apresentadas algumas aplicabilidades estatísticas para os padrões espaciais obtidos. Esses assentamentos são então analisados comparativamente em relação a assentamentos espontâneos situados ao longo do Vale Mathare, em Nairobi, região central do Kenya; e em Bangkok, na Tailândia. Na escala das cidades apresentamos estudos sobre a distribuição de tamanhos de assentamentos em quatro cidades: Recife, Manila, Kuala Lumpur e Lima. Em todos os casos, os exemplos empíricos foram selecionados casualmente, na maioria das vezes em função da disponibilidade de dados e razoabilidade dos mapas.

Vale destacar, antes de propriamente iniciarmos as análises sobre os assentamentos espontâneos, que a morfologia de um objeto urbano abrange uma diversidade de componentes, variáveis, medidas e conseqüentemente métodos, cuja seleção e utilização irá depender dos objetivos da pesquisa em questão. Esta pesquisa trata de testar uma hipótese, a partir de um grupo restrito de variáveis, observadas sob um método específico de análise, o que significa dizer que este estudo não pretende esgotar as possibilidades de análises morfológicas sobre os assentamentos informais, mas abordar aspectos específicos de sua universalidade. O objetivo é a identificação de propriedades fractais comuns entre assentamentos espontâneos na Ásia, África e América Latina, especificamente aquelas relacionadas a hierarquia e leis de escala. Quando se fala de distribuição de fragmentos, leia-se distribuição de tamanhos, e não necessariamente distribuição relativa no espaço, uma vez que o estudo de elementos de acessibilidade ou relativa profundidade de elementos (aspectos já exaustivamente abordado por outros autores) não são aqui abordados, considerando a limitação teórica e às pretensões metodológicas desta pesquisa.

2.2.3 Assentamentos em Recife

Os nove assentamentos de Recife, estudados nesta seção, estão todos situados no interior da malha urbana, em regiões distintas da cidade: João de Barros, Entra-Apulso I, Entra-Apulso II, Sta. Terezinha I, Sta. Terezinha II, Campo do Banco, Campo do Piolho, Poço da Mangueira e Sigismundo. Devido à diversidade de fontes de onde os dados gráficos foram obtidos, as informações cadastrais variam em precisão e detalhamento, de assentamento a assentamento. Alguns mapas foram extraídos de relatórios relativamente completos sobre o assentamento em questão, outros foram obtidos a partir de arquivos digitais e desacompanhados de qualquer informação complementar, além da representação gráfica. Mas considerando que a informação essencial para a análise está nos próprios mapas, as informações complementares são apresentadas apenas como ilustração e orientação ao leitor na identificação das áreas em estudo.

De forma a apresentar uma visão geral sobre o tipo de estrutura urbana à qual estamos nos referindo, são apresentados na figura 2.12 as imagens dos nove assentamentos de Recife que foram selecionados para análise. Tratam-se de assentamentos intra-urbanos, isto é, situados no interior da malha urbana da cidade. Alguns estão em áreas mais centrais (como João de Barros), outros em áreas mais periféricas (como Campo do Banco), mas todos de característica essencialmente urbana e cercados por barreiras físicas de desenvolvimento. Algumas barreiras são vias públicas locais ou corredores comerciais (barreiras atrativas, representadas na figura 2.12 pelas linhas de cor cinza claro); outras barreiras são limites de propriedade ou limites naturais, como rios e canais (representadas na figura 2.12 pelas linhas de cor cinza escuro). Veremos, na parte 3 desta tese, que as barreiras serão elementos essenciais no estudo da dinâmica de fragmentação e de consolidação dos assentamentos.

O assentamento João de Barros está situado às margens da Avenida Agamenon Magalhães, na região central da cidade, e apresenta área total de aproximadamente 1.6 ha, dos quais 7.679 m² correspondem à área construída. As primeiras ocupações datam de 1923, quando a área hoje ocupada pelo assentamento era predominantemente área de maré, ocupada com viveiros, de onde os primeiros moradores tiravam sua subsistência (FARIAS, 1990). Na mesma região, alguns quilômetros em direção ao norte, estão os assentamentos de Santa Terezinha I e II, que possuem área total aproximada de respectivamente 2,42 ha e 1,87 ha.

Entra Apulso é considerada Zona Especial de Interesse Social (ZEIS) desde 1988. Trata-se de um grupo de assentamentos situado no bairro de Boa Viagem, margeado ao norte por um shopping center, ao leste pelo Canal Setúbal, a oeste pelo Rio Jordão e ao sul por vias urbanas locais. Foram selecionadas duas áreas do assentamento, correspondentes ao setor oeste (Entra Apulso I) e setor central (Entra Apulso II). O setor oeste está cercado por vias urbanas e pelo Rio Jordão, e corresponde à área de ocupação mais recente em todo o assentamento. É também onde estão situados os pontos mais críticos da ZEIS, devido à falta de infra-estrutura. O setor central é uma das áreas mais densas do conglomerado e também uma das mais antigas. Trata-se da área que mais está sujeita à especulação imobiliária, devido a sua localização às margens da via que dá acesso ao shopping center.

Entra Apulso I (setor oeste) tem uma área de aproximadamente 12,5 ha, dos quais 6,2 ha correspondem à área construída (densidade aproximada: 0,49), enquanto Entra Apulso II (setor central) engloba 12,9 ha de área e densidade de aproximadamente 0,55 (área construída: 7,2 ha). A densidade populacional média no conglomerado é de 600 habitações por ha (PORTELA, 1999).

Os assentamentos Poço da Mangueira, Campo do Piolho e Sigismundo estão dentro dos limites da ZEIS da Mangueira, que está situada na porção oeste de Recife. Trata-se de

uma área cujo entorno é caracterizado por focos de comércio, serviços locais e eixos viários em expansão. Os três assentamentos totalizam uma população superior a 3.000 habitantes, distribuídos em mais de 700 imóveis. As áreas do Campo do Piolho e Sigismundo apresentam as maiores densidades. A primeira apresenta um estágio mais avançado de consolidação e melhores condições de habitabilidade, enquanto a segunda contém um número maior de unidades em estado precário de conservação. A área de Poço da Mangueira, com a mais baixa densidade entre os três assentamentos, apresenta padrões de consolidação semelhantes aos de Sigismundo, apresentando 65% das habitações em alvenaria (URB, 1999).

O assentamento Campo do Banco é uma ZEIS, portanto consolidado, e está situado no bairro da Várzea, na zona oeste de Recife. Apresenta uma área de aproximadamente 13ha, sendo limitado ao norte por divisas de propriedade industriais e institucionais, e nas demais faces por vias urbanas locais, com destaque para a via situada a leste, devido à importância da mesma como via de ligação a eixos viários principais que levam ao centro da cidade. Predomina no assentamento uma população de baixa renda. As primeiras ocupações ocorreram em 1960. Atualmente, a densidade populacional média em Campo do Banco é de 223 hab/ha, que é baixa em relação às demais ZEIS da cidade (BARROS, 1996).

Na figura 2.12, onde estão representados os nove assentamentos analisados, cada um dos menores polígonos irregulares (célula) refere-se a uma unidade de habitação (casa); mais especificamente, ao espaço limitado pela projeção da cobertura. Como se pode observar a partir das imagens, os assentamentos exibem estruturas similarmente desordenadas e fragmentadas, e são caracterizadas, especificamente, pela diversidade de tamanhos de ilhas, assim como pela irregularidade na forma e na distribuição destas.

Assentamentos de Recife

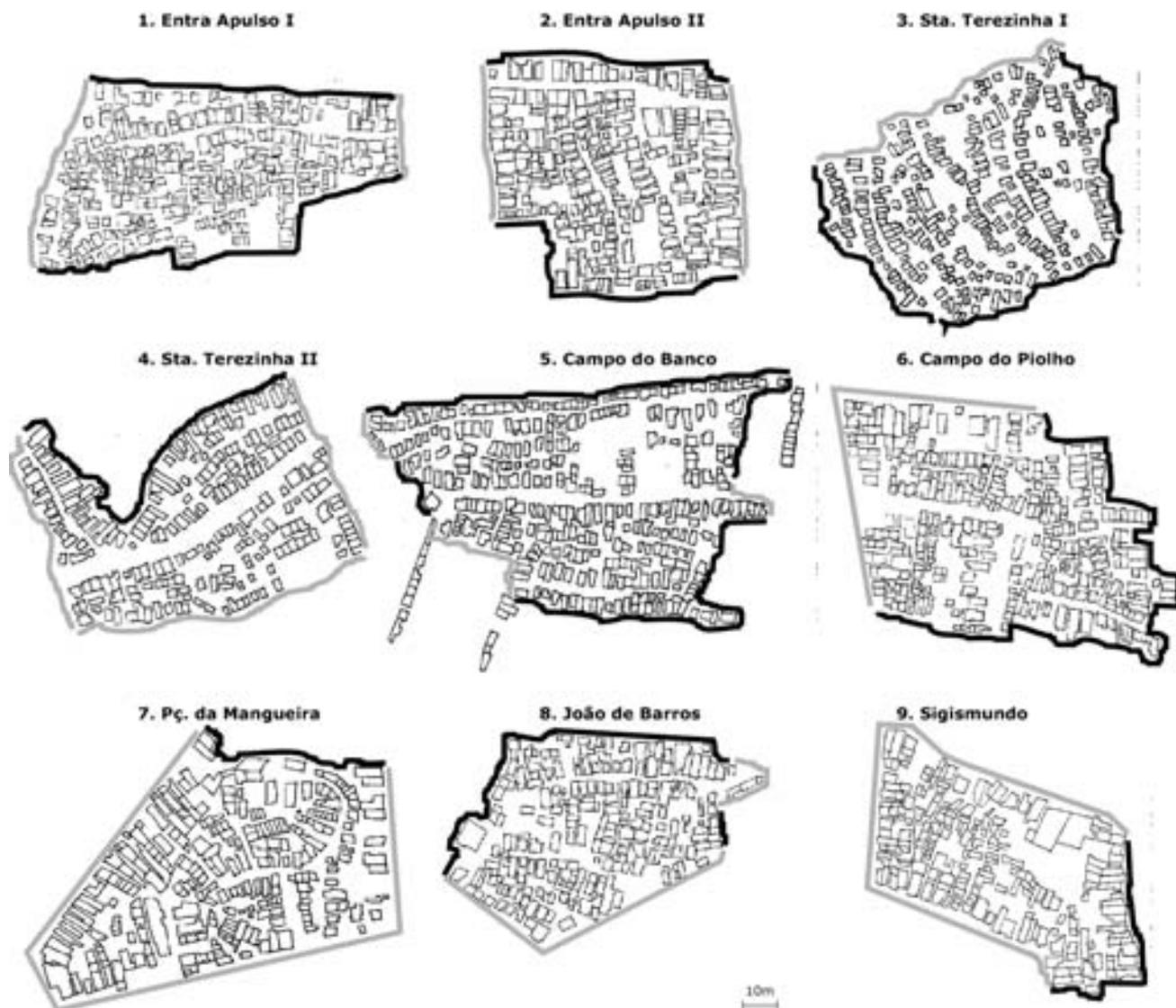


Figura 2.12 - Nove assentamentos analisados em Recife. Cada um dos menores polígonos irregulares representados nos mapas refere-se a uma unidade de habitação (casa), mais especificamente, ao espaço limitado pela projeção da cobertura. São todos assentamentos intra-urbanos, cercados por 'barreiras' físicas de desenvolvimento. Algumas barreiras são vias públicas locais ou corredores comerciais (barreiras atrativas, representadas na figura pelas linhas de cor cinza claro); outras barreiras são limites de propriedade ou limites naturais, como rios e canais (representadas na figura pelas linhas de cor cinza escuro).

As ilhas, na figura 2.12, apresentam tamanhos variados (tamanho 1 equivale a uma casa isolada; tamanho n equivale a n casas agregadas, que contém pelo menos uma face conectada a uma casa vizinha). Uma observação mais cuidadosa da mesma figura revela que as ilhas dos assentamentos pertencentes à mostra apresentam tamanhos que variam de 1 a 19.

Um aspecto fundamental a ser observado é que os assentamentos apresentam um grande número de pequenas ilhas, e um pequeno número de ilhas maiores, característica típica de sistemas complexos. Uma outra característica importante que precisa ser ressaltada é que todos os assentamentos estudados estão inseridos na malha urbana e estão cercados (parcial ou integralmente) por barreiras de crescimento. Conseqüentemente, o desenvolvimento desses assentamentos ocorre não através da pura dispersão, mas essencialmente de adensamento, como uma espécie de processo de empacotamento. Neste caso, como a área total disponível para ocupação é limitada e o processo de ocupação é descentralizado, a diversidade de tamanhos das ilhas parece ser a resposta do sistema para otimizar a ocupação.

2.2.4 Fragmentação do espaço construído

Com base em estudos estatísticos sobre dinâmicas de fragmentação em sistemas físicos, e de forma a obter uma descrição mais completa das propriedades geométricas das estruturas urbanas estudadas nesta tese, foram analisadas também as distribuições correspondentes ao espaço construído dos assentamentos. Mais especificamente, foram medidas as distribuições das frequências de ilhas $f(s)$ em função de s (número de casas conectadas em cada ilha). A variável s , neste caso, é apresentada como uma medida de tamanho ou área de uma ilha. Esta distribuição, conseqüentemente, refere-se à região que é complementar à estrutura dos espaços vazios, definida na seção anterior. Analisando-se os mapas dos nove assentamentos (figura 2.12), conclui-se que a

distribuição $f(s)$, para qualquer assentamento individual, também obedece uma relação de escala que independe do assentamento estudado, e é definida por:

$$f(s) \sim s^{-\tau}, \quad \tau = 1.6 \pm 0.2 .$$

Vimos que distribuições de escala e fragmentação com expoentes similares a estes apresentados são comuns em modelos estatísticos e experimentos relacionados a dinâmicas de fragmentação na Física, Química e na Ecologia (STOSIK; GOMES, 2000). Como ilustração, podem ser citadas as distribuição de tamanhos de fragmentos em diferentes tipos de colapsos em placas de cimento bi-dimensionais, as quais apresentam uma distribuição hiperbólica entre frequência e área dos elementos, com expoentes entre 1.5 e 1.8 (BRITO; GOMES; SOUZA; AHİKARI, 1998). A origem desse valor, no entanto, ainda não é clara. Uma outra importante ilustração é a distribuição de áreas dos assentamentos urbanos ao redor de Berlim e Londres, recentemente discutida por Makse *et al* (1998), com expoentes próximos a 1.9, mas que está restrita à escala macroscópica das regiões metropolitanas.

A frequência média de ilhas, $\langle f(s) \rangle$ (resultante da média extraída do conjunto dos nove assentamentos normalizada em relação ao número total de ilhas N em cada assentamento) em função do tamanho s , é apresentada na figura 2.13. A linha contínua na respectiva figura corresponde ao melhor ajuste linear da distribuição:

$$\langle f(s) \rangle = \langle f(1) \rangle \cdot s^{-\tau}, \quad \langle f(1) \rangle = 0.60 \pm 0.05, \quad \tau = 1.6 \pm 0.2, \quad 1 < s < s_{max} \quad (1),$$

onde $\langle f(1) \rangle$ é a média do número de ilhas compostas por apenas uma casa, $n(1)$, dividido pelo número total de ilhas, N . Assim, $\langle f(1) \rangle = (\langle n(1) \rangle / N)$.

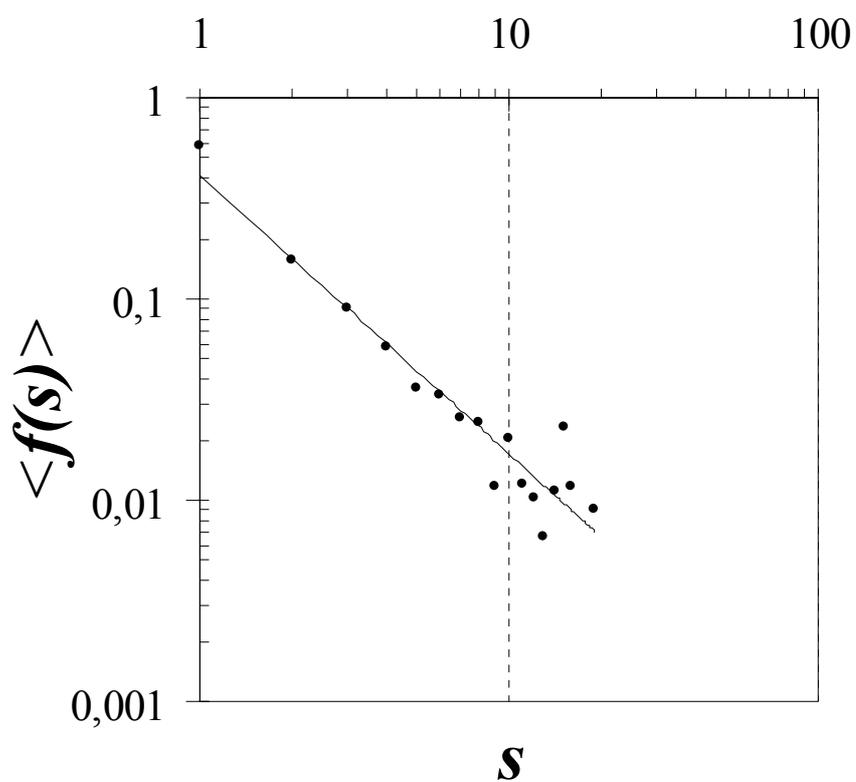


Figura 2.13 - Frequência média de ilhas, $\langle f(s) \rangle$ (valor normalizado em relação ao número total de ilhas) de acordo com o tamanho s (número de casas). A linha contínua na respectiva figura corresponde ao 'melhor ajuste' da distribuição, sendo definida pelo expoente $\tau \sim 1.6 \pm 0.2$.

O tamanho máximo de uma ilha (s_{max}) observado entre a média dos assentamentos estudados é 17. Em geral, esse tamanho máximo, s_{max} , pode ser definido como uma medida da diversidade de tamanhos de ilhas, D . Isto é, D representa o número de diferentes classes de tamanhos de ilhas em um assentamento: se um assentamento tem 19 ilhas, sendo 10 ilhas de tamanho 1; 5 ilhas de tamanho 2 e 4 ilhas de tamanho 3, então a Diversidade D será 3, pois há três classes de tamanho: 1, 2 e 3. Neste caso em particular, o tamanho máximo de ilha (s_{max}) corresponde à diversidade D do sistema. Em particular, s_{max} (tamanho máximo da ilha) tende a coincidir com D quando o nível de complexidade aumenta. Considerando que os assentamentos estudados apresentam alta complexidade, assumiremos, para fins de análise, s_{max} equivalente a D em todas as equações. Ainda com base na observação dos mapas dos assentamentos, conclui-se que a distribuição não-normalizada (que não está em formato percentual) $\langle n(s) \rangle$, satisfaz em geral à condição $\langle n(s=D) \rangle = 1$, o que significa dizer que, em média, existe apenas uma ilha de tamanho máximo em cada assentamento. Esta observação leva à expressão:

$$1 = \langle n(1) \rangle \cdot D^{-\tau}, \text{ ou}$$

$$\langle n(1) \rangle = D^{\tau}, \quad (2)$$

isto é, existe uma simples e robusta relação conectando o número médio de ilhas de tamanho 1, $\langle n(1) \rangle$, à diversidade D observada no sistema. Quando o primeiro cresce (decrece), o segundo também cresce (decrece). O grau de correlação entre $n(1)$ e D , neste caso, é controlado pelo expoente não-trivial τ , que define a fragmentação do sistema. Pode-se dizer, como consequência, que $n(1)$ e D são dois lados de uma mesma moeda (GARCIA; GOMES; REN; SALES, 1999): para fazer crescer a diversidade de tamanhos de ilhas em um sistema urbano espontâneo é preciso fazer crescer o número de ilhas, e esta última quantidade é basicamente controlada pelo número de casas isoladas (ilhas de tamanho 1).

A dependência de $\langle n(1) \rangle$ em relação a D , sugerida em (2), permite uma nova versão da equação (1), que pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\langle n(s) \rangle = \langle n(1) \rangle \cdot s^{-\tau} = (s/D)^{-\tau}, \quad \tau = 1.6 \pm 0.2. \quad (3)$$

A equação (3) indica que se conhecemos a diversidade D de um assentamento espontâneo (em geral equivalente ao tamanho da maior ilha), é possível estimar o número de ilhas de qualquer tamanho s , e vice-versa. A diversidade de tamanhos, como apresentada pela variável D , tem sido identificada em estudos de dinâmicas de fragmentação como uma medida da complexidade geral da estrutura ou do processo em estudo (GARCIA *et al*, 1999).

É também de interesse estudar como esta diversidade de tamanhos cresce em função do número total de ilhas, N . Para examinar esse aspecto da distribuição espacial em assentamentos espontâneos, foram definidas para cada assentamento representado na figura 2.12 uma família de regiões, de contornos irregulares, mas relativamente concêntricas, de forma que o grupo de regiões contivessem sucessivamente $N = 1, 5, 10, 15, 20, 25, \dots, 100$ ilhas. A dependência de D em relação a N é mostrada na figura 2.14, um gráfico logarítmico em D e N (log-log) correspondente aos nove assentamentos estudados. Os pontos (em forma de diamante) apresentados no gráfico referem-se à média dos assentamentos. A linha contínua na figura 2.14 representa o melhor ajuste $D = 1.1N^{0.49}$, para $1 < N < 80$. Esta relação diz que a diversidade de tamanhos de ilhas em um assentamento espontâneo cresce em função da raiz quadrada do número total de ilhas. Tais resultados estão em concordância com diversos experimentos e simulações computacionais (STOSIC; GOMES, 2000; BRITO *et al*, 1998) que têm estudado a evolução da diversidade num sistema fragmentado, quando o seu tamanho global (número total de fragmentos) cresce.

2.2.5 Fragmentação do espaço vazio

É importante verificar que a morfologia típica observada através dos mapas de assentamentos espontâneos não está caracterizada apenas pela diversidade de tamanhos das ilhas (elementos construídos), mas também pela irregularidade na forma e na distribuição das mesmas no espaço. Tal irregularidade é claramente percebida quando o espaço aberto (vazio) é analisado. A distribuição linear de ilhas regulares tende a gerar malhas ortogonais cujas propriedades geométricas são facilmente modeladas. Por outro lado, quando as ilhas estão distribuídas de forma irregular, forma-se uma estrutura deformada (ou conformada) de espaços abertos, cuja primeira impressão é a de um conjunto desordenado de elementos dispostos ao acaso. O que se pretende mostrar, nesta seção, é que a estrutura de espaços vazios é na verdade detentora de uma ordem implícita, descritível a partir de padrões geométricos não-lineares, diretamente relacionados aos padrões da área construída complementar.

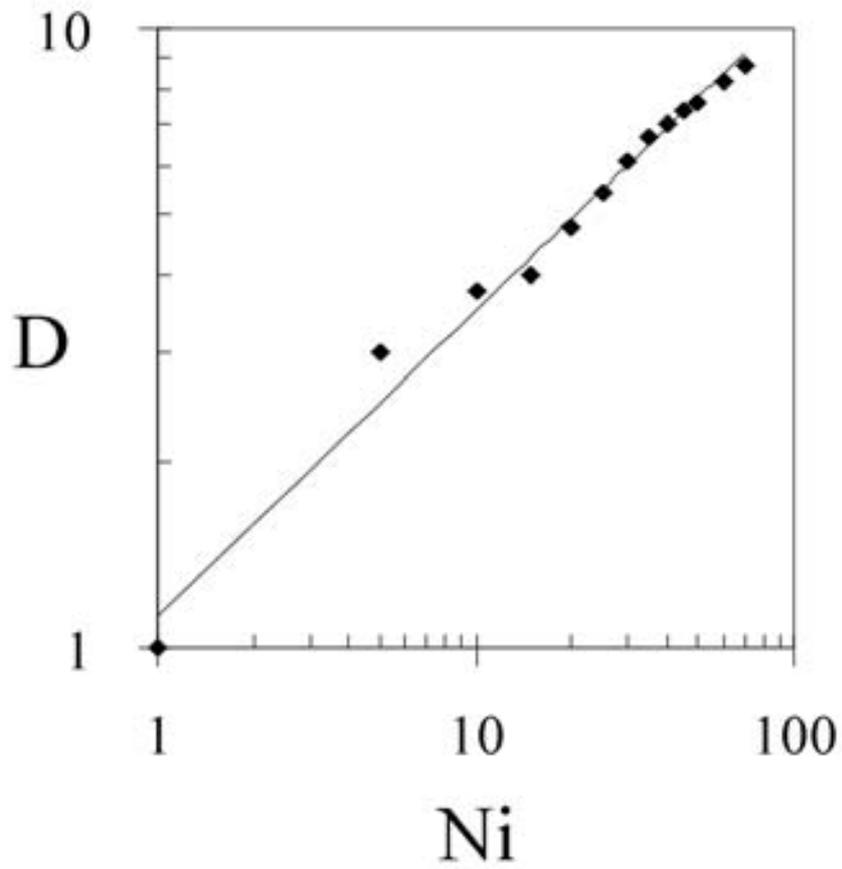


Figura 2.14 - A linha contínua na figura 2.14 representa o 'melhor ajuste' $D=1.1N_i^{0.49}$, para $1 < N_i < 80$. Esta relação diz que a diversidade de tamanhos de ilhas em um assentamento espontâneo cresce em função da raiz quadrada do número total de ilhas.

Na investigação da estrutura de espaços vazios, formada pela interseção de becos, quintais, ruas, pátios, jardins, e outros elementos espaciais que circundam as ilhas construídas, lançamos mão de um conceito desenvolvido por Hillier e Hanson (1984), como parte da teoria da sintaxe espacial, que é o espaço convexo. Segundo os autores, um mapa convexo, para uma estrutura de espaços abertos definida no plano, é o conjunto composto pelo menor número possível, de espaços os mais largos possíveis. Na visão dos autores, para se representar espaços deve-se esquecer sobre a geometria simples e pensar espacialmente, sobre o que as pessoas fazem, o que pode ser chamado de geometria natural: as pessoas movem-se em linhas, reúnem-se em espaços convexos.

Nessa citação, os autores apresentam um dos pressupostos básicos do que se pode chamar de Análise Sintática do Espaço, definida como sendo um método objetivo de leitura e análise de espaços urbanos e arquitetônicos, segundo aspectos de uso e movimento. A Sintaxe Espacial define e mede o padrão de relações do sistema espacial. O objetivo é descrever de que maneira o sistema como um todo se relaciona com cada uma de suas partes constituintes.

Os espaços abertos representam o elemento básico da sintaxe espacial e qualquer ponto na estrutura desses espaços abertos pode ser visto a partir de dois pontos de vista distintos, que formam os princípios básicos da sintaxe espacial: linhas axiais e espaços convexos.

A característica básica de um espaço convexo é que dois pontos quaisquer em seu interior podem ser ligados sem que a linha imaginária que os une ultrapasse os limites desse espaço. Já as linhas axiais podem ser definidas simplesmente como sendo a mais extensa linha reta possível, em um certo trecho do espaço aberto do sistema (figura 2.15b).

Afim de adaptar o conceito de espaço convexo ao enfoque de fragmentação utilizado e ao tipo de material gráfico disponível para análise, consideramos como espaço aberto toda a área que não está sob a projeção de cobertas. Assim, os espaços convexos incluirão não apenas áreas comuns (ruas e praças), como também áreas privadas e semi-privadas (pátios internos, becos, jardins e quintais). A figura 2.15a é uma representação dos mapas convexos correspondentes aos nove assentamentos sob análise.

Cada um desses mapas pode ser lido como uma família de fragmentos que apresentam uma grande diversidade de tamanhos a . Observa-se que tal fragmentação, em um assentamento em particular, é caracterizada pela distribuição estatística $f(a)$, que corresponde à frequência de espaços convexos dentro do intervalo de área a .

Apesar de ser possível existir mais de um mapa de espaços convexos para cada estrutura construída (em função dos critérios por vezes subjetivos de delimitação dos espaços convexos, não há um algoritmo que leve à unicidade da construção), observa-se que a distribuição $f(a)$ é robusta. Além disso, a distribuição $f(a)$ apresenta a propriedade da lei de escala e satisfaz:

$$f(a) \sim a^{-\beta}, \quad \beta = 1.6 \pm 0.2 \quad (4)$$

sendo o expoente β independente do assentamento, dentro das flutuações estatísticas indicadas. Essa lei de escala sugere que a diversidade de tamanhos dos espaços convexos resultantes do mapeamento segue uma distribuição robusta de áreas que indica um grande número de pequenos espaços convexos e um pequeno número de grandes espaços convexos.

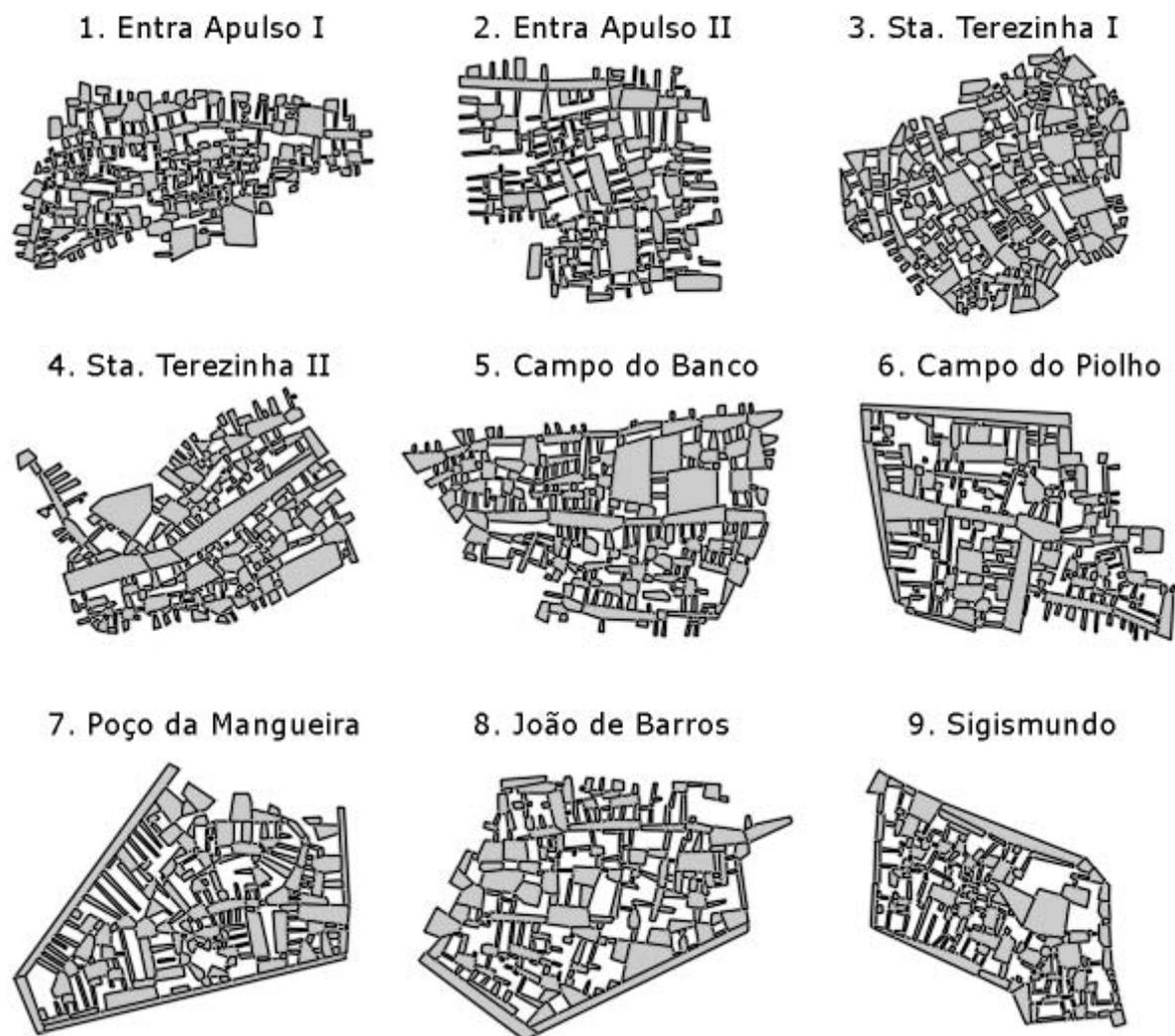
A figura 2.16 mostra o gráfico log-log correspondente à distribuição média $\langle f(a) \rangle$ referente às áreas de espaços convexos dos nove assentamentos (após dividir tais

espaços em classes de áreas e extrair a média das distribuições dos assentamentos apresentados na respectiva figura). No eixo horizontal do gráfico apresentado na figura os valores de a foram normalizados em relação à área do maior espaço convexo de cada assentamento. Afim de melhor ilustrar a robustez na distribuição de tamanhos dos espaços convexos, é exibida no gráfico menor da figura 2.16 a distribuição referente ao mapa de espaços convexos do assentamento 1 (Entra Apulso I) ilustrado na figura 2.15. Como se pode observar a partir dos gráficos, a distribuição média e a distribuição do assentamento 1 são praticamente iguais e apresentam o mesmo expoente β , dentro das flutuações estatísticas. Quando analisamos comparativamente os resultados das análises da frequência de ilhas e da frequência de espaços convexos, observamos que o valor do expoente β é estatisticamente o mesmo do expoente τ , apresentado na equação 1. Isso significa dizer que, assim como a estrutura de espaços abertos, todos os assentamentos analisados apresentam um padrão de distribuição similar para os elementos construídos, o que ao mesmo tempo sugere que a diversidade dos espaços construídos gera uma estrutura igualmente diversa de espaços vazios (e vice-versa).

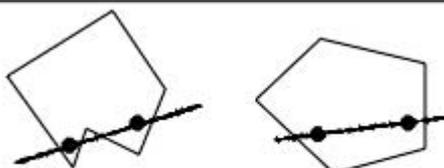
É interessante observar que tal similaridade na distribuição entre espaços convexos e ilhas, definida pela similaridade dos expoentes, indica uma forte relação entre o ambiente construído e a estrutura de espaços vazios. Tal correlação pode ser reforçada através da observação de outra variável que indica o grau de fragmentação, neste caso o *índice de articulação convexa* proposto por Hillier e Hanson (1984, p. 98), verificado nos assentamentos, que pode ser medido pela relação entre o número de espaços convexos e o número de edificações. Todos os assentamentos estudados apresentam um alto e similar *índice de articulação convexa*, isto é, o número de células (casas) se aproxima do número de espaços convexos, o que indica um alto padrão de fragmentação do sistema.

Espaços Convexos

a.



b.



A característica básica de um espaço convexo é que dois pontos quaisquer em seu interior podem ser ligados sem que a linha imaginária que os une ultrapasse os limites desse espaço.

Figura 2.15 - a. Mapas de espaços convexos dos nove assentamentos analisados em Recife. b. definição gráfica de espaço convexo.

Propriedades Espaciais dos Assentamentos em Recife

Assentamento 1	Assentamento 2	Assentamento 3
ENTRA APULSO I	ENTRA APULSO II	ST.TEREZINHA I
Nº Ilhas (I): 153	Nº Ilhas (I): 120	Nº Ilhas (I): 174
Nº Cél (e).: 313	Nº Cél (e).: 259	Nº Cél (e).: 280
Esp. Convexos (C): 313	Esp. Convexos (C): 263	Esp. Convexos (C): 397
Art.Conv: 1,00	Art.Conv: 1,02	Art.Conv: 1,42
Conv. Malha: 0,57	Conv. Malha: 0,54	Conv. Malha: 0,51
Densidade: 0,52	Densidade: 0,55	Densidade: 0,35
<hr/>		
Assentamento 4	Assentamento 5	Assentamento 6
ST.TEREZINHA II	CAMPO DO BCO	CP. DO PIOLHO
Nº Ilhas (I): 122	Nº Ilhas (I): 168	Nº Ilhas (I): 110
Nº Cél (e).: 221	Nº Cél (e).: 347	Nº Cél (e).: 323
Esp. Convexos (C): 228	Esp. Convexos (C): 259	Esp. Convexos (C): 217
Art.Conv: 1,03	Art.Conv: 0,75	Art.Conv: 0,67
Conv. Malha: 0,64	Conv. Malha: 0,75	Conv. Malha: 0,61
Densidade: 0,55	Densidade: 0,49	Densidade: 0,50
<hr/>		
Assentamento 7	Assentamento 8	Assentamento 9
PÇ.MANGUEIRA	J. DE BARROS	SIGISMUNDO
Nº Ilhas (I): 86	Nº Ilhas (I): 94	Nº Ilhas (I): 74
Nº Cél (e).: 275	Nº Cél (e).: 215	Nº Cél (e).: 197
Esp. Convexos (C): 201	Esp. Convexos (C): 222	Esp. Convexos (C): 210
Art.Conv: 0,73	Art.Conv: 1,03	Art.Conv: 1,07
Conv. Malha: 0,53	Conv. Malha: 0,52	Conv. Malha: 0,44
Densidade: 0,47	Densidade: 0,5	Densidade: 0,53

Tabela 2.1 - resumo dos principais parâmetros espaciais referentes aos nove assentamentos em Recife: o número de ilhas, de células (casas), de espaços convexos, a densidade e algumas propriedades sintáticas (baseadas na sintaxe espacial - Hillier e Hanson, 1984): a "articulação convexa" e a "convexialidade da malha". A articulação convexa é a relação entre o número de espaços convexos e o número de células, e indica o quanto o espaço vazio está fragmentado em espaços convexos. Quanto mais próximo de 1, mais fragmentado (quebrado) é o sistema de espaços vazios. A convexialidade da malha compara o número de espaços convexos existentes com o número mínimo que poderia existir em um mapa convexo de uma malha regular. Em outras palavras, indica o grau de deformidade da estrutura de espaços convexos. Valores próximos a 1 indicam pouca deformação, e vice-versa. Pode-se observar que os assentamentos apresentam um padrão bastante similar no que se refere à densidade (à exceção de Sta. Terezinha I) e às propriedades convexas. De maneira geral, as estruturas dos espaços abertos dos assentamentos são bastante fragmentadas (art. convexa ~ 1) e similarmente deformadas (convexialidade ~ 0.55).

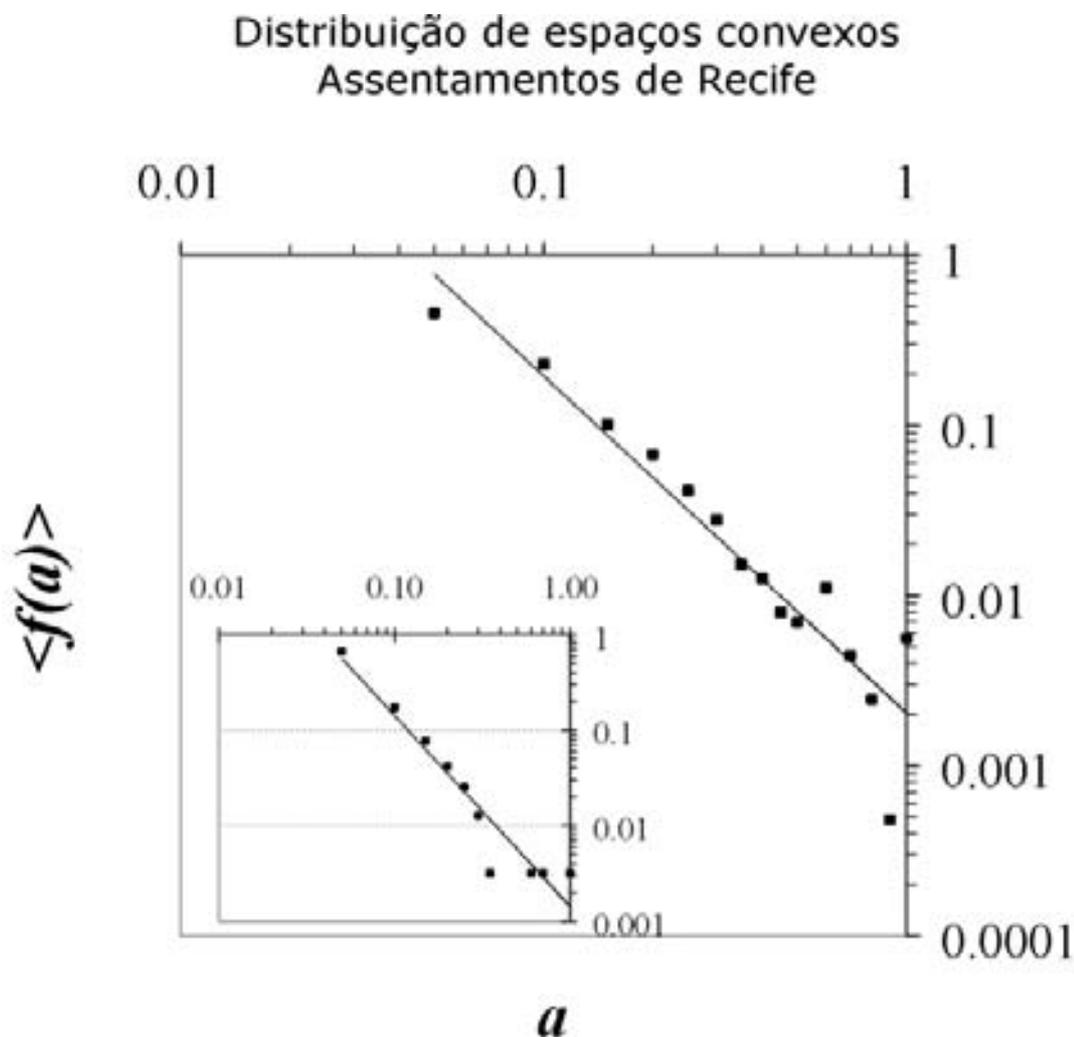


Figura 2.16 - Gráfico log-log correspondente à distribuição média $\langle f(a) \rangle$ referente às áreas de espaços convexos dos nove assentamentos (após dividir tais espaços em classes de áreas e extrair a média das distribuições dos assentamentos apresentados na respectiva figura). No eixo horizontal do gráfico apresentado na figura os valores de a foram normalizados em relação à área do maior espaço convexo de cada assentamento. O gráfico menor é referente ao mapa de espaços convexos do assentamento 1 (Entra Apulso I). Como se pode observar a partir dos gráficos, a distribuição média e a distribuição do assentamento 1 são praticamente iguais e apresentam o mesmo expoente β , dentro das flutuações estatísticas.

A tabela 2.1 apresenta um resumo das principais propriedades espaciais dos nove assentamentos de Recife: o número de ilhas, de células (casas), de espaços convexos, a densidade e algumas propriedades baseadas na Sintaxe Espacial (HILLIER; HANSON, 1984): a *articulação convexa* e a *convexialidade da malha*. A articulação convexa, como foi comentado, é a relação entre o número de espaços convexos e o número de células, e indica o quanto o espaço vazio está fragmentado em espaços convexos. Quanto mais próximo de 1, mais fragmentado (quebrado) é o sistema de espaços vazios. A convexialidade da malha compara o número de espaços convexos existentes com o número mínimo que poderia existir em um mapa convexo de uma malha regular. Em outras palavras, indica o grau de deformidade da estrutura de espaços convexos. Valores próximos a 1 indicam pouca deformação, e vice-versa. Pode-se observar que os assentamentos apresentam um padrão bastante similar no que se refere à densidade (à exceção de Sta. Terezinha I) e às propriedades convexas. De maneira geral, as estruturas dos espaços abertos dos assentamentos são bastante fragmentadas (articulação convexa média ~ 1) e similarmente deformadas (convexialidade média ~ 0.55).

2.2.6 Parâmetros globais a partir de informações locais

Sugerimos nesta tese que assentamentos irregulares, dentro de certas restrições espaciais e flutuações estatísticas, apresentam o mesmo padrão de fragmentação. Esses padrões ocorrem tanto para o espaço construído quanto para a estrutura de espaços vazios, e correspondem à distribuição de tamanhos dos elementos componentes (ilhas e espaços convexos, respectivamente). Com base nas evidências empíricas apresentadas até o momento, podemos mostrar que é possível estimar propriedades globais a partir de informações locais nesses assentamentos. Consequentemente, seria possível estimar parâmetros globais como área total, número de casas e população a partir de informações como o tamanho da maior ilha ou o número de casas isoladas. Obviamente, quanto mais desenvolvido e consolidado o assentamento (alta diversidade, grande

número de casas, e conseqüentemente maior volume de dados a serem analisados estatisticamente), mais precisa deverá ser a estimativa.

Afim de tornar claro para o leitor pouco familiarizado com a linguagem matemática, são apresentados a seguir alguns exemplos geométricos que descrevem de forma simplificada o método estatístico utilizado nesta análise estimativa. Como exemplo, serão apresentadas duas estruturas geométricas hipotéticas que representam, respectivamente, um assentamento regular e outro irregular. A figura 2.17a mostra uma malha regular, composta por um grupo de ilhas idênticas, distribuídas numa área em forma de quadrado. Neste caso pode-se observar que é realmente simples de se obterem parâmetros globais a partir de unidades locais observadas na estrutura regular. Por exemplo: pode-se observar que existem 16 ilhas dispostas linearmente, que cada ilha contém quatro células (casas) e que todas as ilhas são idênticas umas às outras. Cada célula tem, por definição, uma área a_h equivalente a 10m^2 . A partir dessas informações e da observação da figura em questão, pode-se diretamente concluir que a área de uma ilha A_i é 40m^2 ($A_i = 4 \cdot a_h$), a área construída total A é 640m^2 ($A = 16 \cdot 4 \cdot a_h$). Dividindo-se a área total pela área de cada casa (A/A_h), chegaremos ao número total de casas no assentamento (64 unidades). Se a população média por casa é 3, pode-se facilmente calcular a população total do assentamento ($P = 3 \cdot 4 \cdot 16 = 192$).

Uma outra forma de se calcular tais parâmetros globais é através de gráficos, como o apresentado na figura 2.17a. O gráfico apresenta a relação entre o número de ilhas $n(s)$ e o tamanho das ilhas s . A área sombreada do gráfico indica o número total de habitações ($N_h = n(s) \cdot s = 16 \cdot 4 = 64$). Trata-se de um procedimento simples, uma vez que o assentamento e o gráfico da figura correspondem a uma estrutura regular, caracterizada pela relação linear entre as partes (isto é, se uma ilha tem 4 casas, duas ilhas contém 8). Daí pode-se deduzir porque os planejadores têm priorizado a forma regular, quando o objetivo final é o controle sobre os dados do sistema em questão. Este tipo de esquema geométrico, apesar de todas as limitações sociais que acarreta (aspecto

que tem sido objeto de estudos ao longo das últimas décadas), tem sido comum ao longo da história do planejamento urbano, devido não apenas ao apelo estético, mas como podemos observar, especialmente pela facilidade de reprodução, controle, análise, medição e planejamento.

Se analisarmos a figura 2.17b, que se refere a um assentamento irregular, pode-se notar que a estrutura geral não está limitada por uma forma quadrada, nem por qualquer polígono regular. Nota-se também que o assentamento é composto por unidades (ilhas) de diversos tamanhos e formas, que se distribuem de forma irregular. Assim, parece impossível realizar o mesmo exercício de quantificação que foi realizado para o exemplo anterior, em que propriedades globais (população) eram estimadas a partir de informações locais (tamanho da ilha).

Aparentemente, o único meio de se obter tais parâmetros globais seria através da contagem de cada uma das ilhas e respectivos números de células, um procedimento que tornaria inviável qualquer tentativa de análise de assentamentos reais a partir de um esforço mínimo de computabilidade (quantificação de determinadas propriedades de um sistema). Por exemplo: para calcular a área total construída A do assentamento irregular na figura 2.17b, teríamos que multiplicar o tamanho s de cada classe de fragmentos (ilhas) pelo número total de fragmentos na referida classe $n(s)$, e pela área média a_h de cada casa, e no final somar as áreas referentes a todas as classes de tamanho. Mas, como temos mostrado ao longo desta tese, existe uma diferença entre sistemas desordenados e sistemas complexos. Quando os sistemas são complexos, eles seguem regras que podem ser medidas a partir de funções não lineares.

Fig.2.17 - geometria e funções

Geometria e Funções

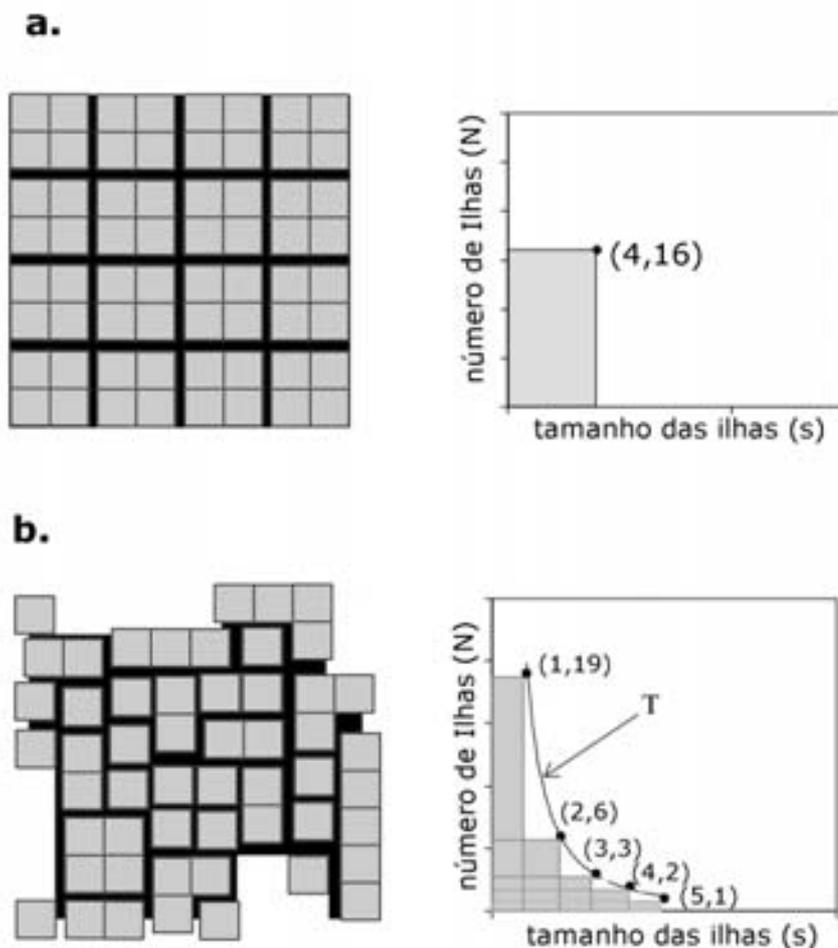


Figura 2.17 - Exemplos esquemáticos de duas estruturas urbanas e gráficos de distribuição de ilhas de acordo com os respectivos tamanhos. Nas estruturas urbanas, em preto são representadas as vias e em cinza cada célula quadrada representa uma casa. Em **(a)** não há diversidade no tamanho de ilhas e o gráfico ($N \times s$) corresponde a um único ponto, de forma que a área total construída pode ser extraída no gráfico através do simples produto entre as coordenadas (N) e (s) ($A = N \cdot s = 4 \times 16 = 24$). Em **(b)**, no entanto, nota-se que existe grande diversidade no tamanho de ilhas, como se pode verificar através das diversas coordenadas do respectivo gráfico $N \times s$. A área total, neste caso, seria a soma dos produtos de cada coordenada. Em sistemas de grande diversidade, conhecendo-se a inclinação do gráfico (T), pode-se estimar, através de cálculo integral, a área total, sem a necessidade de calcular cada um dos produtos do gráfico.

Pode-se observar, por exemplo, no gráfico da figura 2.17b - número de ilhas $n(s)$ em função do tamanho s , que a soma da área dos retângulos definidos pelas coordenadas $n(s)$ e s (áreas sombreadas) representa o número total de casas N_h . Mas a peculiaridade deste gráfico é que as coordenadas $n(s)$ e s seguem uma curva que corresponde a uma lei de potência (ou lei de escala, como vimos), isto é, a curva pode ser descrita por um expoente, o que significa dizer que existe uma lógica de distribuição entre o grande número de ilhas pequenas e o pequeno número de grandes ilhas. Portanto, observando-se o gráfico em questão, deduzimos que para se obter o número total de casas (ou o número de ilhas de qualquer tamanho) no assentamento irregular, precisaremos apenas saber o valor de uma variável local e o respectivo expoente τ (expoente de fragmentação do espaço construído). Neste estudo, verificamos que todos os assentamentos analisados apresentam distribuições de tamanho estatisticamente equivalentes (resguardadas as flutuações naturais decorrentes da natureza finita dos sistemas sob análise), tanto para os elementos construídos, quanto para a estrutura de espaços abertos. Passemos então às relações matemáticas. O leitor pode observar que a equação (3) é extremamente simples e econômica, pois depende de um simples parâmetro, que pode ser D (diversidade de tamanhos de ilhas no assentamento), ou $n(1)$ (número de ilhas com casas isoladas), considerando que todos os assentamentos apresentem o expoente comum τ . Aplicando-se a equação (3) para a média dos assentamentos analisados, pode-se calcular diversos parâmetros estatísticos de interesse a partir de uma simples integração, como será apresentado a seguir. A área total construída, A , é dada por:

$$A = \int_{s=1}^{s=D} \langle n(s) \rangle \cdot s \cdot a_h \cdot ds = \int_{s=1}^{s=D} (s/D)^{-\tau} \cdot s \cdot a_h \cdot ds = a_h \cdot \frac{[D^2 - D^\tau]}{2 - \tau} \quad (5)$$

$$A = a_h \cdot \frac{\langle n(1) \rangle^{2/\tau} - \langle n(1) \rangle}{2 - \tau} \quad (6)$$

Uma vez que a_h (área média por habitação) pode ser facilmente estimada, as equações (5) e (6) indicam que a área total construída é controlada por um simples parâmetro que pode ser a diversidade de tamanhos D ou o número de ilhas com casas isoladas $n(1)$. Além disso, o número total de habitações N_h , equivalente a (A/a_h) (área total construída dividida pela área média da unidade habitacional), pode ser estimado da seguinte forma:

$$N_h = \frac{[D^2 - D^\tau]}{2 - \tau} \quad (7)$$

ou

$$N_h = \frac{\langle n(1) \rangle^{2/\tau} - \langle n(1) \rangle}{2 - \tau} . \quad (8)$$

Se a população média por casa, p , é estimada de alguma forma, a população total do assentamento, P , pode ser também deduzida em função da diversidade do sistema D , ou de forma equivalente, em função de $n(1)$:

$$P = p.N_h = p. \frac{[D^2 - D^\tau]}{2 - \tau} \quad (9)$$

ou

$$P = p.N_h = p. \frac{\langle n(1) \rangle^{2/\tau} - \langle n(1) \rangle}{2 - \tau} . \quad (10)$$

Assim, a população total P de um assentamento é conhecida se D (ou $n(1)$) e τ são dados conhecidos, e vice-versa: podem-se estimar dados espaciais como diversidade e número de ilhas com tamanhos específicos a partir da população.

Uma outra quantidade de interesse é o número total de ilhas (N ou N_i) em determinado assentamento, que pode ser definido como:

$$N_i = \int_{s=1}^{s=D} n(s) \cdot ds = \frac{[D^\tau - D]}{\tau - 1} \quad (11)$$

ou

$$N_i = \int_{s=1}^{s=D} n(s) \cdot ds = \frac{\langle n(1) \rangle - \langle n(1) \rangle^{1/\tau}}{\tau - 1} . \quad (12)$$

Um interessante resultado, relacionado à densidade de ilhas de tamanho $s=1$ é extraído a partir da equação (12): considerando que $1/\tau$ equivale a 0.625, o termo $\langle n(1) \rangle^{1/\tau}$ resultará, numa primeira aproximação, num valor estatisticamente desprezível em comparação com o termo linear da equação (12), a qual passa a ser lida da seguinte forma:

$$\langle n(1) \rangle / N_i = \tau - 1 \cong 0,6 . \quad (13)$$

A relação entre o número de casas isoladas e o número total de ilhas num assentamento ($n(1)/N_i$) varia, nos nove assentamentos estudados, de 0.46 a 0.66, resultando numa média de 0.57. Este dado empírico está de acordo com a equação (13), o que reforça a robustez das funções apresentadas neste capítulo. Além disso, se substituirmos (13) em (8), teremos uma importante estimativa, que nos dá o número total de casas N_h em função do número total de ilhas, como se pode observar na equação (14):

$$N_h = \frac{(N_i(\tau - 1))^{2/\tau} - (N_i(\tau - 1))}{2 - \tau} . \quad (14)$$

De forma a testar algumas das equações propostas, foram realizadas estimativas para alguns dos assentamentos analisados, considerando para todos eles $\tau=1.6$. No caso do assentamento 6 (Campo do Piolho - Recife), que apresenta 110 ilhas ($N_i=110$), obtém-se a partir da equação (14) a estimativa do número total de casas (N_h) equivalente a 305 unidades. Para o assentamento 8 (João de Barros - Recife), $N_i=94$, a estimativa total é de 245 casas. Os valores reais de N_h (número de casas) para os respectivos assentamentos é de 323 e 215, isto é, a equação (14), nestes casos, resultou em valores de N_h apresentando um grau de incerteza da ordem de 6 a 10%, o que estatisticamente pode-se considerar uma estimativa de boa precisão.

Em resumo, o que se conclui de todas essas relações matemáticas é que conhecendo-se a distribuição de ilhas ou fragmentos de um sistema fragmentado em particular (neste caso as favelas), uma série de quantidades espaciais-estatísticas de interesse podem ser obtidas. Distribuições hiperbólicas dos tipos apresentados em (2) e (4) mostram-se robustas e universais quando aparecem numa série de problemas envolvendo distribuição espacial de fragmentos de sistemas estudados desde a Física à Geografia (BAK, 1997; BATTY; LONGLEY, 1994; MANDELBROT, 1983).

2.2.7 Assentamentos em Nairobi

É importante lembrar que o processo de evolução dos assentamentos analisados neste capítulo não está relacionado a um processo de pura dispersão sobre um espaço infinito, uma vez que os assentamentos intra-urbanos se desenvolvem sob a limitação de barreiras de crescimento. De fato, o desenvolvimento desses assentamentos ocorre como uma espécie de empacotamento (adensamento), dentro de espaços restritos de desenvolvimento (vazios urbanos). Nestes casos, à medida que o número de ilhas cresce, não é simplesmente o tamanho global do assentamento que se deve levar em conta, mas o crescimento da densidade à medida que o assentamento se consolida. Muitas vezes, o

tamanho global do assentamento já está pré-definido pelo vazio urbano sob ocupação, de forma que o tamanho global permanece o mesmo, crescendo apenas a densidade do sistema.

Se um assentamento fosse composto apenas por ilhas de tamanho 1 (casas isoladas), a densidade resultante seria consideravelmente baixa, devido ao número excessivo de espaços vazios entre as unidades. Neste caso, pode-se considerar que a ocupação resultante não é otimizada. Por outro lado, se a estrutura fosse composta por uma grande massa compacta de casas, a densidade seria altíssima, mas o assentamento não funcionaria devido à inexistência de uma rede de espaços abertos necessária à salubridade e à acessibilidade das unidades de moradia. Este seria, igualmente, outro caso em que não haveria otimização, pois o assentamento simplesmente não funcionaria. Ao que parece, portanto, a resposta espacial de um sistema descentralizado (sem uma entidade controladora central) que busca a otimização da ocupação, é a diversidade no tamanho das ilhas. E este parece ser o caso dos assentamentos espontâneos.

Essa relação entre limites, empacotamento e diversidade pode ser abordada a partir do exemplo empírico, ilustrado na figura 2.18: assentamentos espontâneos situados ao longo do Vale Mathare em Nairobi, Kenya.

O desenvolvimento de Nairobi como um centro urbano se iniciou a partir do projeto do governo britânico de colonização da África Oriental, cuja principal meta era a construção de ferrovias que ligassem Uganda à costa. Nairobi estaria a meio do caminho e serviria como base de abastecimento à ferrovia. Em 1962, quando o Kenya conquistou a independência, a população de Nairobi (que era de apenas 11.000 em 1902) chegava a quase 270.000 pessoas. Nairobi foi construída com base em políticas urbanas e planos administrativos voltados às populações europeia e asiática, apesar da maioria africana. Nos anos 70 um terço da população da cidade vive em dezenas de áreas ilegais espalhadas pela cidade, englobando assentamentos categorizados em urbanos, semi-

urbanos e rurais, nove dos quais estão situados ao longo do Vale Mathare. A ocupação do vale por assentamentos espontâneos se iniciou por volta de 1920, por grupos em sua maioria de origem africana (ETHERSON, 1976).

A atratividade do Vale como área de ocupação ilegal é justificável: a porção nordeste da cidade se desenvolveu ao longo da linha formada pelos rios Gitathuru e Mathare, de forma que a porção de terra entre os rios e a Avenida Juja (vide mapa da área central na figura 2.18), apesar de extremamente central, ficou por muito tempo fora das linhas de desenvolvimento da cidade. Nesta análise, são comparadas as estruturas espaciais de dois assentamentos: Village I (A) e NGEI I (B). Os dois assentamentos têm praticamente a mesma idade, mas que diferem nos padrões de uso e morfologia. O assentamento A é de uso tipicamente urbano e altamente denso, enquanto o assentamento B apresenta características rurais e estrutura morfológica dispersa, aspectos que podem ser evidenciados a partir da verificação de leis de escala.

Assentamentos em Nairobi

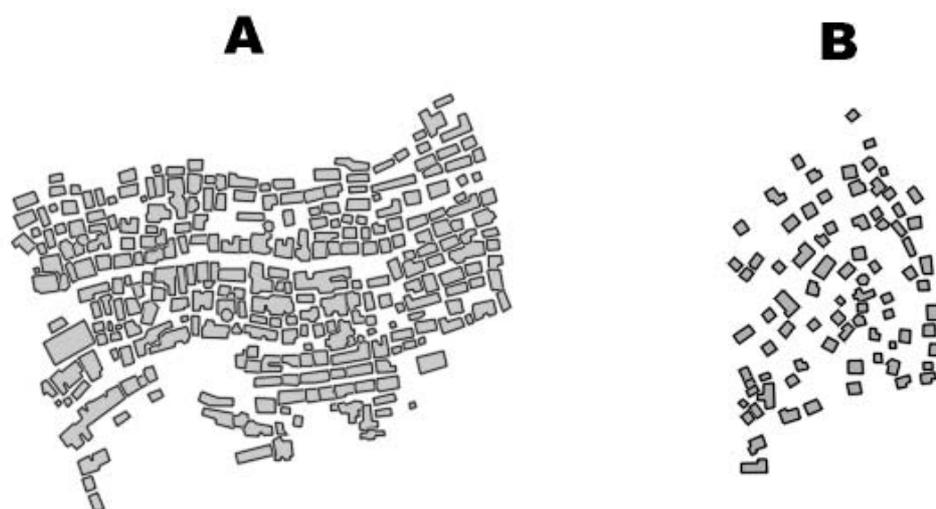
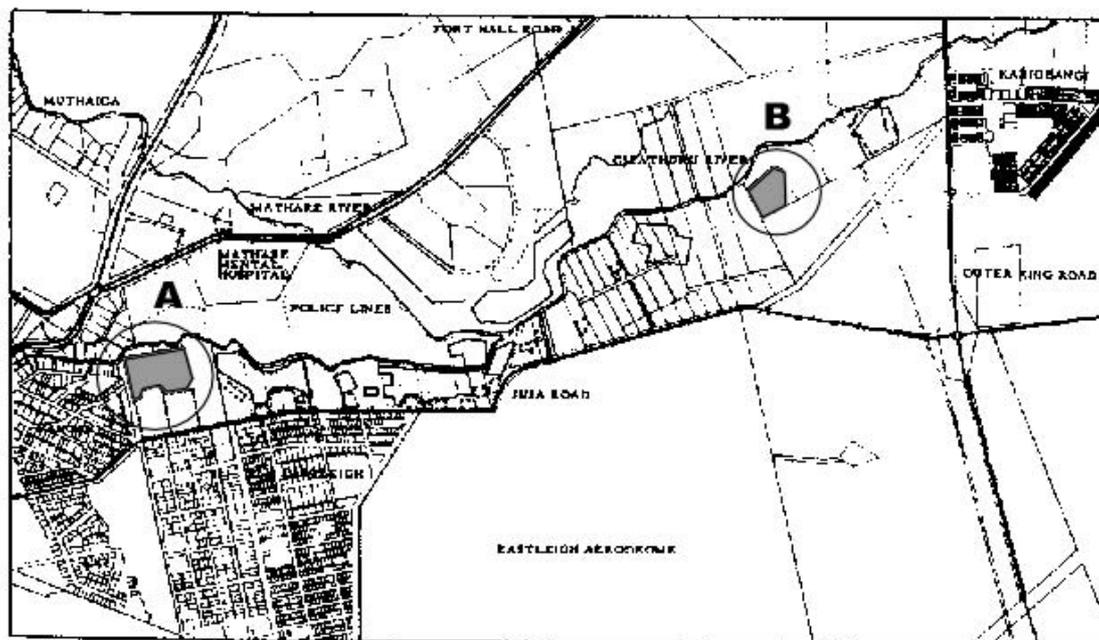


Figura 2.18 - Acima: visão geral da região central de Nairobi, incluindo o vale do rio Gitathuru e os arredores. As áreas sombreadas e circulares no mapa geral têm as suas estruturas detalhadas através de mapas específicos **A** e **B**.

A figura 2.18 apresenta uma visão geral da região central de Nairobi, incluindo o vale do rio Gitathuru e os arredores. Os assentamentos A e B estão destacados (área sombreada e circulada) no mapa geral e têm as suas estruturas detalhadas através de mapas específicos. Nos mapas dos assentamentos, os aglomerados sombreados correspondem às ilhas e cada célula corresponde a uma casa. O assentamento Village I é completamente cercado por barreiras que restringem a sua expansão: à esquerda e abaixo por estruturas urbanas de alta densidade; acima pelo rio; abaixo por uma via urbana e à direita por limites de propriedade. Por outro lado, o assentamento NGEI I, situado fora da malha urbana, está relativamente livre de barreiras em seu entorno imediato, sejam elas naturais ou urbanas.

Analisando-se o mapa detalhado das estruturas construídas, podemos observar claramente a grande diferença na configuração desses assentamentos: o assentamento B é praticamente composto por ilhas de tamanho 1 (casas isoladas), dispersas em uma estrutura de baixa densidade, devido à ausência de pressão urbana. Já o assentamento A apresenta alta densidade (empacotamento) e uma boa diversidade de tamanhos de ilhas (tamanhos 1 a 8), o que indica um alto grau de complexidade em relação ao assentamento B. E o que é mais importante: a distribuição dos tamanhos de ilhas, $f(s)$, para o assentamento A, segue uma lei de potência (lei de escala), definida por um expoente que está dentro da flutuação estatística dos assentamentos de Recife (1.6 ± 0.2) - figura. 2.19.

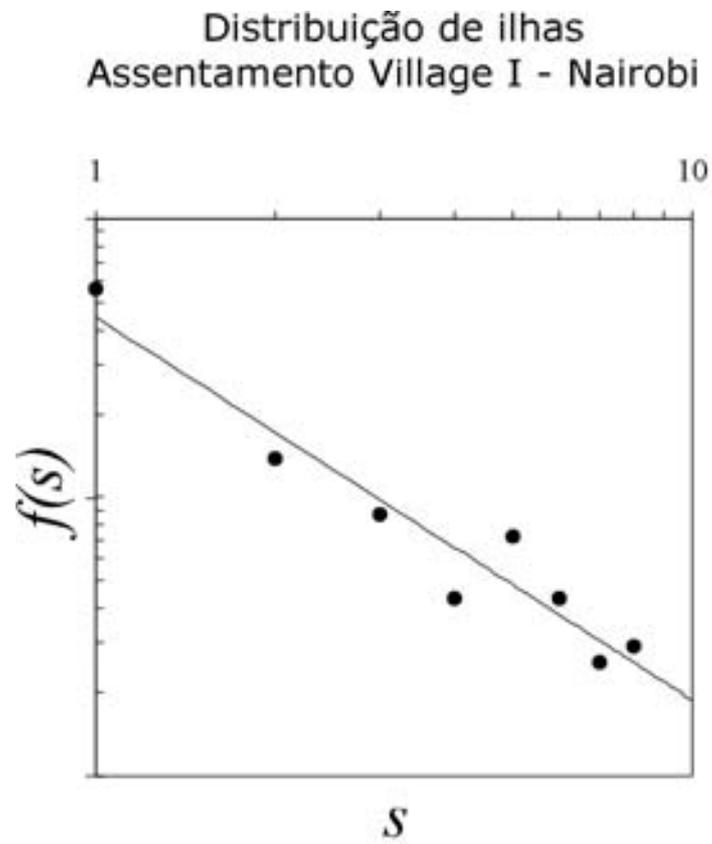


Figura 2.19 - a distribuição dos tamanhos de ilhas, $f(s)$, para o assentamento A, segue uma lei de potência (lei de escala), definida por um expoente que está dentro da flutuação estatística dos assentamentos de Recife (1.6 ± 0.2).

2.2.8 Recife, Nairobi e Bangkok - padrões universais

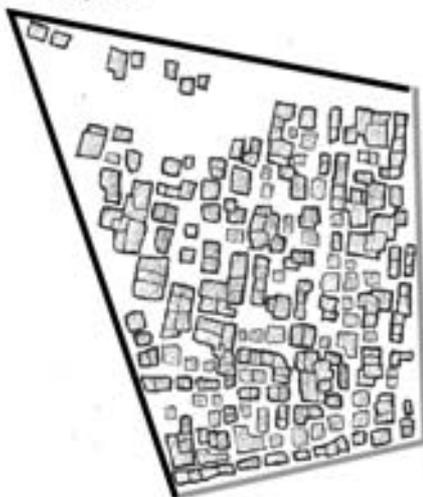
Na figura 2.20, apresentamos os assentamentos Village I (Nairobi), Manangkasila (Bangkok) e Entra Apulso (Recife). As ilhas construídas, nos mapas apresentados, são representadas por polígonos cuja diversidade de tamanhos e formas resulta das diferentes combinações das unidades de moradia. Nos três exemplos, nota-se um grande número de pequenas ilhas (casas isoladas) e um pequeno número de ilhas maiores, indicando a lógica de distribuição entre as escalas (fragmentação) à qual nos referimos nas seções anteriores. Pode-se observar na referida figura que os assentamentos são cercados por uma combinação de barreiras, que podem ser atrativas (linhas na cor cinza, referentes a vias de acesso e linhas de infra-estrutura), ou não-atrativas (linhas na cor preta, referentes a limites de propriedade, canais e barreiras geográficas ou naturais).

Nesta seção apresentamos uma análise comparativa em que assentamentos de Recife e Nairobi (já apresentados nas seções anteriores) são analisados em comparação com um assentamento em Bangkok, capital da Tailândia. Bangkok é uma das maiores cidades asiáticas. Em 1975, a população da cidade, que é o centro político, econômico e cultural do país, já superava os 4 milhões de habitantes. No aspecto físico, algumas limitações como o grande número de áreas sujeitas a inundações, interferem no crescimento metropolitano da cidade (DRAKAKIS-SMITH, 1981). Um dos maiores problemas enfrentados pela administração da capital é sem dúvida o déficit habitacional, embora os dados a este respeito ainda sejam vagos e incertos. Estudos de meados dos anos 80 revelam que havia, naquela época, cerca de 1020 assentamentos espontâneos na cidade, dos quais cerca de 270 estavam sob risco de expulsão. De um total de 5,5 milhões de habitantes (população em 1985), estimava-se que mais de um milhão de pessoas viviam em assentamentos informais (ANGEL; BOONYABANCHA, 1988).

Village I - Nairobi



Manangkasila - Bangkok



Entra-Apulso - Recife



Figura 2.20 - Exemplos de mapas de assentamentos em Recife, onde são indicados em cinza escuro as bordas atrativas (vias, linhas de infra-estrutura) e em cinza claro as bordas não atrativas (limites de propriedade).

Manangkasila é um dos mais antigos assentamentos (as primeiras ocupações ocorreram por volta de 1940). Trata-se de uma ocupação em propriedade pública, numa área situada ao longo de uma linha ferroviária, próxima ao centro da cidade e adjacente a uma via comercial de grande fluxo. Os três assentamentos ilustrados na figura 2.20 são intra-urbanos e estão cercados por barreiras que condicionam o seu desenvolvimento.

O espaço urbano em que está localizado o assentamento Village I, em Nairobi, é cercado na face superior pela margem de um rio, nas faces inferior e direita por limites de propriedade e na face esquerda por uma via urbana local, que conecta o assentamento aos principais serviços e infra-estrutura. No caso de Manangkasila, em Bangkok, as bordas atrativas estão nas faces direita e inferior, e se referem a vias de circulação da malha urbana formal, enquanto nas faces superior e direita o assentamento é cercado por divisas de propriedade. O assentamento Entra-Apulso, em Recife, margeia um shopping center em sua face superior, é cercado por vias de acesso ao shopping nas faces direita e esquerda, e por divisas de propriedade na porção inferior. Nota-se, que a forma das barreiras parece conformar a configuração dos três assentamentos, de maneira que a irregularidade do polígono imaginário que contorna a área ocupada acaba interferindo na forma em que as casas se agrupam.

Mas o interessante é que os diferentes formatos do entorno não necessariamente afetam a universalidade dos padrões geométricos, que se refletem na multiplicidade de escalas da estrutura espacial. Essa universalidade é ilustrada na figura 2.21, em que os três assentamentos são analisados em função de suas estruturas morfológicas, mais especificamente, em relação aos padrões de fragmentação e diversidade. Esse padrão de fragmentação ao qual nos referimos, vale lembrar, é obtido através da análise estatística das ilhas, isto é, mede-se a frequência de ilhas compostas por s casas contíguas em cada assentamento. A variável s refere-se à medida de tamanho (ou área) de cada ilha. Uma ilha composta por cinco casas, por exemplo, terá tamanho s equivalente a cinco. A distribuição de tamanho de ilhas dos assentamentos apresentados na figura 2.21

obedece a relação de escala definida por $f(s) \sim s^{-\tau}$, em que $\tau = 1.6 \pm 0.2$ para qualquer um dos assentamentos. Na respectiva figura, o gráfico da esquerda é uma distribuição logarítmica entre $f(s)$ (frequência de ilhas) e s (tamanho das ilhas). A variável $\langle f(s) \rangle$, neste caso, se refere à média, entre os três assentamentos estudados (ilustrados na figura), de cada tamanho de ilha normalizado em função do número total de ilhas em cada assentamento. A linha contínua no gráfico representa o melhor ajuste da distribuição, e corresponde a:

$$\langle f(s) \rangle = \langle f(1) \rangle s^{-\tau} ; \langle f(1) \rangle = 0.53 \pm 0.1 ; \tau = 1.6 \pm 0.2 ; 1 < s < s_{\max} = 10 ,$$

onde $\langle f(1) \rangle$ é a média (entre os três assentamentos) do número de ilhas compostas por apenas uma casa, dividido pelo número total de ilhas, isto é, $\langle f(1) \rangle = \langle n(1) \rangle / N$.

A outra variável analisada é a diversidade, representada no gráfico ao lado direito da figura 2.21 pela variável D . Vimos em seções anteriores que essa diversidade de tamanhos tem sido identificada em estudos de dinâmicas de fragmentação como uma medida da complexidade de um sistema fragmentado. Vale lembrar que a diversidade, neste caso, se refere aos diferentes tamanhos de ilha existentes em um assentamento. Por exemplo, se um assentamento contém ilhas de tamanho 1, 2, 3, 4 e 5, isto significa que a diversidade no assentamento é cinco, pois existem cinco classes de tamanho de ilhas. O referido gráfico mostra como a diversidade cresce, em função do tamanho do assentamento (representado pelo número total de ilhas da área analisada). Para examinar essa relação entre diversidade e tamanho, foram definidos, como anteriormente, grupos crescentes de regiões irregulares dentro de cada assentamento, de forma que cada grupo contivesse $N = 1, 10, 20, 30, 50, 50, \dots 80$ ilhas. A dependência entre diversidade e número de ilhas (tamanho do assentamento) é representada através do gráfico logarítmico ($D \times N$), que representa a média de distribuição entre os três

assentamentos. A linha contínua no gráfico representa o melhor ajuste da distribuição, e corresponde à função:

$$\langle D \rangle = 1,1 N^{0,48} ; 1 < N < 80 .$$

Esta relação diz que a diversidade do tamanho de ilhas em um assentamento espontâneo cresce de acordo com a raiz quadrada do número total de ilhas. Tal relação de escala, como já foi comentado anteriormente, coincide com experimentos e simulações computacionais (STOSIC; GOMES, 2000) que têm estudado a evolução da diversidade em um sistema fragmentado, à medida que o seu tamanho global (número de fragmentos) cresce.

2.2.9 Limites, empacotamento e diversidade

Ao longo das seções anteriores foram definidas funções de distribuição espacial associadas à estrutura fragmentada de assentamentos espontâneos e a partir dessas funções uma série de estimativas de interesse foram derivadas. Em particular, vale destacar a importância da variável diversidade de tamanhos D , elemento fundamental na obtenção de outras quantidades espaciais envolvidas nas equações apresentadas. Acredita-se que as funções de distribuição (leis de escala) apresentadas nas equações (3) e (4) são robustas e *universais*, isto é, elas controlam aspectos estatísticos de todos os assentamentos intra-urbanos, *independente de particularidades culturais e político-geográficas*. É interessante observar, no que se refere à densidade, que os assentamentos analisados na Tailândia, no Kenya e no Brasil apresentam estatisticamente o mesmo padrão de adensamento, $p = A_c/A_t$ (razão entre área construída e área total). Essa fração ou densidade média de empacotamento $\langle p \rangle$ para os três assentamentos é da ordem de $0,52 \pm 0,02$ (figura 2.22).

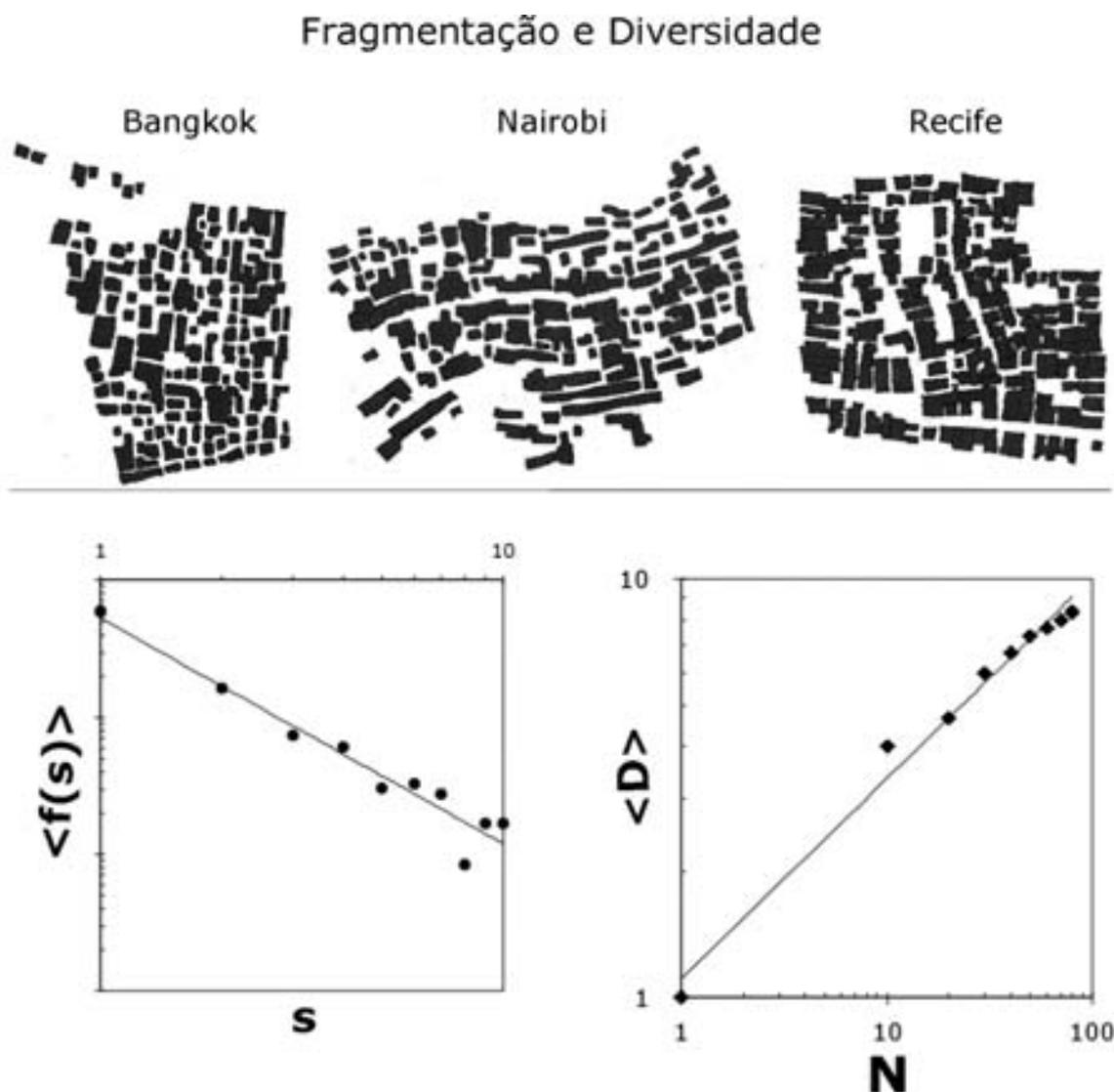


Figura 2.21 - na parte superior são apresentados mapas de assentamentos espontâneos em Bangkok, Nairobi e Recife. O gráfico da parte inferior esquerda é uma distribuição logarítmica entre $f(s)$ (freqüência de ilhas) e s (tamanho das ilhas). A variável $\langle f(s) \rangle$, neste caso, se refere à média, entre os três assentamentos estudados (ilustrados na figura), de cada tamanho de ilha normalizado em função do número total de ilhas em cada assentamento. A distribuição de tamanho de ilhas dos assentamentos obedece a relação de escala definida por $f(s) \sim s^{-\tau}$, em que $\tau = 1.6 \pm 0.2$ para a média dos assentamentos. A dependência entre diversidade e número de ilhas (tamanho do assentamento) é representada através do gráfico logarítmico $D \times N$, que representa a média de distribuição entre os três assentamentos. A linha contínua no gráfico representa o melhor ajuste da distribuição, e corresponde à função: $\langle D \rangle = 1,1 N^{0,48}$; $1 < N < 80$. Esta relação diz que a diversidade do tamanho de ilhas em um assentamento espontâneo cresce de acordo com a raiz quadrada do número total de ilhas.

Padrões de empacotamento

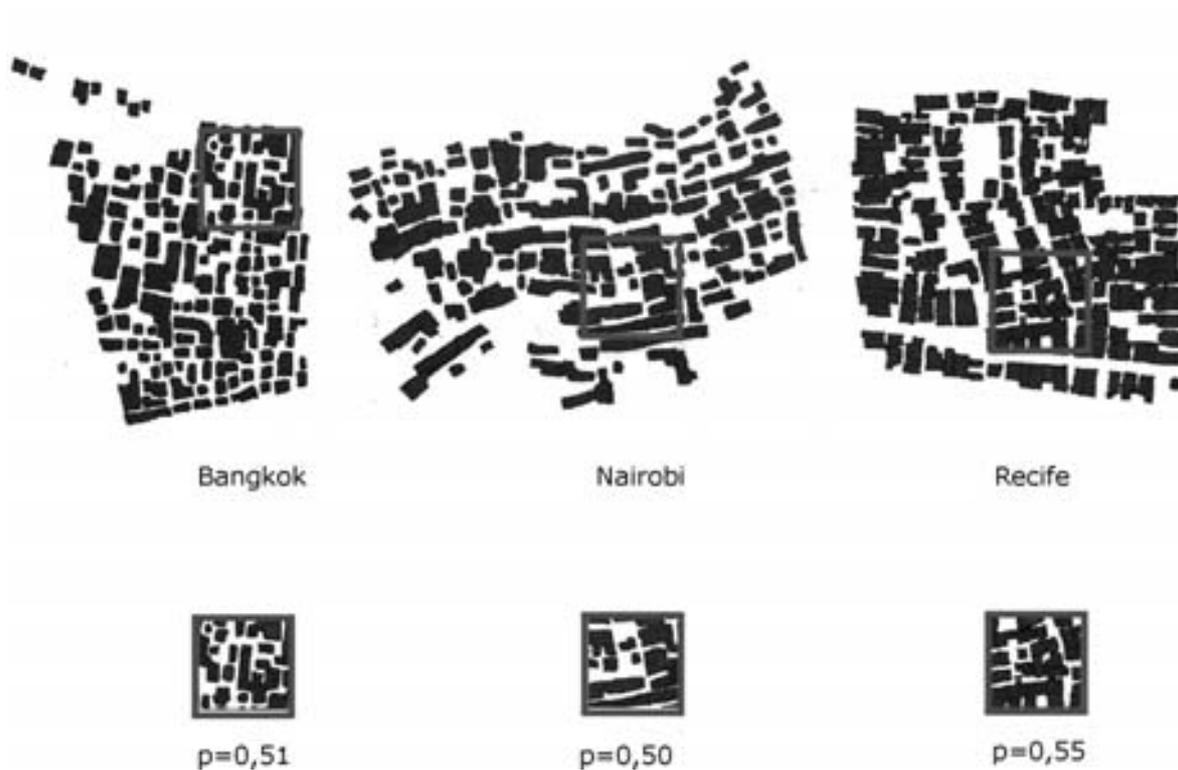


Figura 2.22 - os assentamentos analisados na Tailândia, no Kenya e no Brasil apresentam estatisticamente o mesmo padrão de adensamento, $p=A_c/A_t$ (razão entre área construída e área total). Essa fração ou densidade média de empacotamento $\langle p \rangle$ para os três assentamentos é da ordem de $0,52 \pm 0,02$ (figura 2.22). Ao que parece, o processo descentralizado de ocupação leva o sistema a um estado de consolidação caracterizado por índices de adensamento também universais.

Ao que parece, o processo descentralizado de ocupação leva o sistema a um estado de consolidação caracterizado por índices de adensamento também universais. O aspecto do adensamento está diretamente associado a uma característica importante observada nos assentamentos cuja morfologia é descrita por leis de escala: são todos assentamentos intra-urbanos, isto é, estão incrustados na malha urbana das cidades, e sujeitos a condições de restrição espacial. Argumenta-se que o desenvolvimento desses assentamentos ocorre não através da dispersão, mas como uma espécie de processo de empacotamento. Consequentemente, como os limites espaciais do assentamento já estão definidos (caso da maioria dos vazios urbanos onde em geral se desenvolvem as favelas), a diversidade de tamanhos das ilhas e a alta densidade são as respostas do sistema na busca pela otimização (descentralizada) no uso dos espaços. Como resultado, emerge uma estrutura fragmentada que é típica dos assentamentos informais limitados por barreiras de crescimento. Esses resultados parecem indicar uma ordem determinística, em que as barreiras são a causa, o empacotamento é o efeito e a diversidade é o meio.

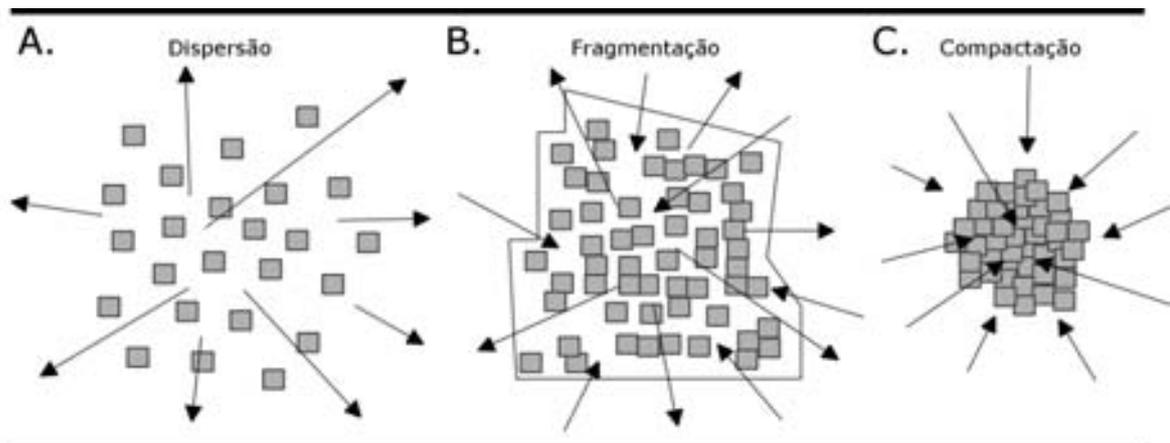
Podemos ilustrar essa lógica entre diversidade e otimização do espaço a partir de três exemplos teóricos de aglomeração de células (figura 2.23) que representam, respectivamente, processos de dispersão, fragmentação e de compactação, e que dependem da combinação entre forças de ocupação e barreiras de desenvolvimento.

No caso da dispersão, ilustrada no figura 2.23a, temos uma força unidirecional de expansão (do centro para as bordas) e a ausência de barreiras. Trata-se de um processo em que as células são adicionadas de forma dispersa, resultando numa estrutura de baixa densidade, de tamanho teoricamente infinito, repleta de espaços vazios entre as células, e ausência de diversidade no tamanho das ilhas (a estrutura, neste caso, é formada unicamente por células isoladas). Devido ao grande número de espaços vazios entre as células, resultando numa estrutura de baixa densidade, podemos dizer que, para fins urbanos, trata-se de uma ocupação não otimizada do espaço.

No outro extremo está o processo de compactação, ilustrado na figura 2.23c, caracterizado por uma força unidirecional de adensamento (das bordas para o centro) e também pela ausência de restrições espaciais. A estrutura resultante é um aglomerado maciço, marcado pela inexistência de espaços vazios entre as células, pela inexistência de barreiras e pela ausência de diversidade no tamanho das ilhas (a estrutura é formada por uma única ilha). Devido à altíssima densidade e à completa inexistência de espaços vazios podemos concluir que também não há otimização neste processo, uma vez que a estrutura resultante é inadequada para fins de ocupação urbana.

Entre esses dois extremos está o processo de fragmentação, ilustrado na figura 2.23b, caracterizado pela tensão entre duas forças de ocupação e pela presença de barreiras que limitam o crescimento. De um lado está a força de expansão, do centro para as bordas, que traduz a necessidade de crescimento da estrutura; de outro a força de compactação, da borda para o centro, que traduz a necessidade de otimização na ocupação de um espaço que é limitado. A estrutura resultante será uma combinação de agrupamentos de células de diversos tamanhos, que são intercalados por espaços vazios. Neste caso verifica-se um alto grau de diversidade, e um nível razoável de adensamento (ou empacotamento).

Essa combinação entre diversidade, espaços vazios e adensamento, gera uma estrutura que para fins urbanos é otimizada. Afinal, a estrutura resultante é compacta o suficiente para permitir o maior número possível de células dentro do espaço limitado, e dispersa o suficiente para permitir a circulação entre as células, o mínimo de salubridade e a relativa funcionalidade geral da estrutura (circulação, ventilação, drenagem, iluminação), considerando, evidentemente, as limitações de ordem social e econômica.



Três exemplos teóricos de aglomeração de células que representam, respectivamente, processos de dispersão (A), fragmentação (B) e de compactação (C), que dependem da combinação entre forças de ocupação e barreiras de desenvolvimento.

Na dispersão (A) não há barreiras e as forças são exclusivamente de expansão. O resultado é baixa densidade (grande parcela de espaços vazios) e diversidade mínima (células isoladas), resultando numa estrutura cuja organização espacial é não-otimizada: densidade muito baixa e circulação exagerada.

Na compactação (C), as forças são exclusivamente em direção ao centro (compactantes) e não há bordas. O resultado é uma estrutura de altíssima densidade, diversidade mínima (o sistema é composto por uma única célula compacta) e ausência de circulação interna. Por consequência, o espaço resultante é também não-otimizado: densidade exagerada e inexistência de circulação.

Na fragmentação (B), há uma tensão entre forças de expansão e de compactação, e existem bordas que limitam o crescimento. Por consequência da tensão e da restrição espacial, a estrutura resultante apresenta alta diversidade (as células se agrupam em ilhas de diversos tamanhos) e existe um equilíbrio entre densidade e espaços vazios, gerando uma estrutura espacial otimizada.

Figura 2.23 - Exemplos de dispersão, fragmentação e compactação.

Enfim, quando há pressão urbana combinada a restrições espaciais de ocupação o resultado é uma estrutura complexa, dominada por leis de escala e níveis de adensamento que indicam a otimização na ocupação dos espaços. Por outro lado, quando no processo não há restrições espaciais, nem existe tensão entre as forças de ocupação, a resposta é trivial: ou células isoladas, distribuídas de forma dispersa e desordenada; ou um único aglomerado, sem a necessária estrutura de espaços vazios entre as células.

2.2.10 Distribuição de assentamentos nas cidades

Nos países do terceiro mundo em especial, as cidades revelam-se mais nitidamente como objetos fragmentados (BALBO, 1993). Esse caráter fragmentário da organização espacial das cidades está na sucessão e eventual sobreposição de elementos no tecido urbano, incluindo as áreas planejadas, os assentamentos ilegais, cortiços, vazios urbanos, áreas institucionais, *shopping centers*, conjuntos habitacionais periféricos e corredores comerciais informais. As cidades são o resultado da combinação dinâmica (em constante mutação) de fragmentos, que por sua vez são resultado da combinação de outros fragmentos menores, numa espécie de ordem hierárquica.

Dentro desse mosaico de fragmentos que compõem as cidades, as favelas são um exemplo típico. São ao mesmo tempo fragmento e estrutura fragmentada: numa escala, como vimos, elas são o próprio sistema complexo, composto pelo aglomerados de casas e pelos emaranhados de becos, resultantes da ação descentralizada de agentes em busca de espaços de moradia; em outra escala, são as partes que interagem espacialmente com o todo complexo que é a cidade.

Se as favelas, em sua estruturação interna, são caracterizadas por uma ordem implícita e não-linear de organização, o que dizer da fragmentação desses assentamentos espontâneos nas cidades? Será que existe algum tipo de padrão semelhante?

Ao analisar a distribuição de assentamentos espontâneos em mapas de cidades do terceiro mundo, notamos uma certa similaridade no padrão de fragmentação. Sob o olhar euclidiano, as cidades pareceriam todas igualmente desordenadas, afinal, que lógica haveria em uma dezena de manchas irregulares, dispostas de forma aparentemente aleatória, sobre uma malha também irregular? Ao observar um mapa isoladamente, essa é realmente a primeira impressão. Mas se pusermos lado a lado os mapas das cidades, veremos que a aparente desordem recorrente pode significar uma ordem implícita. É o que observamos ao analisarmos a distribuição de assentamentos em quatro cidades: Kuala Lumpur, na Malásia; Manila, nas Filipinas; Recife, no Brasil e Lima, no Peru.

A Malásia enfrenta um alto índice de déficit habitacional, fato que se agrava nos grandes centros urbanos como a capital, Kuala Lumpur, que entre 1947 e 1970 sofreu um crescimento de 291.000 para 783.000 habitantes, em grande parte devido a migrações internas, da zona rural para a urbana. Em 1975, cerca de 37% da população vivia em assentamentos espontâneos, que ocupavam na época cerca de 13% da área total da cidade (DWYER, 1981). Habitação, na Malásia, é uma questão de responsabilidade estadual, apesar do governo federal oferecer assistência na forma de empréstimos e consultoria técnica.

O número de pessoas que habitavam assentamentos espontâneos em Manila, capital das Filipinas, em 1963, era de quase 300.000, comparados com os 98.000 em 1956 e 23.000 em 1946. Mas foi entre as décadas de 60 e 70 que a cidade sofreu uma grande explosão demográfica e o conseqüente crescimento no número de habitantes em situação ilegal. Em 1970 o número de assentamentos alcançou 30% da população, que à época já ultrapassava os 3.7 milhões. Segundo estimativas, em 1973 cerca de 1.300.000 pessoas viviam em assentamentos espontâneos (DWYER, 1981).

Como outras capitais brasileiras, Recife é palco de severos contrastes sociais, que se evidenciam no espaço urbano através da informalidade urbana, mais especificamente das

ocupações irregulares. De toda a população recifense, cerca de 50% residem em cerca de 600 favelas e apenas 30% é atendida por sistemas de esgoto (cobertura que corresponde a 18% da área ocupada na cidade) - dados IBGE (ROCHA; RANGEL; FREIRE, 1996). A atual formação de favelas na cidade é resultado de um contínuo processo de consolidação, iniciado com a formação dos primeiros mocambos na cidade e renovado a cada nova transformação urbana (espontânea ou planejada) sofrida pela cidade ao longo de sua história, levando às mutações morfológicas que caracterizam a dinâmica espacial de Recife. Em 1939, no auge das campanhas de erradicação dos mocambos, o percentual da população que vivia na informalidade ultrapassava os 30%. Tais iniciativas, ao contrário de reduzir a informalidade ou de gerar melhoria na qualidade de vida, simplesmente empurraram as favelas para as bordas da cidade para serem mais uma vez, no futuro (presente atual) cercadas pela mesma cidade que as expulsou. Só em 1983 é que a legislação de uso e ocupação do solo começou a admitir e incluir nos programas de urbanização ações voltadas para as favelas de Recife. Nesse ano foram criadas as ZEIS - Zonas Especiais de Interesse Social, com restrições urbanísticas que buscavam desestimular a especulação imobiliária. Na definição da lei, as ZEIS seriam assentamentos habitacionais, surgidos espontaneamente, existentes e consolidados, onde são estabelecidas normas urbanísticas especiais, no interesse social de promover a sua regularização jurídica e sua integração na estrutura urbana (ROCHA; RANGEL; FREIRE, 1996).

A cidade de Lima, até 1870, se desenvolveu predominantemente dentro das muralhas do período colonial. Apenas após meados do século XIX é que a cidade se expande além dos muros e cresce em direção às terras agrícolas do sul. Em 1900 a população era de aproximadamente 100.000 habitantes. Cinquenta anos depois, a população já era de aproximadamente 840.000 pessoas vivendo na área urbana. Em meados dos anos 70 a população já ultrapassava os 3.000.000 de habitantes. Como em muitas cidades latino-americanas, o déficit de moradias e a ausência de políticas extensivas de política habitacional levou ao crescimento da informalidade, e ao surgimento das *barriadas*.

Ainda segundo Dwyer (1981), entre os anos 50 e 60 a população nas barriadas cresceu de 120.000 para cerca de 800.000. Nos anos 70, cerca de 40% da população vivia em assentamentos informais.

De fato, há muito em comum entre essas quatro cidades. No aspecto social, todas são marcadas por profundos contrastes, déficits habitacionais, problemas de política urbana, infra-estrutura, descontinuidade de planejamento... Mas será que essas coincidências se refletem na distribuição de escalas dos assentamentos espontâneos?

A análise da distribuição de assentamentos em Kuala Lumpur, Manila Recife e Lima (figura 2.24) parece responder parcialmente a essa questão. Para efetuar a análise foram digitalizados os mapas de cada cidade, e os assentamentos agrupados em intervalos de área. Para cada cidade foram computados o número de assentamentos dentro de cada intervalo, e os resultados foram lançados em gráfico log-log de $N(a)$ (número de assentamentos) em função de a (intervalo de área). Os resultados indicam a existência de leis de escala do tipo $N(a) \sim a^{-\alpha}$, onde α é um expoente robusto da ordem de $1,3 \pm 0,2$. O expoente negativo, assim como nas funções apresentadas anteriormente, indica uma ordem hierárquica caracterizada por um grande número de pequenos assentamentos, um número pequeno de grandes assentamentos, e uma distribuição lógica entre as diversas escalas. Conclui-se que os assentamentos espontâneos se distribuem de forma estatisticamente similar, em cidades de países de terceiro mundo. Mas é importante que esta hipótese seja exaustivamente testada a partir de outros estudos empíricos, de forma a traçar os limites de universalidade das evidências apresentadas. Deve-se ressaltar que o expoente $1,3 \pm 0,2$ encontrado aqui é o mesmo, dentro das incertezas estatísticas, que os expoentes $\beta = 1,6 \pm 0,2$ e $\tau = 1,6 \pm 0,2$, os quais controlam, respectivamente, as distribuições do espaço convexo e do espaço construído dentro de uma favela.

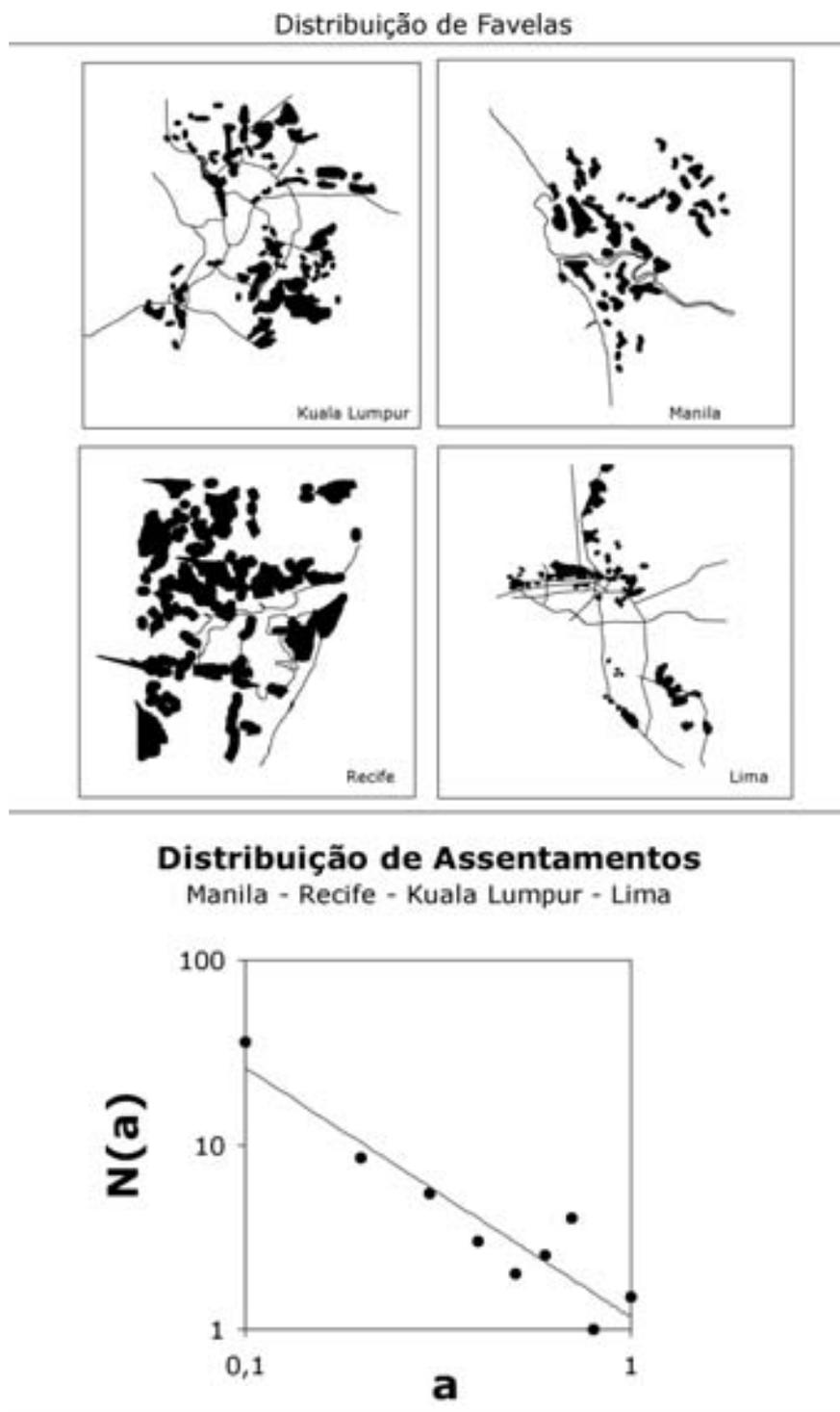


Figura 2.24 - Acima: mapas esquemáticos de quatro cidades (Kuala Lumpur, Manila, Recife e Lima), com a indicação de localização e tamanho dos assentamentos informais de baixa-renda. Parte inferior: gráfico de distribuição do número de assentamentos ($N(a)$) de acordo com as classes de tamanho (a), indicando a média entre as quatro cidades. O valor do expoente que indica a distribuição de tamanhos (inclinação do gráfico) apresenta, dentro das margens de erro, o mesmo valor obtido para as estruturas internas dos assentamentos.

Mas enfim, de que servem os números? É verdade que muitas vezes a análise fractal, como é apresentada por alguns autores, mais nos parece uma mera lista de números, com pouco significado ou aplicabilidade. Poderíamos nos perguntar, por exemplo: para que nos serve saber que a dimensão fractal de malha (d_m) de Londres é 1.72, enquanto sua dimensão fractal radial (d_r) é 1.99 ? Qual a utilidade existente na informação de que Boston apresenta d_m equivalente a 1.69, enquanto em Budapest a d_m é próxima de 1.72? Se as cidades são fractais por natureza, o que significa tal diversidade de valores?

Evidentemente, há autores como Salinger e West (1999) que têm se utilizado desse tipo de evidência estatística como instrumento retórico na definição de postulados estéticos, como a idéia de que objetos que dão prazer emocional revelam uma consistente distribuição de sub-elementos, uma espécie de hierarquia que define a distribuição de unidades de acordo com o tamanho. Segundo o argumento dos autores, os objetos que agradam aos olhos são aqueles que obedecem distribuições de lei de potência. Em outras palavras, as melhores criações (sejam nas artes plásticas, na arquitetura ou no urbanismo) seriam aquelas compostas por elementos nas mais diversas escalas. O que nos agradaria nos edifícios ou em uma cidade seria a mistura de regularidade e surpresa, assim como ocorre, segundo os autores, em relação à música. Essas regras, segundo os mesmos, deveriam ser convertidas em postulados na concepção de projetos que incluiriam a elaboração de mobiliários, passando pela concepção das edificações e pelas intervenções urbanas. A idéia básica seria que o ambiente à nossa volta é como um sistema complexo, em que as unidades das escalas menores na estrutura estão intimamente relacionadas às unidades maiores, e que as primeiras não podem ser modificadas sem que as últimas sejam afetadas.

No que se refere aos edifícios e às cidades, os autores defendem que essa regra foi seguida por grande parte dos estilos arquitetônicos e urbanos, exceto pelos estilos que marcaram o século XX (em especial, o modernismo). O descumprimento dessas regras de multiplicidade de escalas teria levado as cidades à destruição. E justificam tal

argumento a partir de uma questão aparentemente simples, mas que oculta em suas entrelinhas elementos que têm estado presentes nos principais debates sobre a concepção do espaço urbano: qual seria a escala mais importante em uma cidade? A resposta dos autores é que não há uma escala preferencial ou predominante, pois a cidade deve ser vista como um sistema hierárquico complexo. De fato, as atividades humanas são executadas em uma grande variedade de escalas, cada uma definindo elementos específicos do ambiente construído, e essa multiplicidade tende a se refletir na organização hierárquica das cidades.

Afinal, a multiplicidade de escalas deve ou não deve ser utilizada como referência para novas ações projetuais? Esta, de fato, não é uma questão simples. Seria algo como construir a complexidade de uma só vez, ignorando o papel que o tempo e os indivíduos exercem sobre os sistemas, no processo de adaptação natural às necessidades de adequação. A multiplicidade de escalas, sem dúvidas, parece uma expressão mais natural da dinâmica social, mas desde construída ao longo do tempo. Diversidade e multiplicidade de escalas são, pois, tendências naturais de sistemas urbanos sujeitos a dinâmicas naturais e espontâneas de uso e ocupação. É o que mostram Sobreira e Andrade (1996), em estudo sobre a dinâmica de uso e ocupação em conjuntos habitacionais na Região Metropolitana de Recife. Os autores observam que a grande maioria desses conjuntos habitacionais construídos entre as décadas de 70 e 80, e concebidos segundo os princípios de forma (regularidade) e função (zoneamento de uso) da cartilha modernista, sofreram ao longo do tempo de ocupação diversas alterações por parte dos moradores, nas mais diversas escalas de intervenção. As alterações, que foram categorizadas e quantificadas em função do tipo (uso, acréscimo, material, etc.) e intensidade (número de elementos, área de ampliação, etc.), incluem desde o gradeamento de varandas ou pinturas de fachadas, até a mudança de usos e a ampliação de área construída. No processo de análise os autores estudaram a distribuição estatística entre o número de unidades de moradias e a respectiva quantidade e intensidade de alterações sofridas. Os resultados indicam a existência de leis de escala

robustas, dominadas por expoente negativo, indicando a existência de um grande número de pequenas alterações (como individualização de acesso) e um número restrito de alterações de grande impacto (construção de anexos). Em outras palavras, o ambiente construído originalmente regular e padronizado, sem multiplicidade de escalas, marcado pela homogeneidade incolor dos projetos habitacionais em larga escala, é transformado, através do uso, em um ambiente rico em diversidades, fragmentos, cores e símbolos das individualidades daqueles que habitam no local. Como interpretar esses resultados? Será que os conjuntos habitacionais deveriam nascer complexos? É possível criar complexidade a um só tempo? Acredita-se que não. A complexidade no espaço urbano é uma função natural do tempo e do uso. Nesse sentido, a idéia de um postulado estético baseado em regras de multiplicidade, que a princípio parece bem atrativa, acaba se convertendo em uma nova forma de reduativismo estilístico.

Não se pode negar, portanto, que a *fractalidade* é uma propriedade reveladora, que apresenta aspectos até então ignorados nos estudos morfológicos do espaço, como constatamos ao longo desta tese. Mas esses aspectos precisam ser tornados claros, e os números precisam ser acompanhados de explicações e aplicabilidades. No caso das análises estatístico-espaciais das favelas, os números revelam a universalidade e robustez que existe no padrão geométrico de assentamentos que estão sujeitos a barreiras de crescimento. Os expoentes indicam a coerência estatística existente na multiplicidade e na diversidade de tamanhos dos elementos componentes desses sistemas urbanos. Neste caso, não é a exatidão de um expoente o que mais importa, mas a identificação de classes de universalidade, e ao mesmo tempo a caracterização das exceções. É importante saber, portanto, que tanto em Bangkok quanto em Recife os padrões espaciais se sobrepõem às particularidades culturais e político-geográficas locais, e refletem uma necessidade universal de otimização dos espaços em situações de restrição de ocupação.

Ao mesmo tempo, é imprescindível a constatação de que em comunidades com ausência de barreiras e predominância de características rurais esse padrão não se aplica. Os padrões encontrados, enfim, são indicativos da universalidade característica dos processos de ocupação urbana informal, e podem ser úteis na identificação e classificação de assentamentos espontâneos a partir de sua estrutura morfológica. Esses padrões podem ser utilizados ao lado de outros indicadores espaciais, para diversas finalidades, como por exemplo a identificação de níveis de consolidação dos assentamentos; a categorização de Zonas Especiais de Interesse Social; a alocação de projetos orçamentários em função do grau de consolidação, que por sua vez está relacionado, entre outros aspectos, ao padrão de fragmentação; a alimentação de bancos de dados de Sistemas de Informação Geográfica e a parametrização de modelos computacionais, entre tantas outras aplicabilidades possíveis. Esses padrões de fragmentação, enfim, podem ser úteis em diagnósticos e análises preliminares das estruturas urbanas, tornando possível traçar um perfil espacial preliminar do assentamento sem a necessidade de um levantamento cadastral detalhado e localizado, mas simplesmente a partir da análise de mapas e registros cadastrais simplificados, como aqueles que são extraídos de fotografias aéreas e sensoriamento remoto.

Se essas estruturas informais têm propriedades fractais e seguem leis de escala, no sentido de que existe uma espécie de ordem hierárquica, isso indica que há um processo estável, ou conjunto de processos, de forma a gerar esses padrões espaciais. Como consequência, se as favelas são estruturas fragmentadas, pode-se especular sobre a dinâmica e os processos que geram a sua fragmentação. Este é o objetivo da parte 3, a seguir, que analisa os assentamentos, com o auxílio de ferramentas computacionais, sob a ótica da quarta dimensão urbana: o tempo.

Parte 3 - A Quarta Dimensão Urbana (análise dinâmica)

[...] as cidades por sua natureza estão em contínuo crescimento, mudança, declínio e reestruturação. E muitas vezes tudo isso acontece de forma simultânea, em diversas escalas e funções.

(WHITE; ENGELEN, 1993, p. 1175)

Os cientistas sociais estudam fenômenos que emergiram coletivamente, e o interessante seria buscar as regras locais que levaram à formação desses fenômenos. (Nesses fenômenos) ...não é a estrutura macroscópica em si que é surpreendente, mas a suficiência geradora das regras locais e simples.

(EPSTEIN; AXTELL, 1996, p. 20)

A dinâmica tem se tornado significativamente mais importante do que a estrutura, e o desequilíbrio tem se tornado o 'modo normal' no qual os sistemas operam em geral.

(BATTY, 2000, Editorial)

3.1 Complexidade a partir de regras locais

3.1.1 Modelos: abstrações da realidade

Até mesmo a mais complexa descrição da realidade será sempre uma abstração, seja matemática, literária ou gráfica. Modelos são criados para auxiliar na compreensão do mundo real, e até a mais objetiva e racional representação será sempre limitada e abstrata. Na verdade, se escaparmos para o plano filosófico e considerarmos o que sugerem certas correntes pós-modernas, veremos que até mesmo o que chamamos de realidade, de concreto, é algo passivo a percepções subjetivas. Alguns modelos são construídos como reprodução ou como simulação, e seus objetivos são alcançar a mais precisa descrição, presente ou futura, de um determinado objeto ou fenômeno. Outros extraem aspectos relevantes em certo nível de abstração e são utilizados como especulação e estimulação didática (RESNICK, 2000).

Pode-se dizer que modelagem é basicamente um exercício de síntese, processamento e análise de informações, em que é preciso levar em consideração: o tipo e a quantidade de informações selecionadas; a forma como tais informações são sintetizadas; a capacidade de processamento e, finalmente, o tipo de análise que se pretende desenvolver. Qualquer modelo será o resultado da combinação e seleção relacionada a cada um desses elementos. A questão é que, mesmo considerando os avanços computacionais das últimas décadas, deve-se compreender que ao se "modelar", a maximização de alguns aspectos (como informação) naturalmente significará a minimização de outros (como processamento). Essas concessões dependerão do enfoque e dos objetivos de cada modelo. Questões entre priorizar uma interface gráfica detalhada e precisa, por um lado, ou uma performance de processamento avançada, por outro; ou até mesmo, as escolhas entre modelos projetados para auxiliar na realização de previsões, descrições ou especulações teóricas.

Ainda, considerando um modelo como uma interpretação de alguma coisa, o dilema está em qual base teórica a interpretação está sendo formulada. Alguns enfoques podem ser surpreendentemente complexos e tecnicamente refinados, mas ainda assim frágeis em sua concepção teórica. Outros, apesar de interfaces básicas e algoritmos simples, podem revelar idéias sugestivas e intrigantes, que sugerem questionamentos e revisões em campos disciplinares ou até mesmo interdisciplinares.

A dimensão geométrica dos assentamentos espontâneos é abordada nesta terceira parte da tese sob a ótica da transformação e da consolidação ao longo do tempo - a quarta dimensão urbana. Considerando, portanto, que as favelas são sistemas complexos e que sua complexidade morfológica pode ser quantificada e modelada através de padrões de fragmentação e diversidade (argumento apresentado na Parte 2 - Fragmentação Urbana), veremos que suas dinâmicas de crescimento e de consolidação podem ser esboçadas através de modelos baseados em agentes, emergência e auto-organização.

Os experimentos apresentados nesta parte três da tese são resultados de diversas combinações e reelaborações de FAVELA, modelo computacional elaborado pelo autor (SOBREIRA, 2001) para o estudo morfológico de assentamentos espontâneos. Tecnicamente, trata-se de um modelo espacial em escala local, baseado em agentes que se movem, interagem e constroem sobre uma estrutura celular. Esses experimentos estão baseados na combinação de diversos conceitos e ferramentas relacionados à Teoria da Complexidade.

Antes, porém, de apresentar o FAVELA e os respectivos experimentos, considera-se importante contextualizar o modelo à luz de contribuições que têm abordado o objeto urbano sob a ótica dinâmica, a partir da combinação de regras locais e auto-organização. São modelos fundamentados em conceitos e ferramentas extraídos do universo da Complexidade, como Emergência, Auto-organização, Autômatos Celulares e Agentes.

Veremos nas seções a seguir que a Complexidade, e conceitos relacionados ao tema, tem sido um campo fértil para a construção de modelos que rompem com a visão tradicional estática, predominante no planejamento urbano até meados dos anos 70.

3.1.2 Bifurcações e auto-organização

Ilya Prigogine (ALLEN, 1997), cientista belga, recebeu o prêmio Nobel em Química por suas teorias sobre estruturas dissipativas auto-organizadas, isto é, conceitos segundo os quais a interdependência entre variáveis em um sistema pode gerar um estado de auto-organização, numa dinâmica em que determinada estrutura e organização podem ser criadas, assim como destruídas, à medida que o sistema se desenvolve. Segundo as idéias de Prigogine (ALLEN, 1997), à medida que certos sistemas complexos se desenvolvem, surgem pontos de bifurcação a partir dos quais diversas soluções poderiam emergir. A solução a ser seguida irá depender de flutuações e eventos imprevisíveis que não estão submetidos a leis determinísticas. Em outras palavras, dois sistemas com condições iniciais iguais poderiam levar a estruturas completamente diferentes, dependendo de eventos que ocorram no próprio processo de evolução.

Seguindo essas idéias, Peter Allen (ALLEN; SANGLIER, 1981) e um grupo de outros pesquisadores urbanos da Universidade Livre em Bruxelas construíram ao longo dos anos teorias e modelos que buscavam capturar a lógica de desenvolvimento de cidades e regiões, segundo essa mesma ótica da auto-organização, instabilidade, assimetria e incerteza. Em resumo, investigavam a importância de idéias como dinâmica não-linear e sistemas auto-organizados na formulação de bases científicas à compreensão de sistemas de cidades. Os modelos de Allen são basicamente modelos matemáticos desenvolvidos com o objetivo de simular a evolução de centros e cidades, a partir das múltiplas decisões de seus habitantes, feitas de acordo com metas individuais e circunstâncias particulares.

Instabilidade espacial é a chave para a compreensão da idéia proposta por Allen: em pontos de instabilidade, certos eventos não previstos poderiam exercer papel fundamental no desenvolvimento do sistema, conduzindo-o para rumos diversos de organização espacial. Portanto, sistemas de mesmas condições iniciais, populações com mesmas características e tendências podem, a partir de tais instabilidades, gerar uma variedade de comportamentos possíveis. Essa idéia de futuros possíveis e diversidade de caminhos traduz bem o conceito de bifurcação, importado das teorias de Ilya Prigogine, sobre os sistemas dinâmicos na Química.

Teoricamente, esses modelos procuram mostrar como o padrão macroscópico dos assentamentos ou a hierarquia de cidades e centros urbanos poderia resultar das decisões individuais. Para isso, se baseia em conceitos econômicos, como o de que o crescimento de um centro pode ser o motor para o crescimento da região ao seu redor. Nesse aspecto, Allen ressalta a idéia de que a estória do crescimento da urbanização é uma estória de migração sobre longos períodos e de concentração de investimentos em áreas particulares. A fundamentação econômica dos sistemas urbanos propostos no modelo de Allen está baseada nas idéias da Teoria dos Lugares Centrais (ou Teoria da Centralidade), concebida por Christaller (1954 apud ALLEN, 1997). Segundo a teoria, lugares centrais seriam cidades ou distritos que serviriam como centros regionais, através do fornecimento de bens e serviços. A proposição básica de Christaller, adotada por Peter Allen em seu modelo, é a de que as relações espaciais e hierárquicas entre centros urbanos refletem a atuação das forças econômicas.

No entanto, embora essas idéias relacionadas a lugares centrais fossem interessantes, as mesmas apresentavam uma visão caracteristicamente estática, isto é, de uma situação em equilíbrio. A idéia de teorias de centralidade, também desenvolvidas por Losch em 1939 e Isard em 1956 (ALLEN, 1997) refletem essa limitação, além de sugerirem estruturas rigorosamente simétricas. Peter Allen, portanto, propõe um novo

enfoque. Ele se baseia nas interações econômicas propostas na teoria dos lugares centrais, porém através de uma descrição dinâmica e assimétrica do sistema.

Ainda segundo Allen (1997), essas idéias relacionadas à centralidade são baseadas na idéia de estruturas cristalinas na Física e foram mal-adaptadas, enquanto conceitos, às ciências sociais, por considerarem que a atuação independente de indivíduos poderia levar a algum tipo de equilíbrio e à conseqüente otimização do sistema, fato que na visão do pesquisador, não condiz com a realidade.

As idéias de desequilíbrio e de incerteza são, de fato, as principais características dessa nova visão sobre os sistemas urbanos, e são os principais elementos na ruptura metodológica e conceitual entre os modelos de otimização (equilíbrio) e os modelos de auto-organização (desequilíbrio). Por isso, Allen ressalta a importância de se entender bem a diferença entre os enfoques que consideram o dinamismo do sistema e aqueles que visam um estado de equilíbrio. No caso dos modelos de otimização, acredita-se que o grupo de indivíduos em interação num sistema toma decisões que de alguma forma leva o sistema a um equilíbrio desejado, isto é, para condições sem mudanças, que expressam um certo tipo de otimização coletiva ou maximização de determinadas variáveis. Em outras palavras, o estado de equilíbrio seria uma situação, por exemplo, em que indivíduos maximizam utilidade e empresas maximizam seus lucros, gerando como resultado uma situação estacionária, que apresenta a mesma simetria existente na condição inicial, uma vez que mudanças estruturais (que afetam o sistema qualitativamente) não são previstas nesse tipo de modelagem. Esses modelos relacionados ao equilíbrio são formalmente relacionados àqueles também conhecidos como modelos de maximização de entropia, como o modelo de Lowry ou Modelo Gravitacional (ALLEN, 1997).

Objetivamente, o modelo de Allen é um modelo matemático, concebido sobre a combinação de teorias econômicas e teorias de sistemas complexos, e é baseado na

relação entre número de residentes e número de empregos em cada localidade. Os *atores* são indivíduos e empregadores, e o mecanismo de funcionamento do modelo pode ser sintetizado da seguinte forma: indivíduos (representados por populações) tendem a migrar em função da distribuição de emprego e a oferta de emprego. Estes, por sua vez, dependem da disponibilidade de mercado, e da competição entre os centros. Portanto, há constantes *feedbacks* que induzem ou restringem ações, de acordo com as informações colhidas.

As simulações descrevem a evolução na distribuição de população e de atividades econômicas em determinada região, que é inicialmente rural, sem praticamente qualquer interação econômica entre as diferentes localidades. Cada simulação representa uma entre várias histórias possíveis para o sistema em questão, que corresponde a uma seqüência particular de eventos probabilísticos. Especificamente, a população inicial em cada local está sujeita a flutuações da ordem de 5%. Quando determinada população (através dos resultados das equações com o tempo) atinge certo limite, o centro em questão começa a crescer no caso de haver um mercado suficiente para tal desenvolvimento. Mesmo considerando que cada simulação gerava diferentes estruturas, devido a tais flutuações incluídas no modelo, observou-se que havia uma certa regularidade no número e tamanho dos principais centros que se desenvolveram no modelo.

Nesse modelo, a explicação dada ao fenômeno sobre a observação de determinada organização espacial não é robusta como as explicações de casualidade propostas nos modelos baseados na Física Clássica, uma vez que no caso dos modelos de bifurcação a estrutura observada é meramente uma entre diversas estruturas possíveis. É através de índices de flutuação, implícitos nas equações, e de acidentes históricos, que os rumos são tomados no desenvolvimento do sistema, nos diversos pontos de bifurcação que ocorrem durante a evolução de qualquer sistema em particular. Portanto, a organização espacial de um sistema não resulta unicamente de leis econômicas e sociais embutidas nas

equações, mas de desvios de comportamento (flutuações) que se acumulam ao longo do tempo.

Essa visão de auto-organização leva em conta a dimensão coletiva das ações individuais, e enfatiza que a ação de indivíduos de acordo com critérios e escolhas particulares pode implicar em resultados na evolução do sistema que levam a direções inesperadas. Isto envolve, portanto, não apenas mudanças quantitativas, mas mudanças qualitativas no sistema. E acrescenta: "para sistemas não-lineares, o todo não é o simples resultado da soma das partes" (ALLEN, 1981, p.167).

Ainda que se refira aos indivíduos em seus escritos, a proposta de Allen é ainda um modelo de variáveis agregadas, isto é, refere-se a uma escala de parâmetros globais, de forma que o indivíduo deve ser entendido matematicamente no modelo como população, e comportamento ou desejo devem ser traduzidos como tendência de grupo populacional, não necessariamente individual. De qualquer forma, são apresentadas algumas abordagens teóricas sobre a modelação do comportamento individual que são fundamentais na construção de possíveis modelos efetivamente locais, como os modelos celulares e os baseados em agentes, a serem discutidos nas seções seguintes.

Por trás dessa relação indivíduo-sistema ou local-global, Allen destaca um paradoxo necessário: "para se modelar a mudança é preciso considerar certo grau de invariância" (ALLEN, 1997, p. 21). Esta invariância, relacionada aos mecanismos que estão na base conceitual do modelo, referem-se às preferências (ou tendências) dos atores em determinado sistema. Cada ator, considerado separadamente, pode ter critérios de decisão ou desejos muito simples, mas o desdobramento dinâmico do sistema gera padrões de comportamento complexos.

É importante observar que todo esse novo enfoque, que envolve idéias de sistemas dinâmicos, auto-organização e desequilíbrio, é naturalmente acompanhado de uma revisão sobre a própria

prática de construção e objetivos de elaboração de modelos. Por várias vezes em seus escritos Allen (1981, 1997) destaca que os novos modelos urbanos deveriam ser encarados como ferramentas de aprendizagem sobre os sistemas e seus futuros possíveis. Esses modelos seriam elaborados não com a intenção de fazerem previsões, mas de informar e aumentar o conhecimento sobre os mecanismos e comportamentos subjacentes aos sistemas. Portanto, iriam além da visão puramente mecânica dos modelos matemáticos tradicionais e veriam os sistemas em termos de constante evolução e inter-relação entre atores e sistemas, que nasce a partir da interação coletiva (ALLEN; SANGLIER, 1981). No que se refere à aplicabilidade de seus modelos, os autores defendem que o enfoque da auto-organização permite a avaliação dos efeitos de diferentes decisões, uma vez que mudanças globais ou locais podem ser impostas no desenvolvimento do modelo, o que permite um estudo mais detalhado sobre o aspecto quantitativo de determinadas decisões de governo:

[...] a quem determinada decisão deveria favorecer, e à custa de quem? Qual hierarquia de decisão levará a certas estratégias locais, ou qual será o impacto de tais estratégias sobre a evolução do sistema como um todo? (ALLEN; SANGLIER, 1981, p. 176, tradução nossa)

Os autores argumentam que a dificuldade básica de relacionar a dimensão coletiva às ações individuais é uma das mais importantes e desafiadoras questões na sociedade. Os experimentos desenvolvidos sugerem que os projetos e planos elaborados para qualquer centro urbano em particular deveriam sempre levar em conta a evolução daquele centro como parte da região na qual está inserido. Os efeitos de tais planos nas regiões vizinhas, portanto, deveriam ser sempre avaliados. A evolução de qualquer vizinhança ou cidade nunca deverá ser dissociada das regiões circundantes:

As decisões, as políticas urbanas e os planos executados em qualquer subunidade de um todo irá influenciar a evolução de todas as outras partes do sistema. Que nível de liberdade, portanto, deveria ser dado a indivíduos, comunidades locais, regiões ou até nações nas suas tomadas de decisões? A que níveis deveriam ser avaliadas as decisões políticas, e às custas de quem tais decisões deveriam ser executadas? Tais questões estão no topo do debate político, e claramente ainda não há uma resposta clara para nenhuma delas. (ALLEN; SANGLIER, 1981, p. 183, tradução nossa).

Mas como foi frisado, os modelos urbanos de bifurcação são essencialmente modelos matemáticos, desenvolvidos para a escala dos assentamentos urbanos, e baseados em teorias econômicas de oferta e demanda, e apesar de estabelecerem relações como proximidade e distância, não são modelos estritamente espaciais. Apesar de fazerem referência às relações local-global, e falarem sobre o comportamento do indivíduo como elemento definidor da estrutura do sistema, são modelos basicamente construídos na escala macro. Finalmente, mesmo apresentando grandes avanços teóricos e metodológicos, ainda são baseados em linguagem puramente matemática, o que restringe o aspecto pedagógico proposto, limitações que tendem a ser superadas com a difusão de modelos escritos em linguagem computacional (algoritmos), e construídos em ambiente gráfico bidimensional, como os autômatos celulares.

3.1.3 Autômatos celulares

Nos anos 60, John von Neumann (WHITE; ENGELEN, 1993), matemático húngaro, em suas investigações sobre máquinas auto-reprodutoras, criou os autômatos celulares. A idéia básica – e grande mérito – em torno dos autômatos é a de que a partir de regras bastante simples podem ser geradas estruturas realmente complexas e dinâmicas. Por essa característica peculiar, autômatos têm sido largamente utilizados na investigação de princípios fundamentais para as ciências, como dinâmica, evolução e auto-organização. De fato, a verdadeira razão para a popularidade dos modelos celulares é o indiscutível poder associado ao método no estudo das relações entre eventos locais e estrutura global. Modelos celulares são essenciais na descrição de interações entre micro e macro escalas, e fazem isso da forma mais simples.

Autômatos celulares são essencialmente simples e podem ser resumidos como uma malha composta por células, cujos estados dependem do estado das células vizinhas. Para a sua construção quatro elementos são imprescindíveis: o espaço celular em si, um conjunto de estados locais, uma vizinhança e uma regra de transição. O espaço é

tipicamente um plano bidimensional, subdividido uniformemente em células, usualmente gerando uma malha quadriculada regular. Nos mais simples dos exemplos, os estados de uma célula se resumem a viva (ativa, ocupada) ou morta (desativada, vazia). A vizinhança se refere literalmente às células geometricamente vizinhas (quatro ou oito células, nos casos mais simples). A regra de transição pode ser determinística ou estocástica (probabilística), e define o estado de determinada célula no tempo t , em função do estado das células vizinhas.

O autômato celular mais conhecido é o *Jogo da Vida*, criado pelo matemático britânico John Conway (COUCLERIS, 1985) no final da década de 60. O grande apelo deste modelo vem da grande variedade de seqüências de padrões produzidos como resultado das mudanças de estados das diversas células, em sucessivas gerações. No *Jogo da Vida*, uma célula só pode sobreviver se duas ou três, entre as oito células que compõem a sua vizinhança, estiverem vivas. Caso contrário, ela morrerá, seja por excesso de células nos arredores, ou por falta. Uma célula morta voltará à vida se houver exatamente duas células vizinhas com vida. Portanto, para o *Jogo da Vida*, existem apenas duas regras: (i) uma célula viva permanece viva se ela tiver dois ou três vizinhos vivos; (ii) uma célula morta permanece morta, a não ser que haja exatamente duas células vivas na vizinhança (GILBERT; TROITZSCH, 1999). Surpreendentemente, com essas duas regras simples poderá ser gerada uma diversidade de padrões distintos, alguns deles em constante modificação ao longo das iterações.

Três características básicas levaram os autômatos celulares (AC) a serem aplicados à modelagem de sistemas urbanos: primeiramente, os AC são por natureza modelos espaciais, tanto na concepção quanto da operação e visualização; em segundo lugar, pode-se através desses modelos gerar formas altamente complexas a partir de regras bastante simples; e finalmente, permitem uma alta resolução espacial de representação do fenômeno, de forma que as relações locais tornam-se mais explícitas.

Entre os pesquisadores urbanos que utilizaram autômatos celulares na descrição de fenômenos urbanos, podem-se destacar Couclelis (1985), White e Engelen (1993), Batty e Xie (1994), Cecchiini e Viola (1996), entre outros. Em comum, o fato de que a maioria desses pesquisadores utilizou os modelos como ferramentas heurísticas (especulativas) – mesmo considerando algumas tentativas mais realísticas e específicas. Além disso, todos apresentam a cidade como um objeto em contínuo desenvolvimento, cuja estrutura complexa seria o resultado cumulativo de regras baseadas em decisões locais, fato que explica o porquê do uso dos ACs em seus modelos.

Couclelis (1985) apresentou duas direções em seus estudos: primeiramente, uma abordagem mais filosófica sobre as relações entre o método e a teoria dos sistemas complexos; posteriormente, um estudo genérico sobre as aplicações possíveis dos autômatos no contexto do planejamento urbano. Na visão da autora, os modelos celulares guardam estreitas relações com teorias de bifurcação e modelos das ciências da cognição que lidam com decisão e comportamento individuais. Por isso, acredita que há estreitas relações entre a idéia dos modelos celulares e as idéias desenvolvidas por Peter Allen (1981) através dos modelos de bifurcação e auto-organização: os dois apresentam comportamento macro em função da interação de componentes na escala micro; os dois mostram como flutuações aleatórias podem mudar a trajetória do sistema geral de forma crítica; são modelos dinâmicos, que lidam com o tempo de forma discreta (a história do evento é repartida em espaços de tempo que correspondem a cada rodada da simulação); nos dois modelos o estado presente é determinante na construção do estado futuro; nos dois modelos a estrutura final é imprevisível, porém apresenta padrões de regularidades globais.

A grande diferença, na visão de Couclelis (1985), é que enquanto o modelo de Allen é basicamente construído em linguagem matemática e os resultados são numéricos, os modelos celulares são construídos a partir de algoritmos (seqüência de regras computacionais) e os resultados são espaciais (são diretamente visualizados na malha

celular). Além disso, podemos destacar que as relações espaciais de vizinhança são mais explícitas e locais nos AC, e mais implícitas e agregadas, nos modelos de bifurcação.

Entre as vantagens apontadas pela autora no uso dos ACs, destaca-se a diversidade hierárquica, tornada possível pela capacidade do modelo em lidar com descrições espaciais em diversos níveis: "A aplicação de processos recursivos poderia levar até à construção da hierarquia inteira de determinado sistema, a partir da escala microscópica até a escala máxima" (COUCLELIS, 1985, p. 594).

White e Engelen (1993) implementaram algumas dessas adaptações e flexibilizações sobre a lógica original dos autômatos. Conceitualmente, destacaram a idéia de que a complexidade dos sistemas está diretamente relacionada à quantidade e diversidade de informações existentes, e que isso não deveria ser entendido como ruído ou distorção a serem retificados, mas como características inerentes e naturais a sistemas complexos, como as cidades. Segundo os autores, essa idéia, que já vem sendo eloqüentemente, porém subjetivamente defendida desde Jacobs (1996), nos anos 60, tem encontrado em teorias recentes sobre sistemas dinâmicos e evolucionários uma preciosa e estimuladora base científica, fundamentando a idéia de que a complexidade é algo inerente e necessário a sistemas dinâmicos como os sistemas urbanos.

As cidades existem para suportar as funções sociais e econômicas da sociedade, que por sua vez pode ser entendida como um sistema rico em informações e hierarquia. A cidade construída deveria, então, refletir essa estrutura de informações e diversidade de escalas naturalmente criadas pela sociedade. Portanto, a riqueza de detalhes e as diversidades em uma cidade deveriam ser vistas não como aspectos ruidosos ou distorcidos, mas como quantidade (necessária e natural) de informação. (WHITE; ENGELEN, 1993, p. 1175, tradução nossa)

Na visão dos autores, as teorias urbanas têm, tradicionalmente, visto a complexidade como algo que afeta as estruturas (sistemas urbanos) de forma ruidosa, maléfica e indesejável. Esses sistemas, nessa visão, seriam por definição - ou mais especificamente por desejo ou norma - objetos essencialmente simples, simétricos e lineares. E assim

foram construídas teorias urbanas de predição, baseadas em padrões simplificados de locação e distribuição de usos nas cidades, como a Teoria dos Lugares Centrais (CHRISTALLER, 1954 apud ALLEN; SANGLIER, 1981) que são teorias econômicas estáticas, baseadas em atores estritamente racionais, interagindo num mercado em equilíbrio. Nesse sentido, os autores argumentam: “embora a modelação do comportamento do indivíduo, em geral baseado em teorias econômicas, até pareça razoável, por outro lado os comportamentos dos sistemas globais em torno da idéia estática e do equilíbrio estão distantes da realidade” (WHITE; ENGELEN, 1993). As cidades, afinal, estariam por natureza em contínuo crescimento, mudança, declínio e reestruturação, e muitas vezes tudo isso acontece de forma simultânea, em diversas escalas e funções.

Objetivamente, o modelo proposto por White e Engelen (1993) é baseado na aplicação das técnicas de autômatos celulares para o desenvolvimento de um modelo de uso e ocupação do solo urbano, baseado em alta resolução espacial, quando comparado a modelos tradicionais. Segundo os autores, o modelo foi concebido com a intenção de investigar questões básicas da forma urbana, ao invés de oferecer simulações realísticas sobre o desenvolvimento de cidades em particular. Por isso, são elaborados da forma mais simples possível.

No modelo, cada estado das células corresponde a um tipo de uso do solo. A cidade cresce e sua estrutura se desenvolve à medida que as células mudam de um estado para outro, de acordo com as regras de transformação (ou regras de transição). Tecnicamente, as cidades celulares de White e Engelen incluem quatro estados distintos para as células (vazio, habitacional, comercial e industrial), que mudam conforme taxas de crescimento pré-definidas (parâmetros externos ao modelo). Como nos modelos de autômatos em geral, as células mudam de estado de acordo com os estados das células vizinhas. Mas neste caso a vizinhança é estendida - se refere às células que estão localizadas dentro de um raio de 6 unidades (total de 113 células). Inicialmente, os

autores definiram hierarquias de uso, de forma que uma célula muda apenas para um uso de hierarquia superior. A ordem, neste caso, seria: vazio, habitacional, industrial e comercial, nesta sequência. Portanto, no modelo originalmente proposto não pode haver mudanças de comercial para industrial ou habitacional. Assim como células que já têm algum tipo de uso não podem voltar ao estado vazio, o que faz com que a cidade esteja em crescimento contínuo. Finalmente, a mudança de estado de cada célula dependerá do potencial de transição calculado a cada iteração e que depende de parâmetros pré-definidos pelos autores, como a natureza do uso e a distância relativa. Apesar da grande variedade de forma, observou-se que na verdade todas as simulações eram bastante similares entre si e guardavam estreita correlação com cidades reais. Essa similaridade é evidenciada através das dimensões fractais dos sistemas gerados, aspectos que serão abordados mais adiante.

O propósito dos modelos apresentados por Batty e Xie (1994), segundo os autores, o objetivo não é simplesmente realizar simulações que coincidam com as cidades reais, mas ilustrar o poder dos ACs na simulação urbana e a sua relevância na discussão de questões que relacionam forma e função. Por outro lado, diferentemente de Couclelis (1985), os autores acreditam que a aplicação de autômatos celulares à modelação de sistemas urbanos pode ir além do teor metafórico, e sugerem aplicações que descrevem o crescimento de cidades específicas. Essa aplicabilidade é apresentada por Batty e Xie (1994) em alguns exemplos, como no desenvolvimento do centro histórico de Savannah, Georgia e na simulação de crescimentos suburbanos de uma cidade norte-americana de médio-porte.

Teoricamente, Batty e Xie (1994) vêem os modelos dinâmicos e auto-organizados como uma evolução, e não como uma ruptura, em relação aos modelos estáticos e de equilíbrio, como aqueles desenvolvidos pelo grupo de Cambridge (ECHENIQUE, MARTIN, MARCH, apud BATTY; XIE, 1994). Segundo os autores, os esforços no sentido de sintetizar a forma urbana de maneira que a mesma possa ser representada e analisada

objetivamente têm sido crescentes desde as primeiras contribuições do centro de estudos urbanos de Cambridge. A preocupação com a estrutura e o processo, a maneira como a arquitetura e os sistemas urbanos se ordenam de forma hierárquica e como os sistemas evoluem já eram, na visão dos autores, preocupações daqueles cientistas urbanos. Eles objetivavam a criações de modelos abstratos

[...] que tornassem possível definir e explorar a variedade de formas físicas e espaciais, englobando as mais diversas atividades humanas em condições de laboratório, em escalas que vão desde o indivíduo ao sistema como um todo. (MARCH, 1976, apud BATTY; XIE, 1994, p. 31, tradução nossa).

Mas como fundamental contribuição conceitual os autores destacam as idéias de Jacobs (1996). Uma das idéias básicas da autora é a de que a aparente desordem das cidades seria na verdade o sintoma de uma ordem mais profunda, de uma complexidade organizada, e que as cidades que evoluem naturalmente (cidades orgânicas) apresentam ambientes muito mais ricos e atrativos do que as cidades impostas pelos planejadores. E ainda acrescenta que as cidades deveriam ser observadas através de seus processos, e que os pesquisadores deveriam trabalhar a partir do particular, e daí para o geral: "é preciso entender a escala local, para a partir daí entender a global" (JACOBS, 1961, apud BATTY; XIE, 1994, p. 33). Por coincidência ou não, os autômatos celulares, que em essência sugerem a mesma lógica, alcançaram a popularização na mesma década (anos 60) em que Jacobs lançou seu manifesto.

Batty e Xie (1994) descrevem os seus modelos como variações do *Jogo da Vida*, e diferem deste em três aspectos básicos. Primeiro, o modelo proposto é não-determinístico, de forma que as regras de transição são computadas de forma estocástica. Segundo, as células morrem em função de índices globais e não locais. Já os nascimentos são resultado de iterações relativamente localizadas. Terceiro, o conceito de vizinhança é estendido em três hierarquias de escala. Além das peculiaridades descritas, o modelo de Batty e Xie incluem restrições espaciais relativas ao nível hierárquico de vizinhança, de forma a simular níveis de adequabilidade de ocupação nas

parcelas de terra do modelo. Segundo os autores, as simulações baseadas nas características descritas tendem a gerar estruturas que são estatisticamente similares aos objetos reais de referência (cidades norte-americanas, em particular) e também incluem análises fractais como meio de possível validação para seus modelos. Enfim, concluem que a conexão entre a escala local e a global é a base da lógica dos ACs. Mesmo admitindo que as formas urbanas não são restritas a relações local-global, os autores entendem que o método é essencial para se entender a hierarquia de processos e escalas, essenciais no crescimento das cidades. Apesar do autômato apresentado pelos autores ser baseado em apenas dois estados (desenvolvido ou não desenvolvido), eles sugerem extensões metodológicas que incluem diversidades de usos e atividades urbanas. Apontam também como grande contribuição das modelagens realizadas através de autômatos celulares o fato de que o método permite aos pesquisadores pensar na dinâmica de desenvolvimento das cidades sob as óticas geométrica e dinâmica, de forma nunca antes experimentada.

Cecchini (1996) foi mais um pesquisador a modelar o processo de crescimento urbano através de ACs. Ao invés da simulação de sistemas urbanos específicos, o esforço de Cecchini é concentrado na elaboração de ferramentas genéricas, que permitam a modelação de autômatos celulares aplicados ao objeto urbano. O autor apresenta projetos experimentais, como o *FicTies*, e desenvolvimento de um software genérico, o *AUGH*, os dois relacionados ao uso de autômatos celulares na simulação urbana.

A primeira tentativa (*FicTies* - cidades fictícias), consiste basicamente de um autômato celular não-determinístico cujas características não diferem de forma considerável dos autômatos descritos anteriormente. A malha representa uma cidade imaginária; as células representam unidades espaciais cujos estados estão relacionados a distintos usos; a simulação é iniciada a partir de uma infraestrutura prévia incluída na malha (estradas, habitação, etc.) e as regras de transição são baseadas em vizinhanças variadas e extendidas.

O AUGH tem o objetivo, segundo o autor, de superar algumas limitações apresentadas pelo *FicTies*. Enquanto este último é um modelo fechado e específico - as regras de transição, os estados e a vizinhança estão previamente definidos no programa -, o AUGH é uma espécie de plataforma de programação genérica, em que são permitidas diversas adaptações, ajustes e extensões a propósitos particulares. Especificamente, no AUGH é possível definir características específicas do espaço celular; definir novas regras de transição e utilizar dados reais e mapas de cidades como base de simulação. No que se refere ao espaço celular, por exemplo, podem ser consideradas diferenças de topologia (superfície plana ou esférica) e de forma (células quadradas ou hexagonais). O conjunto de regras pode ser fixo ou pode variar ao longo do tempo. E o tempo de ação pode ser imediato ou pode ser retardado, de acordo com objetivos específicos do modelo. Entre os propósitos do AUGH está a adaptação de alguns modelos urbanos tradicionais, como os modelos gravitacionais e de centralidade, para o formato de autômatos. Os autores argumentam que o AUGH tem potenciais descritivos e explanatórios, e são didaticamente efetivos. Uma limitação do modelo é a restrição a interações locais.

Em 1997 a *Environment and Planning B*, publicação voltada ao longo das últimas três décadas ao planejamento e análise do ambiente construído, dedicou edição especial ao tema autômatos celulares e sua aplicabilidade aos sistemas urbanos. Naquele momento, o método não apenas já mostrava sinais de amadurecimento e diversidade de aplicabilidades, como também mostrava as suas limitações naturais enquanto ferramenta de modelação das cidades. Entre os artigos reunidos destacam-se revisões teóricas do método e reformulação dos princípios segundo os quais ACs são utilizados em sistemas urbanos (COUCLELIS, 1997); proposições de modelos urbanos genéricos, baseados em AC, em que são simulados, simultaneamente, área e crescimento linear (BATTY; XIE, 1997); integração entre modelos de uso e ocupação do solo elaborados em AC e sistemas de informação geográfica - SIG, incluindo informações provenientes de modelos padrões, não espaciais, de crescimento demográfico e econômico (WHITE; ENGELN,

1997); modelos em que os parâmetros se automodificam, isto é, o AC é programado para se adaptar às condições extremas geradas pelo mesmo, especialmente em períodos de crescimento rápido ou de estagnação (CLARKE; HOPPEN ; GAYDOS, 1997); modelos que estudam fenômenos inter-relacionados de segregação social e espacial e que combinam agentes migratórios e ambiente celular (PORTUGALI; BENENSON; OMER, 1997); entre outras contribuições mais técnicas, todas caracterizadas pelo uso dos ACs como ferramenta de referência na modelação de objetos urbanos.

Um dos raros exercícios de modelagem que se utiliza de AC para experimentos que abordam a estrutura morfológica de áreas urbanas foi desenvolvido por Ward, Murray e Phinn (2000). Em seu modelo, os autores simulam diferentes cenários de uso e ocupação do solo em que as redes de transporte são os elementos modeladores ou restritivos de desenvolvimento, isto é, nesses experimentos, a estrutura construída se desenvolve de acordo com os espaços gerados por diversos tipos de malhas urbanas (que podem ser regulares, irregulares, segregadas ou integradas). Os autores se baseiam na idéia que os padrões urbanos globais não resultam unicamente de relações local-global, como sugerem muitos dos modelos de AC tradicionais. Por isso, seria preciso desenvolver enfoques que considerem a escala efetivamente local (em seus aspectos geométricos e configuracionais) e que incluam fatores globais de desenvolvimento (proximidade a serviços e estradas) ou de restrição de crescimento (topografia, distância).

Mas se por um lado as potencialidades do método se mostram as mais diversas possíveis, por outro, existe uma série de limitações, inerentes à própria concepção e natureza dos ACs. Particularmente, a regularidade da malha é uma das maiores restrições para a aplicabilidade desses modelos a áreas reais, que contêm zonas com limites irregulares e número de vizinhos diversificado. Outra possível limitação é o fato de que, em geral, todas as células interagem com o ambiente e agem ao mesmo tempo e da mesma forma, o que limita certas aplicabilidades que prevêm diversidade de tempo e de comportamentos individuais. Afinal, a princípio, nos ACs todas as células

seguem a mesma regra de transição e, portanto, têm o mesmo comportamento, simultaneamente. Uma outra dificuldade é a tendência unidirecional na dinâmica proposta por este tipo de modelo, isto é, sempre da base para o topo, do local para o global, o que pode limitar certas análises de sistemas urbanos em que seja necessário considerar a interferência de parâmetros globais. A percepção é de que os padrões urbanos globais não resultam unicamente de relações local-global, como sugerem muitos desses modelos.

Vimos, portanto, que alguns pesquisadores procuraram desenvolver enfoques que considerassem a combinação entre escala local e fatores globais de desenvolvimento (proximidade a serviços e estradas) ou de restrição de crescimento (topografia, distância). Alguns modelos têm esboçado esforços nesse sentido, e têm feito isso através da reformulação das próprias regras de transição. Dentre os modelos descritos, alguns se utilizam de dados históricos na formulação de potenciais de transição entre estados ou usos (WHITE; ENGELEN, 1997); outros incluem informações topográficas e geográficas nas regras de transição (CLARKE et al, 1997). Couclelis (1985) sugere, por exemplo, que uma reformulação de modelos celulares, baseada na dinâmica da teoria dos sistemas, pode superar boa parte das limitações que fazem dos modelos celulares tradicionais, segundo a autora, inaplicáveis aos problemas geográficos do mundo real.

Adaptações e flexibilizações são possíveis, como vimos, que tornam o método aparentemente mais adequado à descrição do objeto urbano. Mas no que se refere ao aspecto conceitual, há questionamentos em relação a uma série de modelos urbanos que se dizem baseados em ACs. Essencialmente, vale lembrar que o autômato celular é uma ferramenta que gera padrões emergentes a partir de regras locais. Ocorre que muitos modelos acabam perdendo o vínculo com a idéia de emergência do fenômeno, uma vez que a excessiva dose de calibração, ajustes, adaptações e restrições acabam por ditar, antecipadamente, os resultados que a princípio deveriam emergir, naturalmente.

A realidade em relação a ACs é que eles não podem prever, de forma determinística, padrões de crescimento urbano. Os ACs oferecem meios de avaliar potenciais, futuros possíveis em sistemas urbanos. Portanto, quando cientistas urbanos tentam transformar esta ferramenta heurística em algo estritamente operacional, distorções podem ocorrer que acabam por ignorar os motivos que levaram à utilização do método. A simplicidade dos autômatos celulares, que é um de seus grandes trunfos, ao ser encarada como uma barreira na aplicação operacional a fenômenos urbanos reais, acaba distorcendo as vantagens originais do modelo.

Portugali (1997) apresenta algumas críticas aos modelos urbanos baseados exclusivamente em autômatos celulares. Segundo o autor, os ACs buscam explicar como é possível que entidades que não têm qualquer individualidade ou consciência se comportem de forma orquestrada. Mas na visão de Portugali, os indivíduos de um sistema urbano ou social deveriam ser representados por agentes livres, com personalidade, e individualidade subjetiva. Por isso, sugere um outro tipo de questão: como é possível que agentes livres, como os humanos, que não conhecem uns aos outros, que são tão diferentes uns dos outros em suas intenções, planos e fundamentos, se comportem de forma coletiva?

A extrema simplicidade do autômato, que é um dos seus principais méritos, é apresentada por Portugali como uma de suas maiores limitações. Na visão do autor, os modelos urbanos que se utilizam exclusivamente do AC tendem a tratar os seres humanos, famílias e residentes, que formam as partes elementares das cidades auto-organizadas como átomos, como pessoas unidimensionais. E acrescenta que nas cidades humanistas e Marxistas da teoria social, as unidades elementares são, em si, abertas, complexas e, portanto, entidades auto-organizadas. E assim surgiram os modelos baseados em agentes (MBA).

3.1.4 Gente *versus* Agentes

Os modelos baseados em agentes (MBA) são ferramentas cada vez mais populares nas ciências sociais, tendência que tem se verificado, de forma ainda preliminar, na Geografia e no Planejamento Urbano e Regional. Quando aplicados à descrição de eventos sociais, tais sistemas são em geral concebidos como centenas de agentes interagindo em um mundo artificial, representativo de um ambiente real (ou instituição social). Em geral, o cientista elabora o modelo com base em regras plausíveis relacionadas ao comportamento dos agentes e, como resultado, analisa as estruturas resultantes, de forma a extrair informações sobre o mundo real que estava sendo simulado.

A mobilidade e a flexibilidade dos agentes são dois dos principais elementos que têm atraído os cientistas urbanos na aplicação do método a estudos sobre a cidade, nas diversas escalas espaciais. Enquanto os ACs, na visão de Portugali (2000), são baseados em sistemas físicos e biológicos cujos atores principais são espacialmente fixos, nos MBAs o papel dos indivíduos no processo de auto-organização urbana é explícito. Os modelos urbanos baseados em agentes se desenvolveram como uma ferramenta paralela e eventualmente complementar aos modelos baseados em autômatos celulares.

Entre as aplicações de MBA às ciências sociais, destacam-se as sociedades artificiais, elaboradas a partir do software *SUGARSCAPE*, criado por Epstein e Axtell (1996). O *SUGARSCAPE* é basicamente um modelo construído sobre uma malha celular onde são distribuídos os recursos (inicialmente açúcar), a serem coletados, negociados e consumidos pelos agentes. Inicialmente, o programa se resume a estudar os processos de agrupamento dos agentes do processo de coleta dos recursos, e a partir daí vai incluindo comportamentos mais complexos e parâmetros mais diversificados, que incluem negociações, guerras, formação de tribos ou relações culturais (modelados, evidentemente dentro das limitações e abstrações do modelo).

Segundo Epstein e Axtell (1996), a supressão das ações e percepções individuais tem sido uma prática comum nas ciências sociais, especialmente quando baseadas em idéias de equilíbrio estático dos sistemas econômicos e sociais, ignorando a dinâmica do fenômeno em questão. Se por um lado esses modelos estáticos podem oferecer certas vantagens, como o aparente determinismo, por outro, acabam ignorando as possíveis conseqüências provenientes da heterogeneidade.

Sociedades Artificiais, de acordo com os autores, são laboratórios, onde se procuram desenvolver certas estruturas e dinâmicas sociais no computador. O objetivo seria descobrir mecanismos locais que seriam suficientes e fundamentais para gerar estruturas sociais na escala global e discutir os prováveis comportamentos coletivos relacionados a tais estruturas. O ponto de partida dessas sociedades artificiais, enquanto modelos baseados em agentes (MBAs), é o indivíduo. Os agentes seguem regras locais de comportamento, que são executadas ao longo do tempo. Daí, observa-se qual a estrutura macroscópica que irá emergir.

Os agentes do *SUGARSCAPE* são simples em sua concepção. Da forma em que foi concebido originalmente, as regras aplicadas aos agentes podem variar, mas apenas parametricamente (mudanças de parâmetros) e não de forma estrutural. A idéia básica é conceber agentes da forma mais simples possível e explorar o que acontece à medida que eles interagem. Os autores também sugerem algumas possíveis variações. Por exemplo, ao invés de aplicar a mesma regra a todos os agentes, poderia se começar com uma população de agentes com regras distintas, permitindo-se uma espécie de seleção que mudaria a distribuição de regras ao longo do tempo. Outra possibilidade é permitir processos evolutivos para os agentes. Cada indivíduo poderia conter um número de regras de comportamento, e apenas as regras mais efetivas persistiriam, enquanto as não efetivas seriam ignoradas, numa espécie de aprendizado evolutivo do agente. Ainda mais complexos seriam modelos em que os agentes efetivamente criariam leis de comportamento inteiramente novas.

O principal argumento presente nesses experimentos é que a modelagem de sociedades artificiais permite o desenvolvimento virtual de estruturas sociais, demonstrando que certos conjuntos de condicionantes locais são suficientes para gerar fenômenos macro de interesse: "Não é a estrutura macroscópica em si que é surpreendente, mas a suficiência geradora de regras locais e simples" (EPSTEIN e AXTELL, 1996, p. 52).

Batty e Jiang (2000) apresentam modelos de múltiplos agentes que operam sobre espaço celular, e procuram demonstrar não só como as ações locais levam a padrões globais, mas também como tais padrões emergem em consequência de *feedbacks* e de aprendizado dos agentes. Em outras palavras, o comportamento dos agentes é moldado em função do resultado de suas ações sobre o ambiente em que está inserido, a cada iteração. Especificamente, são desenvolvidos experimentos relacionados a movimento e direção de múltiplos agentes em espaço celular (simulando fluxo de multidões em ambientes urbanos), seja através de exercícios teóricos ou empíricos. No caso empírico, foi desenvolvida uma simulação de movimento de visitantes na Tate Gallery, em Londres. Uma das prioridades desses experimentos é explorar formas de detecção de propriedades espaciais através do comportamento dos agentes. Esses experimentos foram realizados na escala estritamente local, em que os agentes interagem entre si, mas em que o ambiente (a paisagem urbana) em que os agentes estão inseridos é fixa e não modifica em função das ações dos agentes. Os elementos urbanos servem apenas como barreiras de restrição ao movimento dos agentes no ambiente virtual de simulação.

Da escala local à escala global. Com uma finalidade mais teórica, voltada à escala regional, Batty (2001) também utilizou modelos baseados em agentes no estudo de evidências sobre o crescimento de regiões urbanas, especificamente, grupos de assentamentos numa região. O autor argumenta que existe uma hierarquia histórica na distribuição de assentamentos em um sistema, e que portanto, a idéia de sistemas urbanos compostos por diversos núcleos não é um fenômeno recente. Para provar seu

argumento, apresenta estudos estatísticos sobre a distribuição dos tamanhos de assentamentos urbanos na Grã-Bretanha ao longo de 100 anos e mostra que esses padrões podem ser alcançados a partir de atividades urbanas localizadas, distribuídas aleatoriamente. Para isso, o autor desenvolve modelos baseados em agentes que se deslocam, se estabelecem e buscam recursos no ambiente ao seu redor. O autor sugere que a existência de constantes *feedbacks* (do ambiente para o agente) leva à distribuição hierárquica das estruturas dos assentamentos.

Esse modelo de Batty (2001) busca demonstrar o argumento de que sistemas urbanos evoluem a partir da aplicação incessante de regras de *feedback* entre o ambiente e o indivíduo ao longo do tempo. Em essência, o modelo descreve o movimento de indivíduos, a partir de diversas origens, em busca de recursos. As origens e destinos não mudam, uma vez que a essência do modelo está na rotina de movimento. Esse movimento dos agentes consiste em duas etapas: primeiramente, eles precisam encontrar a fonte de recursos. Posteriormente, eles precisam voltar para a sua origem, de forma a consumir o recurso obtido. O movimento dos agentes é baseado no aprendizado das melhores rotas a serem seguidas, aprendizado este que é baseado em sinais deixados no ambiente por agentes que encontraram recursos em etapas anteriores. Portanto, a cada passo, os agentes verificam o entorno e seguem o caminho em que o sinal é mais forte. Os agentes são programados para lembrar a localização de sua origem, de forma que eles podem retornar à mesma. Assim, quando os agentes voltam à origem, eles vão deixando sinais de sua rota, para o próximo agente. Esse tipo de modelo tem se tornado popular em exercícios em que o aprendizado é um pré-requisito para o estabelecimento de estruturas que emergem do conhecimento sobre o próprio ambiente ao redor. Neste contexto, são essenciais na construção de estruturas espaciais em sua origem, isto é, quando ainda não existe estrutura construída.

Os modelos de cidades de Portugali (1997, 2000), definidos pelo autor como jogos heurísticos, descrevem movimentos de migração e tendências de segregação em cidades.

Como fundamentação teórica, o autor propõe a combinação de uma série de teorias e conceitos, que envolvem desde as teorias da cognição e do comportamento, até conceitos como auto-organização, sinérgica e hermenêutica. No aspecto comportamental, há algumas idéias básicas que permeiam os seus experimentos, e que podem ser resumidas na percepção de que a dinâmica urbana é o resultado da dissonância entre intenção e comportamento dos indivíduos. Essa dissonância gera tensões que levam a concessões e mudanças no comportamento do agente. Como exemplo prático, o autor cita o experimento em um sistema urbano composto por indivíduos com identidades culturais verdes, azuis e vermelhas, e com níveis distintos de status econômico-social. Nesse modelo, uma pessoa cuja identidade cultural é azul pode preferir se localizar espacialmente entre vizinhos azuis, enquanto o seu status sócio-econômico pode restringir a sua preferência a certas áreas ricas ou pobres na cidade, que eventualmente podem ser habitadas por agentes vermelhos, por exemplo. A decisão de locação do indivíduo e de seu comportamento de migração, dessa forma, reflete essa tensão dialética entre informação interna (intenção) e externa (disponibilidade de terra ou imóvel).

O conceito cognitivo de hermenêutica é traduzido por Portugali (1997) em seus estudos urbanos como o processo através do qual o indivíduo extrai informação através da memória e cria sua própria idéia de cidade. A realidade urbana, portanto, depende da percepção de cada indivíduo (agente) e estaria sujeita à interpretação subjetiva. A idéia básica, portanto, é a de que indivíduos, na cidade, agem e se comportam de forma intencional, de acordo com seus desejos. De forma a agir e se comportar intencionalmente, eles precisam informação sobre a cidade. Essa informação é extraída subjetivamente a partir do que eles vêem e experimentam na cidade. Eles extraem a informação através da lógica, da imaginação, das experiências anteriores, do conhecimento e de outras ferramentas que formam o conteúdo da memória individual.

A idéia de auto-organização apresentada por Portugali é a mesma, já presente nos demais discursos apresentados ao longo desta tese, mas com uma ênfase na dualidade entre interações locais e globais. Especificamente, o autor sugere dois sub-sistemas auto-organizados, em duas escalas distintas. Na escala local, propõem-se os agentes individuais livres. Eles são partes da cidade, mas diferentemente de partes comuns, cada um deles é, em si, um sistema auto-organizado (devido às tensões cognitivas e comportamentais descritas acima). As atividades dos agentes determinam a cidade, que pode ser vista como a representação externa dessas ações e comportamentos. Na escala global existe a cidade como um todo, enquanto um sistema auto-organizado, que por sua vez determina as representações internas (i.e., mapas cognitivos) dos indivíduos, e que serão refletidas nas ações e comportamentos dos mesmos, num contínuo *feedback* ou ciclo causal.

Tecnicamente, os experimentos apresentados por Portugali (2000) se utilizam da combinação entre a estrutura espacial dos autômatos celulares e a flexibilidade e mobilidade dos agentes:

Considere a cidade como um jogo, constituído de dois níveis: o nível de infraestrutura, que é usualmente uma cidade composta por autômatos celulares, com seu espaço celular em duas dimensões, e no topo, o nível da superestrutura, dos agentes livres. Eles são agentes livres no sentido de que podem se mover de uma célula a outra, têm passado, têm planos para o futuro, têm intencionalidade, podem observar além de situações locais e suas observações são subjetivas, baseadas em mapas cognitivos. Estes mapas, ou percepções subjetivas, irão por sua vez determinar as ações e comportamentos dos agentes na cidade. Em resumo, cada agente livre é um sistema auto-organizado; cada um é um ser humano virtual. (PORTUGALI, 2000, p. 70, tradução nossa)

Mas o que exatamente são agentes? São inteligentes? Adaptativos? Itinerantes? Há tantas opiniões quanto os tipos de agentes. Alguns definem agentes como componentes de software ativos e persistentes que percebem, raciocinam e se comunicam. Outros pesquisadores adicionam mais algumas propriedades, como autonomia, direcionamento, reatividade. Há também aqueles que restringem os agentes a simples elementos interativos, sem poder de cognição.

Segundo Huhns e Singh (1998) há duas visões opostas (mas que podem ser complementares) sobre os agentes. Uma visão mais tradicional vê os agentes como entidades cognitivas que têm sentimentos, percepções e emoções, como os humanos. Uma visão alternativa é a de que agentes são meramente autômatos que se comportam exatamente como eles são programados e concebidos. Ainda de acordo com Huhns e Singh (1998), os agentes - em sua concepção original, proveniente dos estudos em Inteligência Artificial - podem também ser classificados de acordo com algumas características básicas: tempo de vida (temporário ou perene), nível de cognição (reativa ou deliberativa), autonomia, sociabilidade (autista ou interativo), mobilidade (estático ou dinâmico), entre outras.

A autonomia é intuitivamente relacionada à previsibilidade, que por sua vez está relacionada a todas as demais características. Quanto menos previsível o agente, mais autônomo ele parece. Esta característica está também relacionada à sociabilidade, pois um agente autista, segundo os autores, que não tem consciência sobre o ambiente ou sobre os agentes ao seu redor, tende a se comportar com autonomia absoluta. Por outro lado, pode-se entender como autonomia social aquela em que os agentes interagem com o meio, mas mantém certo nível de autonomia de ações. Acima de tudo deve-se entender que a autonomia de um agente, por mais extensiva, tende a ser restrita pelo fato de que os agentes serão sempre o resultado da programação humana, e que no final tendem a refletir, implicitamente, os objetivos de seus autores. Portanto, autonomia é realmente um aspecto bastante complexo, e dependente de características correlatas. A classificação entre agentes reativos ou deliberativos refere-se ao nível de cognição atribuído aos agentes, isto é, se eles simplesmente reagem a estímulos (células e agentes vizinhos, parâmetros espaciais e estatísticos), ou se eles deliberam (decidem) suas ações através da combinação entre regras, ambiente e parâmetros em geral. Estas características estão diretamente relacionadas a outras, como a capacidade evolutiva e

de aprendizado exercidas pelos agentes, o que irá depender do enfoque empregado no modelo específico.

Na maioria dos casos, os agentes são concebidos não em isolamento, mas como parte de um sistema composto por diversos agentes, interagindo uns com os outros, da forma mais simples (percepção) à mais complexa (comunicação) de sociabilidade. Por se tratar de um tema que apenas recentemente tem se difundido entre campos interdisciplinares, muitos conceitos e classificações ainda estão sob definição, e às vezes em aparente contradição. A idéia de agentes é realmente ampla, e a sua efetiva compreensão depende da ótica disciplinar sob a qual está sendo concebida. Na área computacional (Inteligência Artificial e campos correlatos) os agentes têm sido largamente aplicados como ferramentas elaboradas para a solução de problemas. Alguns autores, portanto, dividem os estudos sobre agentes entre aqueles que buscam soluções de problemas e aqueles que se utilizam do método como ferramenta exploratória de sistemas complexos. No último caso, o processo é mais importante que o produto, de forma que não interessa simplesmente a solução de um problema, mas a caracterização do mesmo. É neste último grupo onde se encaixam os experimentos apresentados nesta tese.

Alguns autores (O'SULLIVAN; HAKLAY, 2000) referem-se a Sistemas de Agentes Múltiplos (SAM) como sendo especificamente máquinas solucionadoras de problemas. Neste caso a idéia geral é a de que esses agentes atuam de forma descentralizada, porém orquestrada, em função de metas pré-definidas, isto é, os agentes cooperam entre si e são programados a cumprir uma tarefa coletiva. São, portanto, modelos de otimização.

Já os Modelos Baseados em Agentes (MBAs) seriam ferramentas mais especulativas, heurísticas, em que os agentes, que também atuam de forma descentralizada, não estão programados para atingir uma meta comum, ou para a concretização de uma tarefa pré-estabelecida. Eles simplesmente seguem regras locais, que podem ou não ser de

otimização. A grande diferença, neste último caso, é que o resultado global é emergente, isto é, não é programado ou estabelecido previamente, mesmo que no final apresente padrões de regularidade. Mas isto é uma mera questão de semântica, pois como veremos, há cientistas urbanos que têm desenvolvido experimentos heurísticos baseados em agentes simples e têm se referido ao método utilizado como sendo um SAM (BATTY, 2001).

Nesta tese, como convenção, os termos SAM e MBA irão se referir à mesma idéia genérica, isto é, ferramentas computacionais baseadas na utilização de agentes. Os fins (se heurísticos ou de predição), a natureza do agente (se agentes simples ou evolutivos) e outras peculiaridades serão detalhados em cada caso.

3.2 Favela – um modelo heurístico-descritivo

3.2.1 Modelos espaciais na escala local

Os modelos urbanos até então descritos apresentam como característica comum a referência à escala da cidade. Mesmo em se tratando de experimentos que destacam regras locais de vizinhança, a escala das partes elementares nesses modelos (células, no caso dos modelos baseados em ambiente celular), não permite a distinção clara dos detalhes da estrutura urbana, especificamente os edifícios e suas relações com os espaços abertos (ruas, pátios, becos, etc.). Os padrões espaciais resultantes desses modelos em geral descrevem regiões (grupos de cidades e assentamentos) ou zonas (manchas urbanas que se referem a uso do solo, grupos sócio-econômicos), mas raramente descrevem as unidades elementares da morfologia urbana, que se refletem na dualidade entre espaço construído (edificações) e espaço vazio (ruas e pátios). Questões como tipologia e topologia não estão presentes na maioria desses modelos, pela sua própria natureza disciplinar. Afinal, grande parte desses modelos está relacionada a estudos da Geografia Urbana (mais voltada à locação de usos e distribuição de zonas econômicas e sociais) e não a estudos da Morfologia Urbana (voltada para os estudos tipológicos e topológicos na escala local das unidades urbanas). Em síntese, poderíamos dizer que, enquanto a maioria desses modelos de baixa resolução (aos quais iremos nos referir como modelos geográficos) têm como principal objetivo compreender de que forma zonas urbanas (escala global) são ocupadas e delimitadas; os modelos de alta resolução (daqui em diante definidos como modelos morfológicos) buscam compreender de que forma os espaços urbanos (escala local) são construídos e reformulados.

O modelo FAVELA é concebido como uma ferramenta heurístico-descritiva que busca ao mesmo tempo reproduzir elementos da estrutura morfológica e especular sobre aspectos da lógica de desenvolvimento de assentamentos espontâneos.

Sobre a estrutura morfológica, mesmo considerando a característica comum da informalidade (assentamentos não-planejados), a conformação do sistema de ruas e a distribuição dos edifícios em assentamentos espontâneos podem se desenvolver das formas mais distintas (KOSTOF, 1991, 1992; LLOYD-JONES; ERICKSON, 1997; ROBERTS, 1996). Em alguns assentamentos, as estruturas das ruas e das edificações se desenvolvem simultaneamente, numa densidade relativamente baixa. Existem aqueles em que a estrutura dos espaços abertos precede o desenvolvimento das edificações. E finalmente, alguns assentamentos em que a estrutura construída se desenvolve a priori, independente de qualquer traçado de ruas. Esta última, em particular, é a lógica de desenvolvimento observada nos assentamentos espontâneos descritos no projeto FAVELA, isto é, aqueles que se desenvolvem em vazios urbanos, cercados por barreiras (avenidas, rios, ferrovias, limites de propriedade), e sob as restrições do tecido urbano das grandes metrópoles dos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. Nesses assentamentos, às vezes, algumas trilhas e passagens de pedestres podem resultar em ruas consolidadas, conectando casas a serviços locais, situados às margens do assentamento.

No que se refere à lógica que está subentendida no desenvolvimento, é essencial que qualquer experimento esteja fundamentado por algum tipo de teoria sobre o sistema que está sendo observado. No caso do modelo FAVELA, como já foi dito, *Emergência* é a palavra-chave, isto é, como o comportamento dos indivíduos está relacionado às regularidades macroscópicas e irregularidades observadas no ambiente construído. Neste caso, importam não apenas os padrões morfológicos resultantes, mas também as regras e os parâmetros que geram esses padrões.

Alguns modelos já foram propostos com o intuito de descrever assentamentos informais em sua escala local, valendo destacar os modelos agregativos de Hillier e Hanson (1984) e Erickson e Lloyd-Jones (1997). A aparente desordem e falta de lógica observadas em

vilas rurais na região de Vaucluse, no sul da França, são o ponto de partida e a inspiração morfológica para o modelo agregativo proposto por Hillier e Hanson (1984). Na descrição dos autores, essas vilas são grupos de pequenas e densas aglomerações de edificações, combinados de forma que parecem amontoados irregulares e desordenados, sem qualquer indício de lógica. Mas quando esses assentamentos, aparentemente desordenados, são comparados uns com os outros, a idéia de uma ordem sutil e subentendida vai aos poucos substituindo a impressão inicial de mera desordem ou de confusão de formas. Segundo Hillier e Hanson (1984), os assentamentos informais, vistos no plano, podem até parecer irregulares, pois não contêm certas propriedades geométricas e formais que estão normalmente associadas à idéia de ordem espacial. Mas quando se caminha entre os espaços, nota-se um tipo de ordem mais sutil e intrigante.

Os autores destacam que, apesar de distintos nos detalhes morfológicos, podem ser observadas algumas propriedades na estrutura desses assentamentos, as quais são destacadas pelos autores:

- a) cada edifício, individualmente, está voltado diretamente para um espaço aberto;
- b) a estrutura de espaços abertos é como um colar de contas, com partes maiores, outras partes menores, mas todas conectadas entre si.

O modelo agregativo proposto por Hillier e Hanson busca, portanto, reproduzir essa lógica morfológica observada nos assentamentos irregulares. A idéia é elaborar um modelo baseado em regras locais e unidades de agregação, que reproduza a forma global do assentamento, sem condicionantes globais, ou planos de desenvolvimento. Uma espécie de reprodução do processo natural de crescimento dos assentamentos reais, da escala local à global. Nessa perspectiva algumas questões são levantadas: Quais as regras locais e restrições espaciais que seriam necessárias para gerar esse tipo de estrutura? Dado um processo aleatório de combinação de elementos (como células) em uma superfície, que tipo de padrão global pode emergir, quando esse processo aleatório

é sujeito a formas distintas de restrições? Como indivíduos se relacionam espacialmente para gerar padrões espaciais globais?

Os autores se baseiam na crença de que mesmo a criação humana mais arbitrária não está dissociada de certas leis morfológicas, mesmo que essas leis sejam a princípio implícitas ou inconscientes. E argumentam que embora haja uma infinidade de relações e organizações espaciais possíveis, os princípios e as regras subentendidos na formação espacial são limitados. Em outras palavras, embora as formas possíveis de um assentamento sejam tão diversas, as relações espaciais que geram os mesmos são poucas, e podem ser descritas e enumeradas. O objetivo final, portanto, seria descobrir que tipos de regras, elementos geradores e restrições espaciais seriam necessários para gerar os padrões existentes de assentamentos.

É com base nessas especulações que Hillier e Hanson (1984) apresentam as regras básicas de seu modelo agregativo, denominado *beady-ring* (colar de contas). Trata-se de um modelo celular (que se desenvolve numa malha regular de células distribuídas em um sistema cartesiano), cuja unidade morfológica elementar é composta por um conjunto de duas células, conectadas face-a-face: uma célula fechada, representando o ambiente construído, e outra aberta, que irá formar o sistema de ruas e pátios. A combinação das duas células forma um módulo agregativo. Esses módulos são agregados aleatoriamente, seguindo apenas duas restrições: (i) cada novo módulo adicionado deve ter a sua parte aberta conectada a outra parte aberta; (ii) as células fechadas não se juntam a outra célula fechada pelo vértice. A estrutura resultante irá apresentar as propriedades que segundo os autores são características essenciais de assentamentos irregulares, como aqueles encontrados na zona rural ao sul da França.

Posteriormente, Hillier (2001) apresentou uma revisão de seu modelo agregativo original, considerando que a forma resultante das simulações apresentava algumas limitações estruturais, quando comparadas a assentamentos reais. Segundo Hillier, os

assentamentos informais reais tendem a formar uma estrutura de espaços contruídos composta por blocos (grupos de casas) mais compactos e menos lineares, e uma estrutura de espaços abertos com uma alta diversidade no tamanho das linhas axiais. Com base nessas observações, o autor propõe uma reformulação do *beady-ring*, através da inclusão de duas novas regras espaciais. Resumidamente, são propostas a lei da compactação (referente aos blocos) e a lei da centralidade (referente aos espaços abertos – linhas axiais). Na prática, são parâmetros globais introduzidos ao modelo de forma a ajustar e calibrar a simulação aos resultados desejados, pré-definidos. Trata-se, na verdade, de um processo de calibração do modelo original. O que era essencialmente um processo emergente, em que o sistema global complexo surgia de regras locais simples, torna-se um modelo de otimização em que as regras se tornam mais complicadas e o processo mais controlado, porém menos natural.

Bill Erickson e Tony Lloyd-Jones (1997), inicialmente inspirados no *beady-ring*, apresentam provavelmente o mais extensivo exercício de modelagem agregativa na escala local dos assentamentos. São modelos construídos basicamente para descrever diversos aspectos do desenvolvimento de assentamentos urbanos informais, inclusive assentamentos de baixa renda (favelas). Nesses modelos os autores procuram evitar a rigidez da malha regular bidimensional; modelam o sistema de ruas como um processo de crescimento que independe do crescimento do ambiente construído e modelam tanto o processo de crescimento quanto o de mudança de uso das edificações. A idéia é combinar o sistema de movimento (ruas) e o ambiente construído em um único modelo, mas de forma interdependente.

O objetivo inicial apresentado por Erickson e Lloyd-Jones é desenvolver uma série de modelos inter-relacionados, que possam descrever distintos aspectos da morfologia urbana: aglomerações ao longo de linhas de movimento, subdivisão de propriedades existentes; crescimento periférico e reestruturação de usos de acordo com a economia do movimento. Embora a ênfase seja nas relações local-global, os autores reconhecem a

importância das pressões globais sobre o desenvolvimento urbano, e para isso sugerem a inserção de parâmetros globais em adição às regras locais de desenvolvimento, informando o sistema numa espécie de *feedback*.

Os autores desenvolveram três grupos de experimentos, que são a princípio similares, mas que abordam aspectos distintos da evolução urbana de assentamentos informais. Apesar de originalmente baseados no modelo agregativo de Hillier e Hanson (1984), apresentam diferenças importantes. A diferença básica é que enquanto no *beady-ring* a unidade agregativa é um módulo de duas células, no modelo agregativo de Erickson e Lloyd-Jones, cada célula (construída ou aberta) é adicionada alternadamente, o que permite criar diferentes regras para o espaço construído e para o sistema de ruas e de espaços abertos.

O primeiro grupo de experimentos descreve o crescimento de um assentamento a partir de nós de desenvolvimento instalados ao longo de uma via hipotética. Esses nós podem representar serviços e infra-estrutura, como ocorre em alguns assentamentos, que se desenvolvem ao redor de pontos de água, comércios e paradas de ônibus, instalados ao longo de vias urbanas periféricas. No modelo, células de edifícios e células de ruas são adicionadas a cada iteração, aleatoriamente e alternadamente, a células existentes. As direções de cada nova célula (a face que deve receber células futuras) são definidas de forma probabilística, e o desenvolvimento do assentamento segue índices globais de crescimento, pré-definidos no modelo.

O segundo grupo é similar ao anterior, mas foi elaborado para explorar questões de mudança de uso e verticalização. Neste caso, o sistema de ruas se desenvolve linearmente à frente da estrutura construída. Este modelo foi construído em analogia às típicas vilas inglesas. As edificações mudam em forma e em uso, aspectos que dependem da localização da unidade construída na malha urbana em desenvolvimento.

O terceiro é ao mesmo tempo um modelo de crescimento e de subdivisão de lotes. O modelo assume uma prévia e semi-estruturada subdivisão do espaço em lotes e ruas. O sistema de ruas neste caso é mais linear e mais regular do que nos modelos anteriores. O desenvolvimento de cada novo lote no assentamento depende da forma em que o lote anterior está formatado. Tecnicamente, este modelo envolve alguns aspectos da *gramática da forma* (STINY, 1975 apud ERICKSON; LLOYD-JONES, 1997), discutida no subitem anterior deste capítulo, e está também baseado em parâmetros probabilísticos de desenvolvimento.

Os autores sugerem que esses modelos podem ser utilizados como ferramentas que exploram o impacto de intervenções sobre a forma final de determinadas estruturas urbanas e ressaltam que modelos agregativos como os apresentados, não têm como propósito realizar predições sobre a exata localização de edifícios e ruas, mas apresentar os possíveis padrões de desenvolvimento de assentamentos informais.

O projeto FAVELA pode ser diferenciado desses modelos agregativos nos seguintes aspectos:

- a) os experimentos agregativos são baseados em um processo de desenvolvimento em que novas células são adicionadas a células existentes. Os assentamentos descritos em FAVELA não crescem de forma agregativa (nos termos descritos acima). Trata-se de um crescimento baseado nas bordas do vazio urbano, que podem ser atrativas ou não-atrativas. Portanto, enquanto os experimentos agregativos sugerem nós, sementes ou ruas internas como geradores da estrutura urbana, no projeto FAVELA as avenidas e linhas de infraestrutura que margeiam o vazio urbano são os elementos que moldam o desenvolvimento. Conseqüentemente, enquanto nos modelos agregativos a estrutura construída se expande do centro à periferia, no modelo proposto a estrutura tende a crescer de forma inversa, isto é, das bordas para o centro;

- b) os modelos agregativos, de maneira geral, seguem uma seqüência alternada de agregação, de forma que apenas uma célula é adicionada a cada tempo da simulação. No FAVELA, o processamento é paralelo, isto é, o programa executa diversas ações, paralelamente, de forma simultânea, refletindo de maneira mais precisa o real processo de crescimento dos assentamentos informais;
- c) apesar dos dois tipos de experimento serem baseados em regras locais, o primeiro é centrado na combinação de regras e parâmetros estocásticos e aleatórios, isto é, células são adicionadas de forma aleatória, de acordo com parâmetros probabilísticos. O projeto FAVELA é um modelo baseado em agentes, em que as regras de certa forma descrevem o comportamento de indivíduos executando determinada tarefa, que no caso é a busca (baseada em caminhadas aleatórias) por espaços disponíveis para a ocupação.

É importante ressaltar que as diferenças apontadas acima não estão relacionadas à validade ou invalidade de um ou outro método ou ferramenta. De fato, como já foi argumentado, o exercício de modelagem está essencialmente baseado na questão do enfoque metodológico, que depende do fenômeno a ser descrito, do objetivo a ser buscado, e da teoria que está subentendida em tudo isso. É interessante observar, por exemplo, que a variedade de propósitos e objetivos relacionados ao exercício da modelagem computacional pode ser claramente percebida pela igual variedade de termos que se usam para se referir aos mesmos, como *simulação* (GILBERT; TROITZSCH, 1999), *jogo* (PORTUGALI, 2000), *sociedades artificiais* (EPSTEIN; AXTELL, 1996) e *estimulação* (RESNICK, 2000). Considerando que FAVELA combina aspectos de alguns desses termos, simultaneamente, vamos simplesmente nos referir ao mesmo como um *experimento heurístico*.

3.2.2 Emergência e auto-organização

O projeto FAVELA foi elaborado em *StarLogo* (RESNICK, 2000), software desenvolvido pelo Grupo de Aprendizado e Epistemologia do MIT (Massachusetts Institute of Technology, US) originalmente para a realização de projetos pedagógicos envolvendo agentes e sistemas complexos. Resnick, o criador do *StarLogo*, baseou-se nas idéias de descentralização e emergência para criar uma ferramenta exploratória e heurística, em que o objetivo básico não seria a simulação de fenômenos, mas a estimulação de idéias, provenientes da observação e, principalmente, da construção de sistemas complexos:

O mundo real serve como uma inspiração, um ponto de partida para se pensar a respeito de sistemas descentralizados. O interesse, portanto, está mais voltado à compreensão da lógica subentendida sob o comportamento do sistema, do que à exatidão do comportamento em si. Em resumo, é uma ferramenta voltada para a estimulação, ao invés da mera simulação. (Resnick, 2000, p. 49, tradução nossa).

StarLogo foi concebido como uma linguagem de computação paralela, de forma que os agentes podem atuar ao mesmo tempo, simultaneamente. Os agentes (definidos como *turtles* – tartarugas – na estrutura do programa) podem ser equipados com sensores, de forma que eles podem ser programados para cheirar ou perceber o mundo em sua volta. Segundo o autor, as relações de interação entre agente-agente e agente-ambiente são consideradas essenciais na construção de fenômenos auto-organizados. No *StarLogo* os agentes são entidades computacionais que se movimentam sobre uma malha regular composta por células. As células, por sua vez, possuem praticamente todas as potencialidades interativas dos agentes, com a exceção de que elas não se movem. A malha do *Starlogo* é como a malha dos autômatos celulares, de forma que a estrutura do programa pode ser resumida em agentes que se movem sobre (e interagem com) uma malha de autômatos celulares. Todos os tipos de interação são possíveis: agente-agente, agente-célula, célula-célula. O programa tem um enfoque especial nas interações locais,

o que o torna adequado à exploração de fenômenos auto-organizados e emergentes, em que a escala global emerge a partir de interações locais.

De fato, o principal objetivo envolvido no projeto FAVELA é o desenvolvimento de um modelo computacional baseado no processo de ações descentralizadas que geram o desenvolvimento de um assentamento espontâneo. O modelo é heurístico no sentido que está centrado em especulações sobre como simples regras locais poder resultar em estruturas complexas e emergentes (PORTUGALI, 2000). Em termos empíricos, visa demonstrar como pessoas sem qualquer liderança coletiva, na procura de um lugar para assentar suas casas ou abrigos, são capazes de construir tão intrigantes e surpreendentemente complexas estruturas espaciais que são as favelas. O modelo é descritivo, pois os principais resultados dos experimentos são informações gráficas que descrevem, de forma gráfica e sintética, o desenvolvimento espacial no processo de ocupação e adensamento que ocorre nessas estruturas informais.

No que se refere ao desenvolvimento do modelo, apesar da complexidade do tema, pode-se assumir uma categorização sintética, que identifica dois tipos básicos de enfoques. Há o enfoque que se utiliza de teorias para o desenvolvimento de modelos, e conseqüentemente está centrado na técnica; e há o outro que utiliza modelos na construção de teorias, e portanto centrado no objeto. O projeto FAVELA se identifica com este último enfoque, apesar de precisar da operacionalização do primeiro, pois neste caso o modelo é utilizado como uma ferramenta pedagógica, ou instrumento de aprendizado, como uma fonte dinâmica de novas idéias sobre emergência de sistemas espaciais urbanos, em especial os assentamentos espontâneos ou informais. Este aspecto do projeto, como já foi ressaltado, é o que justifica a utilização do *StarLogo* como linguagem e software para a construção do modelo.

É importante destacar, previamente, que em explorações do tipo *como interações locais levam a uma emergência global*, a grande atenção não deve estar voltada simplesmente

para a característica do objeto, enquanto entidade macroscópica, mas deve considerar a suficiência geradora das regras locais (EPSTEIN; AXTELL, 1996). FAVELA combina ao mesmo tempo regras locais para os agentes e regras celulares para o ambiente no qual os agentes interagem. Assim, enquanto a ação dos agentes modifica o ambiente construído, essas mudanças interferem na ação dos agentes, numa relação cíclica permanente. Em alguns casos o próprio comportamento dos agentes muda, dependendo dos parâmetros que são *lidos* no ambiente circundante. Por se tratar de um experimento relacionado à idéia de emergência, este projeto é baseado em simples regras locais, que guiam o comportamento de agentes através do espaço celular. Por isso, foram elaboradas regras as mais simples possíveis, considerando a natureza do experimento que se pretendia desenvolver: regras simples e locais, gerando sistemas complexos e globais.

Essencialmente, a lógica de desenvolvimento a ser traduzida pelas regras é baseada na idéia de que os assentamentos espontâneos intra-urbanos crescem em torno de bordas atrativas. Estas são bordas permeáveis – que permitem acessibilidade - conectadas a vias, linhas de infra-estrutura, serviços, ou de transportes. Em outras palavras, sugere-se que o *sem-teto* (representado por agentes computacionais), uma vez dentro do vazio urbano escolhido para a ocupação, prioriza a procura de espaços disponíveis para ocupação pelas bordas do vazio urbano que permitam acessibilidade à cidade formal.

Tecnicamente, pode-se dizer que FAVELA é um modelo baseado em agentes e em caminhadas aleatórias sobre um espaço celular, limitado por bordas atrativas e não-atrativas. O termo atratividade, nesse sentido, não se refere ao poder magnético, mas à tendência ou probabilidade de agregação. Portanto, os agentes do modelo proposto não seguem gradientes ou rastros em direção às bordas; mas uma vez lá (a partir das caminhadas aleatórias), tendem a se aglomerar ao seu redor, ou não, dependendo dos parâmetros envolvidos. Em resumo, no modelo proposto a regra local pode ser traduzida através do seguinte conjunto de tarefas, que compõem as intenções de cada agente:

- a) caminhe aleatoriamente ao longo do vazio urbano até encontrar uma borda atrativa ;
- b) ao encontrar essa borda, procure um espaço disponível para assentar a sua casa;
- c) se achar espaço, construa. Senão, continue procurando.

A essas tarefas são adicionadas restrições, como:

- d) não construa sobre áreas já ocupadas por outro agente;
- e) não construa no lado formal da cidade. Apenas no vazio urbano.

Essas regras e restrições são escritas na forma de algoritmos (regras computacionais), que deverão ser seguidos por todos os agentes, simultaneamente, a cada iteração do experimento. O diagrama da figura 3.1 descreve, em síntese, como a regra local está estruturada na forma de um conjunto de ações condicionais (se isso, então aquilo, senão aquilo outro), a cada espaço de tempo (iteração computacional).

O primeiro comando, CAMINHAR, orienta os agentes a literalmente vaguearem pelo espaço celular, cuja direção é determinada por parâmetros de aleatoriedade (definidos previamente pelo usuário do programa). A cada passo dessa caminhada, o agente precisa agir conforme ações condicionais. Cada símbolo (?), indicado no diagrama da figura 3.1, refere-se a uma ou a uma série de ações condicionais, isto é, significa que naquele ponto do algoritmo, o agente é perguntado sobre a sua situação, ou sobre a situação do ambiente em sua volta. Dependendo da resposta, o agente seguirá por um, entre dois ou mais caminhos possíveis. O primeiro símbolo (?) do diagrama está situado logo após o comando CAMINHAR, e representa o seguinte conjunto de ações condicionais:

Comando: CAMINHAR

Ação Condicional 1

SE (agente computacional) está inserido no vazio urbano

ENTÃO desloca-se uma célula adiante (parâmetros aleatórios de direção)

SENÃO (Ação Condicional 2)

Ação Condicional 2

SE (agente computacional) encontrou uma borda atrativa

ENTÃO verifica a disponibilidade de espaço para construir (CHECAR)

SENÃO RETORNAR

As ações condicionais 1 e 2 basicamente definem o comportamento dos agentes entre as decisões de caminhar e de procurar um espaço para construir. O comando RETORNAR é um recurso que impede o agente de caminhar fora do vazio urbano e que mantém o sistema alimentado de agentes, permanentemente, caminhando e procurando por espaços. O comando CHECAR é ativado quando o agente encontra uma borda atrativa (identificada, assim como os demais elementos do ambiente virtual do programa, pela cor da célula). Como se pode observar no diagrama da figura 3.1, o comando CHECAR está ligado a outro conjunto de ações condicionais, representadas pelo segundo símbolo (?) situado no diagrama, abaixo do respectivo comando. Essas ações por sua vez, estão conectadas a outro conjunto de símbolos, representados por (!), que se referem a certos parâmetros-chave no experimento. Dependendo dos mesmos, a estrutura final do assentamento pode apresentar padrões que variam do ordenado ao desordenado, de dispersos a altamente densos e fragmentados. A ação condicional vinculada ao comando CHECAR é a seguinte:

Comando CHECAR

Ação Condicional 3

SE existe espaço disponível para construir

ENTÃO CONTRUIR

SENÃO procurar espaço para contruir (PROCURAR)

A ação condicional 3 leva o agente a construir, caso haja espaço disponível, ou a procurar por espaço, caso não haja. Essa disponibilidade de espaços depende diretamente dos parâmetros-chave (!) indicados no diagrama. O parâmetro (!) vinculado ao comando CONSTRUIR está relacionado ao tipo de edificação que o agente está programado a executar. Originalmente, este parâmetro é definido pelo usuário do programa do início do experimento, e em alguns casos essa tipologia pode mudar, de acordo com informações globais ou locais sobre o assentamento em desenvolvimento (aspecto a ser detalhado nas seções seguintes). O símbolo (!) vinculado ao comando PROCURAR refere-se ao conjunto de três parâmetros que, como poderá ser observado nos experimentos, são os elementos fundamentais para os possíveis e variados padrões morfológicos do assentamento. Os parâmetros são *aleatoriedade*, *extensão* e *tipologia*, e se referem respectivamente ao intervalo angular que limita a provável direção a ser seguida a cada passo da caminhada; o intervalo, ou número de passos, entre cada procura; e a forma da unidade a ser construída (vide interface do usuário) pelo agente no espaço disponível encontrado. Esses parâmetros serão fundamentais em aspectos como dispersão, adensamento, regularidade ou irregularidade do padrão morfológico resultante dos experimentos. Ainda observando o diagrama (figura 3.1), nota-se o símbolo (F), que está relacionado ao comando CHECAR. Trata-se do *feedback*, um elemento fundamental para a estruturação conceitual do experimento. No diagrama de emergência de Chris Langton (LEWIN, 1994) - figura 3.1, que trata da dinâmica de sistemas complexos, a idéia é a de que as interações locais, responsáveis pela formação do sistema, também dependem de informações globais do sistema, que por sua vez

resultam das interações locais, numa espécie de processo cíclico e contínuo, definido como *feedback*. Em um dos exemplos dos experimentos realizados no modelo FAVELA (detalhado mais adiante), esse processo de *feedback* é apresentado da seguinte forma: a cada etapa, os agentes são informados sobre a densidade global do assentamento. Se a densidade ultrapassa determinado limite, a tipologia construtiva muda, e muda também a forma de atuação local dos agentes.

Como se pode observar no diagrama, o comando PROCURAR leva o agente novamente ao comando CHECAR, de forma a permitir que se estabeleça uma busca contínua por espaços disponíveis, que apenas se encerra quando um espaço é encontrado, e o agente constrói seu espaço. Já o comando CONSTRUIR, etapa final da regra local dos agentes, está vinculado ao comando RETORNAR, que, como já foi explicado acima, trata-se de um recurso computacional utilizado para manter um fluxo contínuo de agentes atuando no sistema. Esses aspectos traduzem a dinâmica natural de formação dos assentamentos, no sentido de que o assentamento se estabiliza naturalmente, isto é, a busca por espaços disponíveis nunca cessa, os espaços disponíveis para ocupação é que se tornam escassos. O que ocorre, portanto, é um estado natural de consolidação, em que os agentes continuam caminhando e procurando, mesmo que não haja mais espaços disponíveis. Por isso, no programa, há um fluxo contínuo de agentes que buscam, incessantemente, por espaços para ocupação. Evidentemente, algumas dessas considerações podem ser revistas e adaptadas, de forma a explorar aspectos distintos do processo de desenvolvimento dos assentamentos informais (como estabelecer exaustão para os agentes, na procura por espaços; ou definir limites para o fluxo de agentes, em função de parâmetros globais ou locais). Afinal, em exercícios de modelagem, as possibilidades são tão variadas quanto as hipóteses de desenvolvimento urbano.

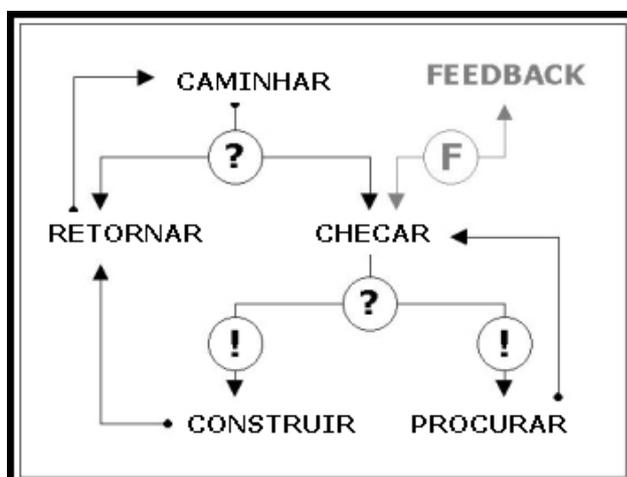


Figura 3.1 - Acima: diagrama sintético da regra local a ser seguida por cada agente no programa FAVELA. Abaixo: o conhecido diagrama proposto por Chris Langton, sobre a emergência em sistemas complexos (Editado a partir da fonte: Lewin, 1994)

3.2.3 Interface do usuário

A interface de um modelo ou programa é o conjunto de elementos acessíveis ao usuário na manipulação ou condução de um experimento ou simulação. Muitos dos modelos são construídos de maneira inacessível, de forma que apenas o criador, ou um número restrito de especialistas, pode manipular os dados e entender os resultados. Devido ao perfil heurístico-descritivo dos experimentos propostos, o modelo FAVELA é operacionalizado através de uma interface gráfica, auto-explicativa e de fácil manipulação por usuários que desconhecem as engrenagens e os algoritmos implícitos na programação. A interface gráfica é essencial para modelos morfológicos, uma vez que a estrutura espacial pode ser visualizada em telas através de imagens gráficas bidimensionais; os parâmetros podem ser ajustados facilmente através de botões, *sliders* e painéis; variáveis podem ser visualizadas através de monitores, e os resultados, avaliados através de gráficos, que representam a evolução do assentamento. A cada experimento, o usuário dispõe de uma série de opções de parâmetros e ambientes gráficos que resultarão numa variedade de estruturas possíveis. O botão SETUPREGULAR desenha automaticamente na tela gráfica uma área regular (de forma retangular) a ser desenvolvida. As bordas, neste caso, serão todas atrativas (cinza claro na figura 3.2). Caso o usuário decida rodar o experimento em uma área irregular, ou baseada em uma área real específica, isso pode ser feito através do botão SETUP&DRAW, que limpa a tela, e da manipulação de ferramentas gráficas existentes na interface do programa, que permitem o desenho de áreas personalizadas. Neste caso, o usuário deverá usar as cores padrões indicadas no modelo, que correspondem a diferentes padrões de ambiente construído: vazio urbano a ser ocupado (cor cinza); borda atrativa (cor vermelha - cinza claro na figura 3.2) e borda não-atrativa (cor azul - cinza escuro na figura 3.2). O botão SETUP&KEEP é útil para a preservação do ambiente gráfico (vazio urbanos e respectivos limites) na reinicialização do experimento, em que serão estabelecidos novos parâmetros para os agentes. O botão GO aciona automaticamente os botões DEVELOP e

GRAPH-IT, que dão início, respectivamente, à ação dos agentes e ao registro da evolução do assentamento em um gráfico. Isso significa que o modelo está rodando, de acordo com as regras programadas e os parâmetros definidos. Em algumas versões de FAVELA, há ainda o botão FEEDBACK, que aciona o processo cíclico de informação entre agentes e ambiente construído, descrito na seção anterior.

A estrutura resultante, como já foi comentado, depende de alguns parâmetros que podem ser especificados pelo usuário. Os parâmetros são os seguintes:

CORDX e CORDY: definem o lugar (coordenadas) de onde os agentes vão iniciar a caminhada aleatória, na busca por espaços disponíveis para construção. Referem-se, respectivamente às coordenadas no eixo horizontal (x) e vertical (y) da tela gráfica.

STEP ou EXTENSÃO (E) - número de passos: define o número de passos entre cada busca (comando PROCURAR) por espaços disponíveis. Se o valor é 1, por exemplo, o agente irá checar a disponibilidade de espaços após ter dado um passo adiante. Já se o valor for 5, o agente checará a disponibilidade de espaços após o quinto passo. Em outras palavras, se o valor de E é baixo, a procura é mais freqüente e localizada; se o valor é alto, a procura é menos freqüente e menos localizada.

TYPE - Tipologia de construção (C): define o tipo de módulo que está sendo construído pelo agente. Cada módulo é composto por pelo menos uma célula que representa o espaço construído e outra, que representa o espaço aberto (jardim, quintal ou rua). O espaço construído é representado por uma célula na cor preta, enquanto o espaço aberto é representado por uma célula na cor cinza claro. No painel de interface do usuário, a tipologia deverá ser escolhida entre três tipos. Se a tipologia especificada é 1, o agente irá construir basicamente módulos compostos por uma célula construída e outra aberta, conectadas face a face. Se a tipologia é 2, o agente contruirá um módulo em forma de "L", em que uma célula construída está conectada a duas células abertas. Finalmente, no

caso da tipologia 3, o agente irá implantar uma "célula construída" conectada a dois espaços abertos conectados através de faces opostas (como a relação quintal-casa-jardim).

RAND - Intervalo Angular ou Aleatoriedade da Caminhada (A): refere-se ao intervalo angular dentro do qual deverá estar a provável direção de cada passo na caminhada do agente. Esse parâmetro é o principal elemento na definição da aleatoriedade da caminhada dos agentes. Se o número especificado é 120, por exemplo, isto significa que a direção a ser seguida pelo agente será algum número (angular) entre $+120^\circ$ e -120° , o que indica uma alta aleatoriedade na caminhada. Caso seja especificado 5, a direção terá um valor entre $+5$ a -5 graus, o que significa um pequeno intervalo angular de 10° , isto é, uma caminhada menos aleatória e mais regular.

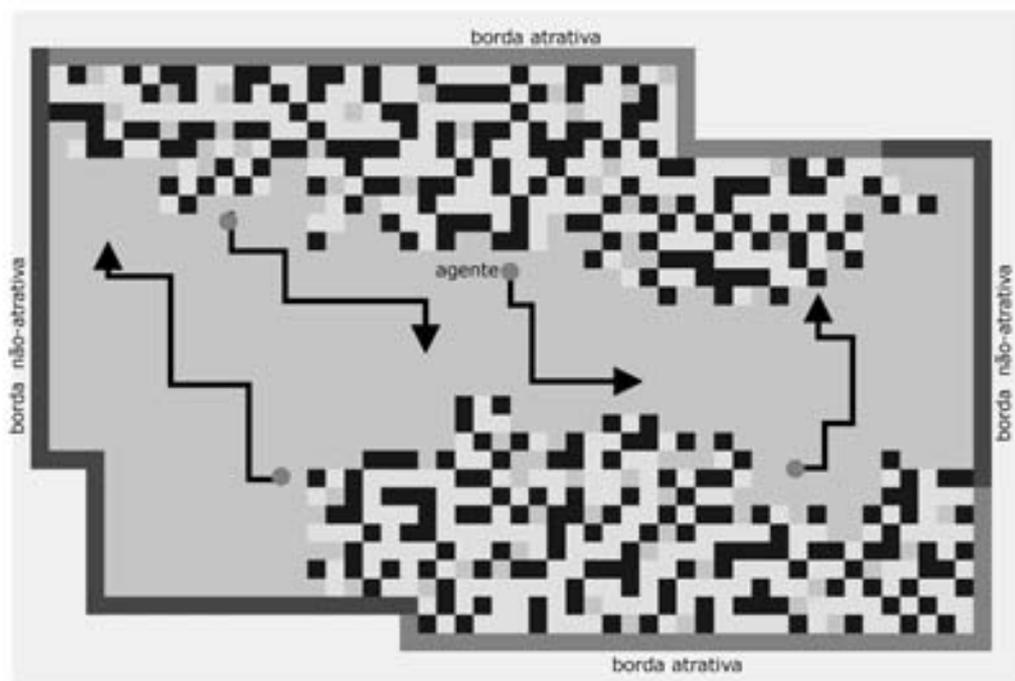
AGENTS: este parâmetro define o número de agentes que deverão estar operando, simultaneamente, no sistema. Quanto maior o número de agentes, mais rápido ocorrerá o desenvolvimento do assentamento. Alguns aspectos da estrutura morfológica resultante também podem ser afetados por esse parâmetro.

Como já foi dito, além da tela gráfica, propriamente dita, que apresenta a estrutura espacial do objeto que está sendo simulado, pode-se acompanhar o desenvolvimento através de outros meios, como os monitores e os gráficos. No formato original de FAVELA há cinco monitores que permitem o acompanhamento em tempo real e a análise estatística sobre o que está ocorrendo na simulação. Esses monitores contam o tempo, o número de espaços abertos, indicam a área total do vazio urbano hipotético, o número de casas (células construídas) e a densidade global do assentamento (número de células que representam casas, dividido pelo número de células que representam o vazio urbano original). O gráfico pode ser formatado para descrever a evolução ou oscilação de quaisquer das variáveis descritas, incluídas no experimento. Particularmente, nos exemplos a serem apresentados a seguir, o gráfico indica a evolução da densidade global

em função do tempo (número de iterações). Enfim, há diversas maneiras de se desenvolverem experimentos. Mudanças em parâmetros significa mudança na estrutura espacial resultante. Portanto, para cada parâmetro, ou conjunto de parâmetros a serem definidos, é importante checar o tipo de configuração que surge em consequência do mesmo.

Evidentemente, é importante que no primeiro momento alguns parâmetros sejam fixos, e apenas um ou dois possam ser variados ao longo dos experimentos, para que se possa viabilizar uma análise mais lógica e causal dos padrões espaciais e estatísticos resultantes. Vale notar, por exemplo, a variedade de padrões que surgem em função da simples mudança na aleatoriedade da caminhada (RAND), de 0 a 180; ou o quanto densas ou dispersas estarão as casas, dependendo da tipologia construtiva definida. Podem-se explorar variações nos números e nos tipos de bordas, entre atrativas e não-atrativas, assim como variações na forma e na dimensão relativa do vazio urbano. Serão apresentados a seguir alguns experimentos e as respectivas interpretações, baseadas nos padrões espaciais resultantes.

FAVELA Interface do Usuário



tipologia 1



tipologia 2



tipologia 3

Figura 3.2 - representação da interface do usuário do programa Favela, incluindo os principais controladores de inicialização e formatação do modelo. Abaixo da interface, observam-se as três tipologias possíveis para os agentes.

3.2.4 Favela 1 – abstrações e exemplos genéricos

É interessante observar como as mudanças efetuadas nos parâmetros estão relacionadas ao comportamento dos agentes e como a dinâmica destes afeta a configuração geral da estrutura morfológica do assentamento que está sendo modelado. Na figura 3.3 apresenta-se uma matriz que contém um conjunto de padrões resultantes de experimentos, elaborados a partir do modelo FAVELA. De forma a facilitar as referências aos padrões ilustrados e aos experimentos seguintes, são utilizadas as seguintes convenções:

Tipologias de Construção (Cn): C1 (tipologia 1); C2 (tipologia 2); C3 (tipologia 3)

Tempo de processamento ou número de iterações (Tn): T100 (100 iterações) ... Tn (n iterações)

Aleatoriedade da caminhada (An): A30 (intervalo angular ± 30) ... An (intervalo angular $\pm n$)

Extensão da procura (En): E1 (1 célula entre cada procura) ... En (n células entre cada procura)

Analisando-se a matriz verifica-se, por exemplo, que o conjunto de ilustrações referente à combinação de parâmetros [C1,A30,E1] corresponde à estrutura gerada a partir da aglomeração de módulos celulares de tipologia construtiva 1; em que a aleatoriedade da caminhada varia de +30 a -30; e os agentes checam por espaços disponíveis a cada passo da procura (extensão 1). Na matriz, a estrutura resultante dessa combinação de parâmetros é representada em dois tempos: T100 (100 iterações) e T200 (200 iterações). Os exemplos apresentados na matriz revelam claramente que, dependendo dos valores especificados para os parâmetros, o padrão espacial pode variar de estruturas ordenadamente dispersas [C2,A30,E1], a estruturas irregulares e densas [C1,A150,E1].

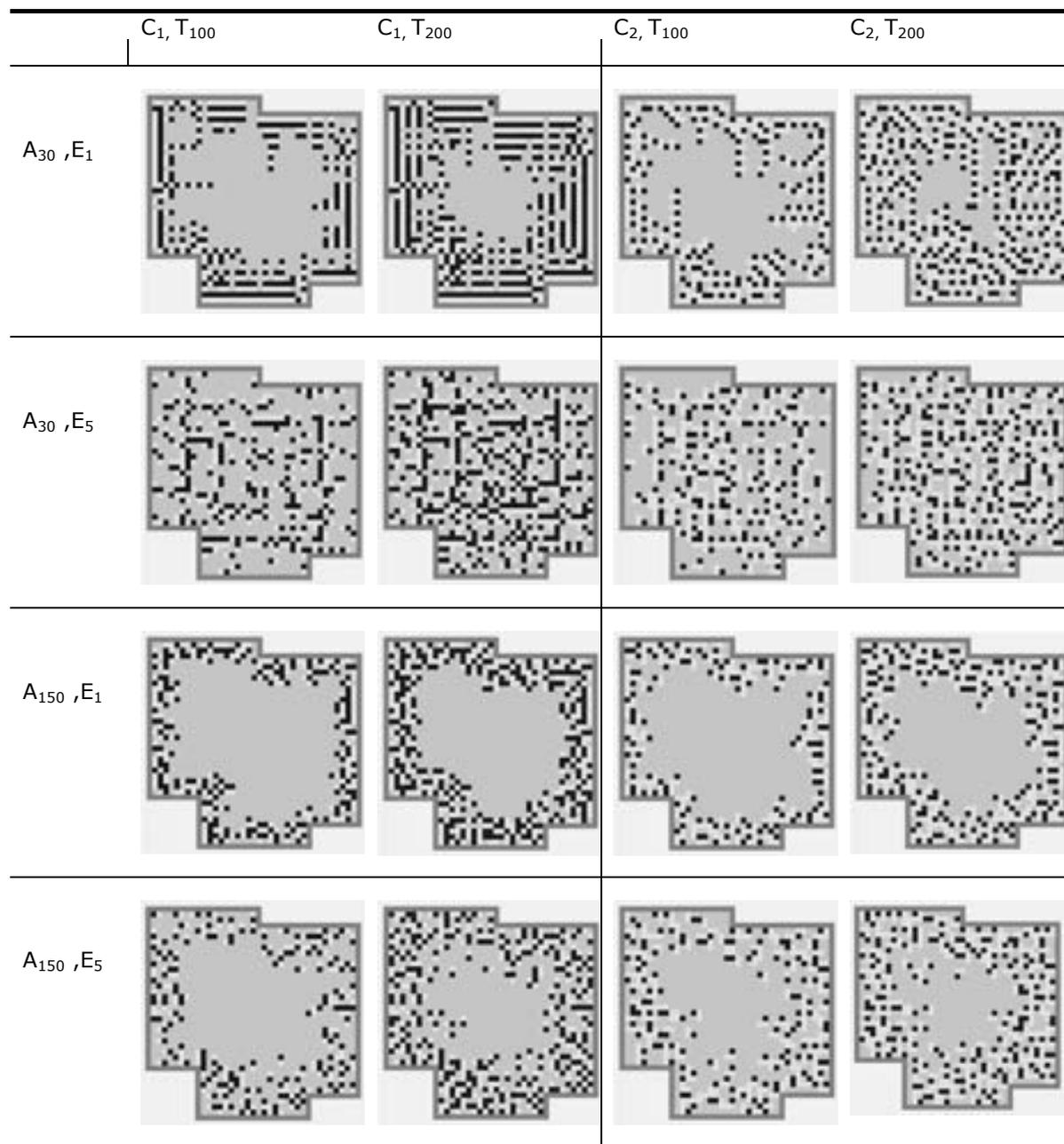
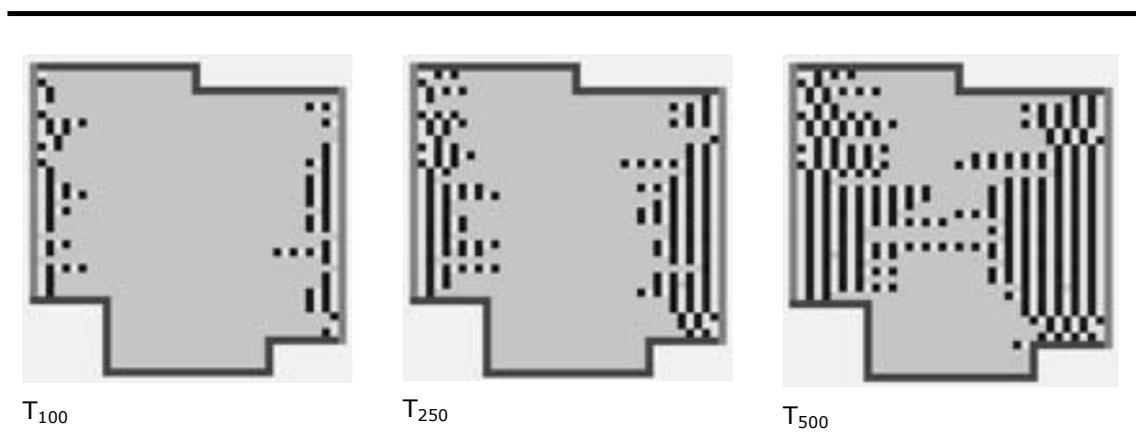


Figura 3.3 - Conjunto de exemplos de padrões morfológicos, gerados a partir de diversas combinações de parâmetros associados aos comportamentos dos agentes no programa FAVELA.

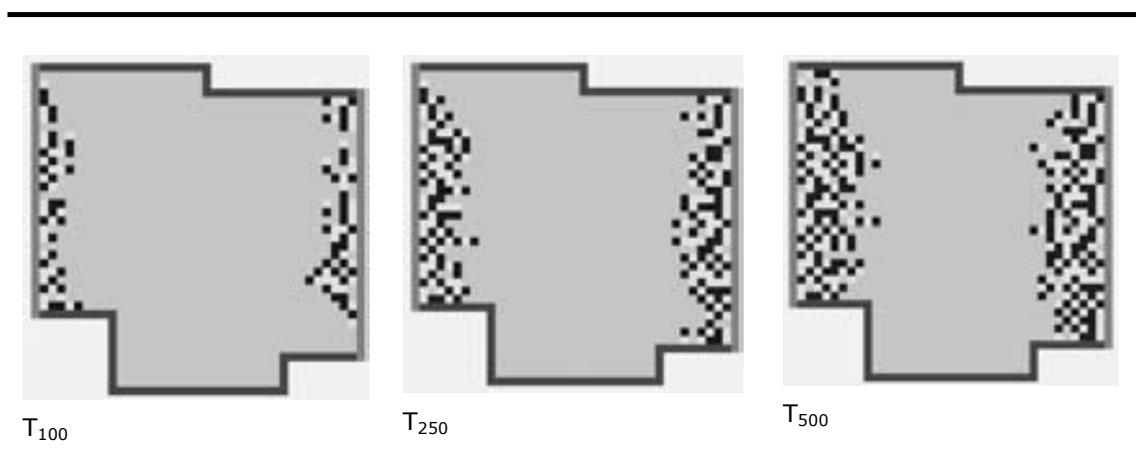
Em alguns casos as edificações se aglomeram em fileiras surpreendentemente regulares [C1,A30,E1] ou até mesmo padrões mistos, como representado em [C1,A30,E5]. Naturalmente, os experimentos baseados na tipologia 1 tendem a resultar em estruturas mais densas, quando comparados àqueles baseados na tipologia 2. Pode-se observar também que os experimentos baseados em C2 resultam em assentamentos de baixa diversidade no tamanho das ilhas (grupos de casas), uma vez que a tendência para essa tipologia é a formação de casas isoladas. Por outro lado, a combinação [C1,A150], seja para pequenas ou grandes extensões de procura (E), tende a gerar configurações altamente densas, com tamanhos diversificados de ilhas.

Vale lembrar que as estruturas morfológicas dependem não apenas dessas combinações de parâmetros, mas principalmente do número, forma e localização das bordas atrativas existentes no espaço a ser ocupado. Por exemplo, se um determinado vazio urbano está margeado em apenas um dos lados por uma rua ou avenida que indique atratividade, o desenvolvimento deve ocorrer de forma diferente daquela área que está completamente circundada por avenidas de interesse comercial e que está limitada por divisa de propriedade (elemento não-atrativo) em apenas uma de suas bordas.

Podemos observar na figura 3.4, por exemplo, como a combinação [C1,A30,E1] se desenvolve na situação em que a área é cercada por bordas atrativas nos lados direito e esquerdo e bordas não-atrativas nos lados superior e inferior. O experimento 1 apresenta exemplos que se referem respectivamente aos estágios 100, 250 e 500 (número de iterações), gerados a partir do conjunto de parâmetros [C1,A30,E1]. As ilustrações indicam um padrão de assentamento relativamente regular, composto por fileiras de casas, que se desenvolvem paralelamente a partir de cada lado atrativo. Nota-se, por consequência, que enquanto nas proximidades dessas bordas a estrutura é mais densa, na região central o desenvolvimento é tardio e esparso.



Experimento 1 - [C1,A30,E1]



Experimento 2 - [C1,A150,E1]

Figura 3.4 - seqüências de experimentos. Acima: Experimento 1, rodado sob a combinação de parâmetros [C1,A30,E1], tendo como bordas atrativas as margens direita e esquerda do assentamento, onde se observa o desenvolvimento relativamente regular, em função da regularidade da caminhada (A30). Parte inferior: Experimento 2, combinação [C1,A150,E1], que se diferencia do primeiro pela alta aleatoriedade da caminhada (A150), gerando uma estrutura mais irregular, e portanto mais próxima da situação real.

Se em outro exemplo tomarmos o mesmo padrão de bordas, mas com uma outra combinação de parâmetros, neste caso [C1,A150,E1], o resultado será um padrão irregular, devido à alta aleatoriedade da caminhada, como se pode observar no experimento 2 da mesma figura. Veremos que o assentamento se desenvolve de forma mais lenta, concentrando-se nas bordas, uma vez que os agentes procuram em um intervalo maior de direções. Isso faz com que a densidade p (número de células ocupadas por casas em relação ao número de células do vazio urbano hipotético) seja maior ($p = 0.25$) no conjunto 1, se comparada à densidade global do conjunto 2 ($p = 0.15$), no mesmo estágio de desenvolvimento (T500). No conjunto 1, o pequeno intervalo de direções possíveis restringe a aleatoriedade dos agentes na procura por espaços, gerando um processo de ocupação mais direto, e portanto mais regular. Se formos comparar a assentamentos reais, o conjunto 1 não parece se referir ao processo de crescimento natural e descentralizado, devido à relativa regularidade formal. Mas, como será mostrado adiante, em determinados casos em que pré-existem no vazio urbano linhas regulares de infra-estrutura, até o desenvolvimento descentralizado pode levar a padrões relativamente regulares.

3.2.5 Favela 2 – experimentos com *feedback*

Um outro aspecto importante a ser experimentado é a inserção de *feedback*, como proposto nos diagramas que descrevem a regra local e a emergência de sistemas complexos (figura 3.1). A questão do *feedback* é ao mesmo tempo importante e complicada no estudo de sistemas emergentes. Neste caso, especificamente, os agentes são alimentados com informações globais, e com base nas mesmas mudam o seu comportamento, que por sua vez muda a forma de desenvolvimento do ambiente construído. Mas até que ponto os indivíduos reais estão conscientes sobre informações globais do sistema em que estão operando? Considerando que nessa lógica de *feedback* os agentes atuem com base em informações colhidas no ambiente, de que forma o comportamento dos mesmos deve ser afetado em função de tais informações? De fato,

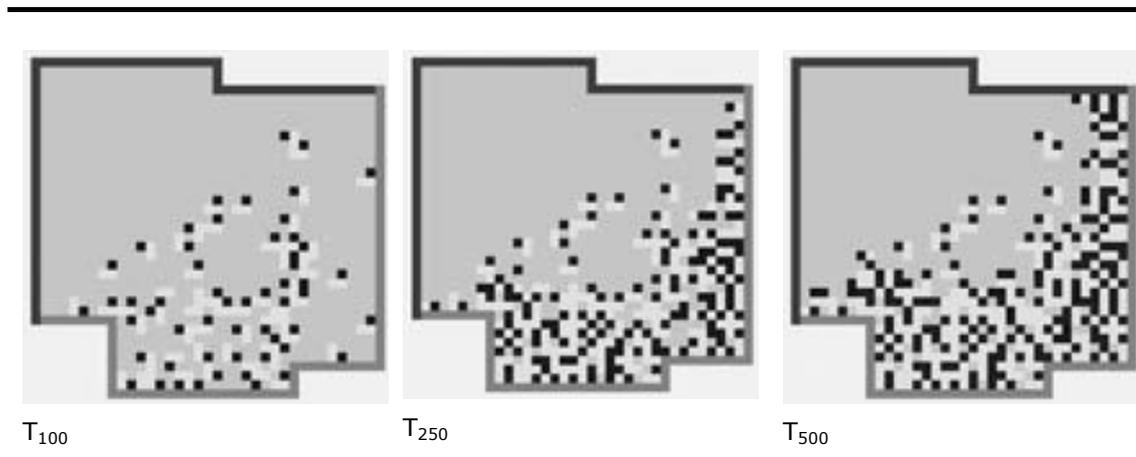
como se pode presumir, não há uma resposta definitiva a essas questões. Mas considerando a natureza heurística destes experimentos, acredita-se que alguns aspectos envolvidos no processo de desenvolvimento do assentamento real podem ser interpretados e adaptados ao modelo proposto. No caso de assentamentos que se desenvolvem em áreas limitadas por divisas, ruas ou barreiras, como os descritos no modelo FAVELA, acredita-se que um dos principais aspectos a serem considerados numa relação de *feedback* seria a relação entre padrões construtivos e limites de densidade.

Acredita-se (com base em observações empíricas em assentamentos de Recife e em anotações e ilustrações em PAYNE, 1977) que em alguns casos reais de assentamentos espontâneos, o desenvolvimento ocorre em duas etapas. Na primeira, ocorre uma ocupação mais dispersa, em que os indivíduos tendem a se assentar de forma isolada, com unidades habitacionais maiores e procuram espaços de forma menos localizada, devido à disponibilidade de área e à provável falta de urbanização do entorno. Num segundo momento, devido ao crescimento da densidade e escassez de espaços disponíveis, as pessoas adaptam a tipologia construtiva para módulos mais restritos espacialmente (menores) e procuram por espaços de forma mais localizada, em que a provável direção está num maior intervalo angular. Como conseqüência, os aglomerados de habitações (ilhas) começam a se formar e a diversidade aumenta, uma vez que os espaços entre as casas começam a ser preenchidos. Esse processo é comum em assentamentos que inicialmente apresentam características rurais e periféricas e que, com o crescimento da cidade, acabam fazendo parte da malha e da estrutura urbana, o que faz com que haja uma mudança da forma de desenvolvimento, caracterizada pela densidade e pela fragmentação (diversidade no tamanho das ilhas). Nesses casos a ocupação, que se inicia através da construção de lotes isolados, incluindo maiores espaços abertos (como jardim, horta ou quintal), passa a ser caracterizada pela aglomeração de lotes menores, conectados uns aos outros.

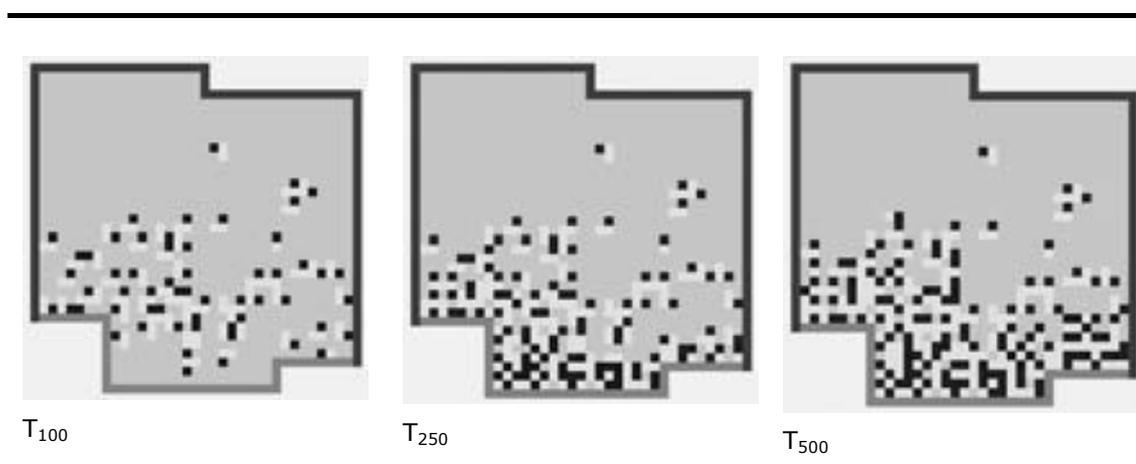
Esse processo pode ser exemplificado no modelo FAVELA através de um processo de *feedback*, como já foi mencionado, em que a densidade global do assentamento define mudanças no comportamento do agente. Em outras palavras, a partir de certo limite de densidade, os agentes passam a construir segundo uma nova regra, baseada num conjunto de parâmetros que envolvem o intervalo de direções (aleatoriedade - A_n), a tipologia construtiva (C_n) e a extensão da procura (E_n), como pode se verificar nos exemplos da figura 3.5, descritos a seguir.

O experimento 3, apresentado na figura 3.5, descreve o desenvolvimento de um assentamento hipotético em uma área onde as bordas atrativas estão situadas nas faces inferior e direita. O desenvolvimento se inicia de acordo com a combinação [C_2, A_{45}, E_{10}] e, quando o limite de densidade global é alcançado (0.05), o comportamento dos agentes muda, passando a ser descrito pelos parâmetros [C_1, A_{180}, E_1]. Isso significa dizer que o processo de ocupação se inicia de forma dispersa, espalhada, a partir das bordas atrativas, resultando numa estrutura morfológica basicamente composta por casas isoladas.

Depois de um período de tempo, quando a disponibilidade de espaços é relativamente mais restrita, as novas casas passam a se aglomerar às existentes, provocando mudança do padrão morfológico. Os exemplos da figura 3.5 referem-se a momentos distintos na evolução do assentamento (T100, T300 e T500). O limite de densidade foi alcançado no tempo T100, que indica a mudança de comportamento dos agentes. A mudança de padrão é clara, de acordo com as figuras.



Experimento 3 - [C2,A45,E10] >> [C1,A180,E1]



Experimento 4 - [C2,A45,E10] >> [C1,A180,E1]

Figura 3.5 - seqüências de experimentos em que a simulação é caracterizada pelo "feedback" do ambiente ao agente. Mais especificamente, quando determinado limite de densidade global do sistema é alcançado, os agentes mudam de comportamento (parâmetros). Acima: Experimento 1, bordas atrativas à direita e na margem inferior, rodado sob a combinação inicial de parâmetros [C2,A45,E10], que após o limite de densidade passa a ser [C1,A180,E1]. Parte inferior: Experimento 2, combinação inicial [C2,A45,E10] e após limite de densidade, [C1,A180,E1]. Nota-se, nos dois exemplos, que a ocupação se inicia dispersa e com a mudança de parâmetros passa por um processo acelerado de adensamento em torno das bordas, exatamente em função da redução no intervalo de passos (extensão - E) de cada procura.

Se o mesmo experimento for desenvolvido para uma área que apresenta apenas uma borda atrativa (localizada na porção inferior), com o mesmo conjunto de parâmetros e limite de densidade, a estrutura resultante será como a indicada no experimento 4, da figura 3.5, em que as ilustrações correspondem aos mesmos intervalos de iteração do experimento anterior.

Todos esses exemplos são bastante úteis para a discussão sobre a interferência de barreiras, bordas e parâmetros locais no desenvolvimento de um assentamento espontâneo. Um exemplo real, que aparentemente se desenvolveu segundo a combinação de alguns dos processos descritos nos experimentos anteriores, é o assentamento Ashaimain, na região metropolitana de Acera, em Ghana (PAYNE, 1977). Apesar de não se referir a um típico assentamento intra-urbano, devido à sua localização originalmente periférica, baseada em um assentamento de características inicialmente rurais, o processo de desenvolvimento mostra-se condicionado aos limites territoriais, às vias de acesso, às linhas de infraestrutura e às barreiras naturais, como nos assentamentos intra-urbanos. A figura 3.6 mostra um dos raros registros indicativos da evolução de um assentamento espontâneo. A ilustração do lado esquerdo corresponde ao assentamento em seu estágio inicial de desenvolvimento, enquanto o lado direito apresenta a forma consolidada do mesmo assentamento, treze anos depois. Neste caso, podem-se observar três padrões morfológicos, marcados ao mesmo tempo por distinções e similaridades.

A área indicada pela letra A, na figura 3.6, está conectada a apenas uma borda atrativa, na face inferior da referida porção do assentamento, e está limitada à esquerda e à direita por áreas pantanosas (não-atrativas). A conformação espacial resultante se assemelha aos experimentos indicados no experimento 4, onde existe alta densidade nas proximidades da borda atrativa, e dispersão em direção ao topo.

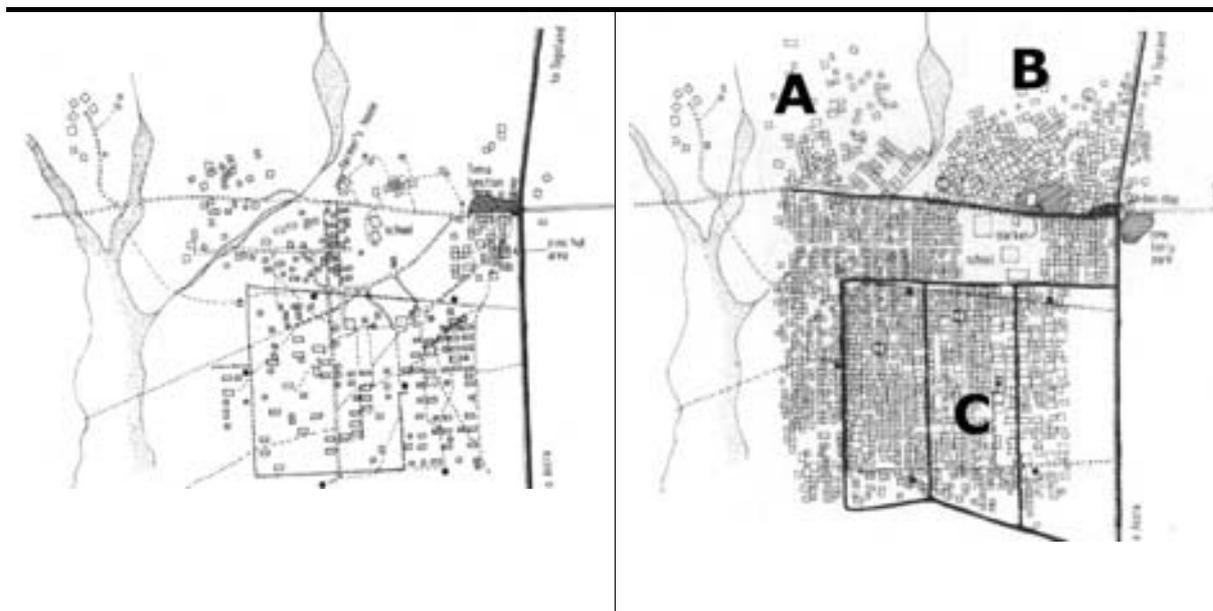


Figura 3.6 - À esquerda: primeiras ocupações no assentamento espontâneo Ashaiman, na região metropolitana de Acera, em Ghana. À direita: o mesmo assentamento, 13 anos depois (Editado a partir da fonte: Payne, 1977)

A área B é similar ao experimento 3, no sentido que os dois estão limitados no canto superior-direito pela junção de duas avenidas (ou barreiras atrativas), enquanto o lado esquerdo corresponde a uma borda não-atrativa (barreira natural). A terceira porção do assentamento Ashaiman (área C) apresenta a configuração mais atípica, se comparada à morfologia tradicional dos assentamentos espontâneos. Neste caso, a pré-existência de linhas regulares de infra-estrutura (redes de água, energia ou passagens de pedestre) e de estruturas construídas, moldaram o desenvolvimento em um formato mais regular e cartesiano. Como resultado, o que se vê é uma estrutura ordenada e aparentemente planejada, que na verdade é o resultado do mesmo tipo de processo descentralizado de ocupação, como nos dois exemplos anteriores. Mas o ponto mais interessante a ser observado para todos os exemplos é que, à medida que os assentamentos se tornaram mais densos, a diversidade no tamanho das ilhas também cresceu, resultando em estruturas fragmentadas, como as descritas na Parte 2 desta tese.

3.2.6 Favela 3 – o caso Klong Toey

Klong Toey é o maior assentamento entre os mais de mil existentes em Bangkok, capital da Tailândia. Esse assentamento está situado na área central da cidade, próximo ao porto, e é ocupado por cerca de 6.000 famílias, assentadas em cerca de 65 hectares de terra, pertencente à autoridade portuária da Tailândia. Em 1988, cerca de 40.000 pessoas residiam em Klong Toey, onde a maioria das famílias sobreviviam de atividades relacionadas ao porto (BOUYABANCHA; VERSCHURE, 1988). Klong Toey é um típico assentamento intra-urbano, que se desenvolveu em um vazio urbano cercado por divisas e vias, numa área urbana central. Como se pode observar na figura 3.7, as bordas atrativas estão situadas nas porções leste, norte e noroeste do assentamento (que se referem, na figura, às partes esquerda, inferior e direita, respectivamente). A porção sul da área (parte superior da figura) refere-se a um limite de propriedade, sem qualquer atratividade para o desenvolvimento, uma vez que se desenvolve em direção às margens

do rio. As bordas atrativas estão relacionadas a linhas de infraestrutura, construções existentes e grandes avenidas, margeando a área ao longo das faces norte e noroeste.

Além das bordas, alguns outros elementos parecem ter condicionado a forma de desenvolvimento do assentamento, como é o caso das estruturas construídas observadas nas áreas A e B no mapa cadastral de Klong Toey, apresentado na figura 3.7.

Na área indicada pela letra A, um grupo de edificações restringe o desenvolvimento do assentamento nas suas imediações, enquanto na área B a existência de um conjunto habitacional parece ter estimulado a ocupação em seus arredores. Neste último caso, apesar de se tratar de uma área próxima a barreiras não-atrativas, a provável existência de linhas de infra-estrutura (redes de água, infra-estrutura e serviços) parece ser o elemento atrator ao desenvolvimento.

Na figura 3.8 são apresentados os resultados de um experimento, construído no programa FAVELA, em que se procura descrever o possível desenvolvimento do assentamento Klong Toey a partir da dinâmica descentralizada de agentes computacionais. O mapa cadastral referente à área de ocupação do assentamento real é sintetizado na forma de um polígono irregular simplificado, cujas faces representam as distintas categorias de bordas, como as identificadas no caso real. Como já ficou convencionalizado, as linhas vermelhas (cinza claro na figura 3.8) representam as bordas atrativas, enquanto as azuis (cinza escuro) representam as não atrativas. Além das bordas, foram adicionadas barreiras internas (também atrativas e não-atrativas, de acordo com as cores), que representam os elementos construídos descritos no parágrafo anterior.



Figura 3.7 - Acima: Foto aérea de Klong Toey, assentamento espontâneo situado na região central de Bangkok, Tailândia. (Editado a partir da fonte: Boonyabancha, S. and Verschure, H. 1988). Abaixo, à esquerda: locação do assentamento Klong Toey (área circulada), dentro de mapa esquemático de zoneamento da cidade de Bangkok (Editado a partir da fonte: Drakakis-Smith, D. 1981). Abaixo, à direita: mapa cadastral de Klong Toey (Editado a partir da fonte: Angel; Boonyabancha, 1988).

As quatro ilustrações apresentadas na figura 3.8 correspondem a estágios consecutivos no desenvolvimento do experimento. Como se pode observar, as barreiras e os atratores (bordas e elementos internos) parecem conduzir e moldar o desenvolvimento da estrutura morfológica do assentamento, de forma semelhante ao Klong Toey real, o que parece reforçar a hipótese de desenvolvimento baseado na atratividade das bordas. Tais experimentos resultaram da combinação [C1,A125,E1], o que sugere coerência com os experimentos comentados anteriormente, e com a provável lógica real na ocupação de assentamentos intra-urbanos: agentes que procuram espaços segundo um leque mais aberto de visão (alta aleatoriedade: A125), constroem unidades espacialmente restritas (tipologia: C1) e checam com mais frequência e de forma mais localizada a disponibilidade de espaços (pequena extensão da procura: E1).

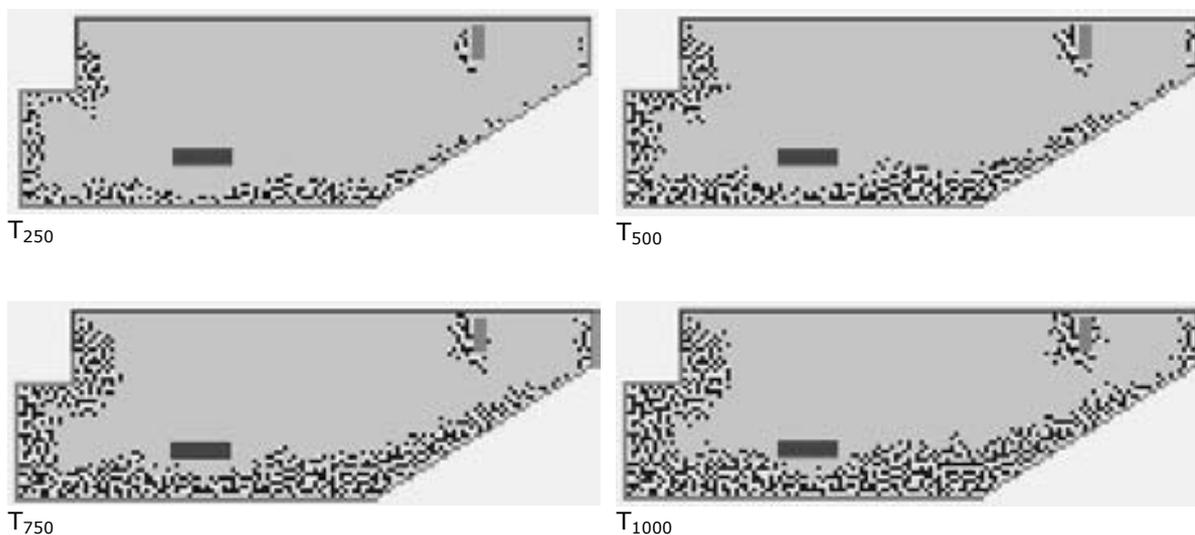


Figura 3.8 - Experimento baseado no assentamento Klong Toey. A seqüência de imagens representa a simulação de crescimento do assentamento. As faces do polígono e as barreiras e os retângulos internos representam barreiras atrativas (cinza claro) ou restritivas (cinza escuro) de desenvolvimento. Comparando-se as figuras 7 e 8, pode-se observar a similaridade nos padrões morfológicos e na aparente coerência da lógica de desenvolvimento aplicada ao modelo, caracterizada por ocupações de alta densidade, das bordas para o centro.

3.2.7 Dinâmicas de Fragmentação

A análise final de um modelo e a avaliação de sua adequação enquanto ferramenta de descrição da realidade é em geral definida como validação. Mas entende-se que validação não é o termo apropriado, especialmente em se tratando de experimentos de propósito heurístico-descritivo, como os desenvolvidos nesta tese. Até que ponto um modelo pode ser considerado válido ou inválido? Quais as medidas ou padrões que podem assegurar o alcance dessa pretensa validade? Mesmo considerando que é necessária a combinação de diversos métodos para a avaliação de um modelo, deve-se lembrar que a conclusão final sobre os seus resultados será sujeita a uma apreciação que estará sujeita a interpretações pessoais sobre determinada realidade, mesmo que a princípio objetivas. Neste sentido, ao invés de se utilizar o termo validação, preferimos nos referir ao exercício de avaliação do modelo realizado como interpretação ou análise, referindo-se não apenas à observação e à avaliação dos resultados, mas incluindo também as conjecturas sobre as lógicas que poderiam estar subentendidas na dinâmica do sistema que está sendo observado. Mas acima de tudo, qualquer que seja o termo utilizado, um elemento principal deve fundamentar a interpretação de qualquer experimento, que é a vinculação dessa interpretação a teorias ou conjecturas construídas sobre o objeto descrito. No caso do modelo FAVELA, a sua interpretação é baseada nas hipóteses e conjecturas apresentadas na parte 2 (Fragmentação Urbana), a respeito dos padrões morfológicos dos assentamentos espontâneos.

Vale lembrar que a hipótese principal desta tese, fundamentada nas análises espaciais apresentadas na parte 2, é que assentamentos espontâneos que se desenvolvem em vazios urbanos, cercados por barreiras (atrativas e não-atrativas) de crescimento, tendem a se desenvolver através de um processo de empacotamento ou adensamento, das bordas para o centro, apresentando alto nível de fragmentação e conseqüentemente diversidade. Fragmentação, neste enfoque, se refere à diversidade no tamanho das ilhas (grupos de casas) em um aglomerado urbano. As análises estatísticas então

apresentadas sugerem que tal processo de diversificação ocorre como uma resposta do sistema à necessidade de maximização da ocupação do espaço e tal diversidade pode ser conceituada como uma medida da complexidade (SOBREIRA; GOMES, 2000). Essa maximização, no entanto, não é o resultado de qualquer ação coletiva, nem coordenada por qualquer meta global, uma vez que o processo ocorre de forma descentralizada, através de agentes, com base em metas individuais e localizadas. Essas análises também sugerem que essa dinâmica dos assentamentos espontâneos intra-urbanos pouco depende de particularidades culturais e geográficas, e resulta em padrões universais e robustos de fragmentação.

Vimos que ao longo dos últimos anos um grande esforço tem sido voltado, nas ciências, para o estudo de leis de escala não-triviais, que são robustas, isto é, leis que tratam da distribuição de componentes espaciais de um sistema nas diversas escalas, e que independem de detalhes ou de particularidades do mesmo (BATTY; LONGLEY, 1994). Esses estudos envolvem uma variedade de sistemas complexos, cuja estrutura resulta do grande número de elementos, interagindo na escala local, seja através de regras determinísticas ou de influências aleatórias. No aspecto morfológico, tais sistemas são em geral formados por um grande número de pequenas unidades e um pequeno número de unidades maiores. Matematicamente, como foi mostrado ao longo da Parte 2, essa distribuição é caracterizada por uma lei de potência (ou lei de escala) em que o expoente é a dimensão de fragmentação (uma forma de dimensão fractal). Foram também descritos e comentados alguns exemplos, de particular interesse, como estudos sobre a geometria de redes ferroviárias (BENGUIGUI, 1995); sobre os padrões de crescimento urbano na escala metropolitana (MAKSE et al, 1998); sobre a estrutura espacial de cidades européias (FRANKHAUSER, 1997) e assentamentos norte-americanos (SAMBROOK; VOSS, 2001). Todos eles se utilizam de leis de escala e de distribuição hierárquica na explicações de fenômenos urbanos na escala metropolitana ou regional.

Enfim, esses estudos, que resumem boa parte da análise desenvolvida na segunda parte da tese, e que fundamentam as principais conjecturas da pesquisa, provam que há padrões universais e robustos de fragmentação e diversidade que caracterizam assentamentos espontâneos intra-urbanos. Essas medidas, além de importantes aplicações estatísticas, são ferramentas essenciais para a avaliação de modelos descritivos, uma vez que descrevem estatisticamente os padrões morfológicos de assentamentos espontâneos intra-urbanos em estágio de consolidação. Neste sentido, a interpretação e a análise visuais dos experimentos computacionais podem ser reforçadas (e eventualmente confirmadas) por informações estatístico-espaciais sobre o objeto real. Um exemplo para esse tipo de validação, ou mais apropriadamente, interpretação estatística dos modelos, é apresentado a seguir.

As figuras 3.9 e 3.10 ilustram, respectivamente, exemplos virtuais e reais de assentamentos informais. Na figura 3.9 são apresentados os resultados de três experimentos computacionais realizados através do programa FAVELA.

A figura 3.10 (reedição da figura 2.21, apresentada na parte 2 desta tese) contém a representação gráfica de três assentamentos situados em cidades distintas: Manangkasila, em Bangkok; Village I, em Nairobi; e Entra-Apulso, em Recife. Cada figura inclui, além das estruturas morfológicas, dois gráficos que indicam os valores médios da frequência de ilhas $f(s)$ em função do tamanho s - gráfico da esquerda - e da diversidade D em função do número de ilhas N - gráfico da direita, tanto para as estruturas virtuais, quanto para as estruturas reais.

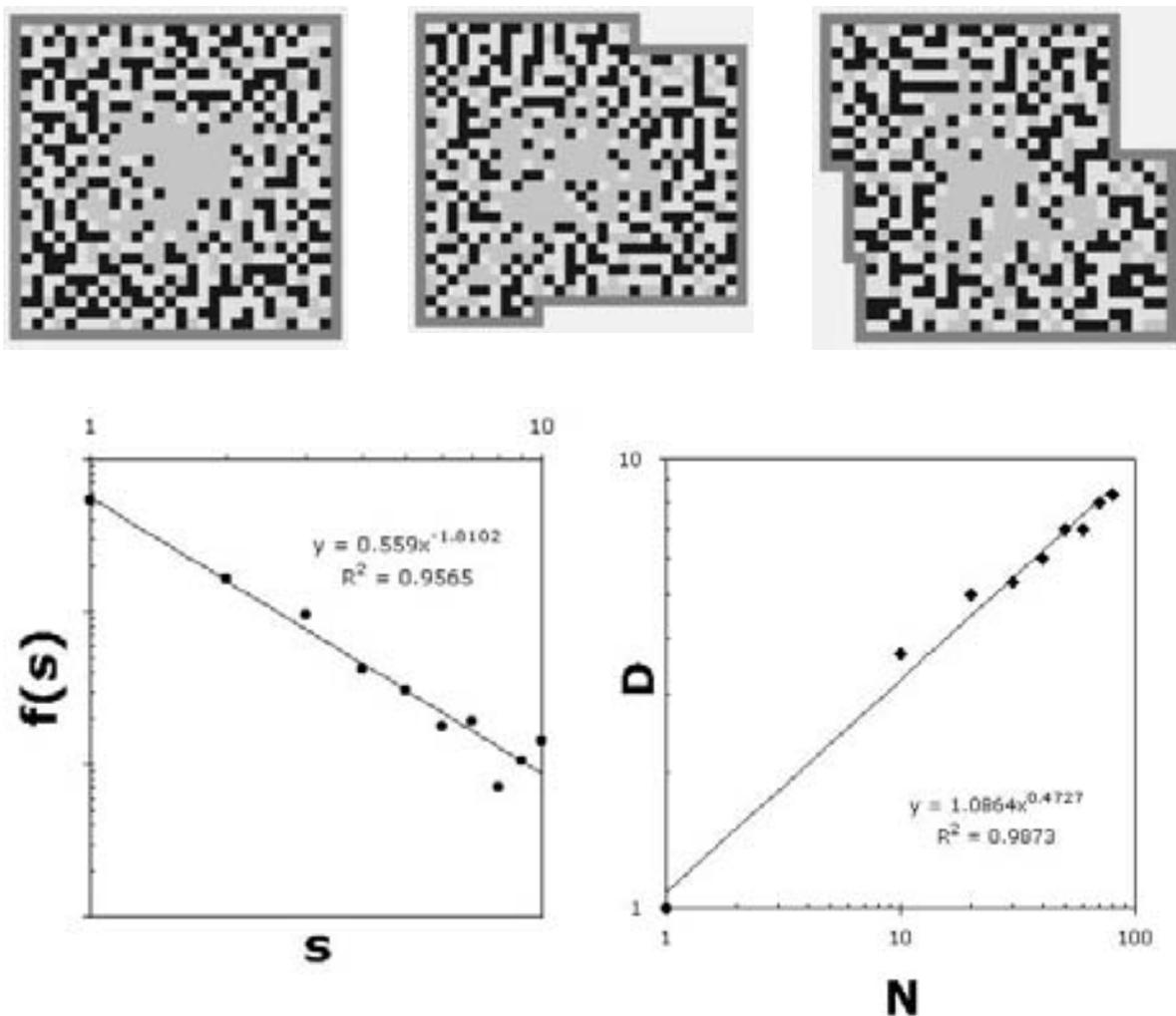


Figura 3.9 - Acima: seqüência de três experimentos rodados no programa FAVELA, gerados em áreas (polígonos) de dimensões e formatos distintos, cercadas por bordas 'atrativas' em todas as faces. Os experimentos foram baseados na combinação de parâmetros [C1,A125,E3]. Abaixo, à esquerda: gráfico log-log indicando a distribuição média (entre os três assentamentos ilustrados) da freqüência de ilhas, em função de seu tamanho. Abaixo, à direita: gráfico log-log indica a relação de escala entre diversidade e o número de ilhas em um assentamento. A diversidade cresce em função da raiz quadrada do número de ilhas.

Os experimentos da figura 3.9 foram rodados em áreas geométricas que representam vazios urbanos de formatos distintos e resultaram da aplicação da mesma combinação de parâmetros [C1,A125,E3], o que significa: tipologia restritiva (C1), alta aleatoriedade na caminhada (A125), e procura em passos curtos (E3). Nos exemplos apresentados, todas as bordas são atrativas. As imagens apresentadas referem-se ao mesmo estágio de desenvolvimento, isto é, os três experimentos ilustrados foram interrompidos após o mesmo tempo de iteração. Esse estágio se refere ao momento em que cada experimento atingiu um número de células construídas equivalente ao número médio de casas dos assentamentos reais ilustrados na figura 3.10.

Aplicando-se o mesmo conjunto de análises estatísticas realizados para os assentamentos reais, os resultados são os observados nos gráficos da figura 3.9. No caso da distribuição da frequência de ilhas em função do tamanho, a relação de escala para a média dos experimentos é a seguinte:

$$\langle f(s) \rangle = \langle f(1) \rangle s^{-\tau} ; \langle f(1) \rangle = 0.56 \pm 0.1 ; \tau = 1.8 \pm 0.2 ; 1 < s < s_{max} = 13 ,$$

o que indica, para os experimentos, um padrão de fragmentação estatisticamente equivalente ao encontrado nos assentamentos reais.

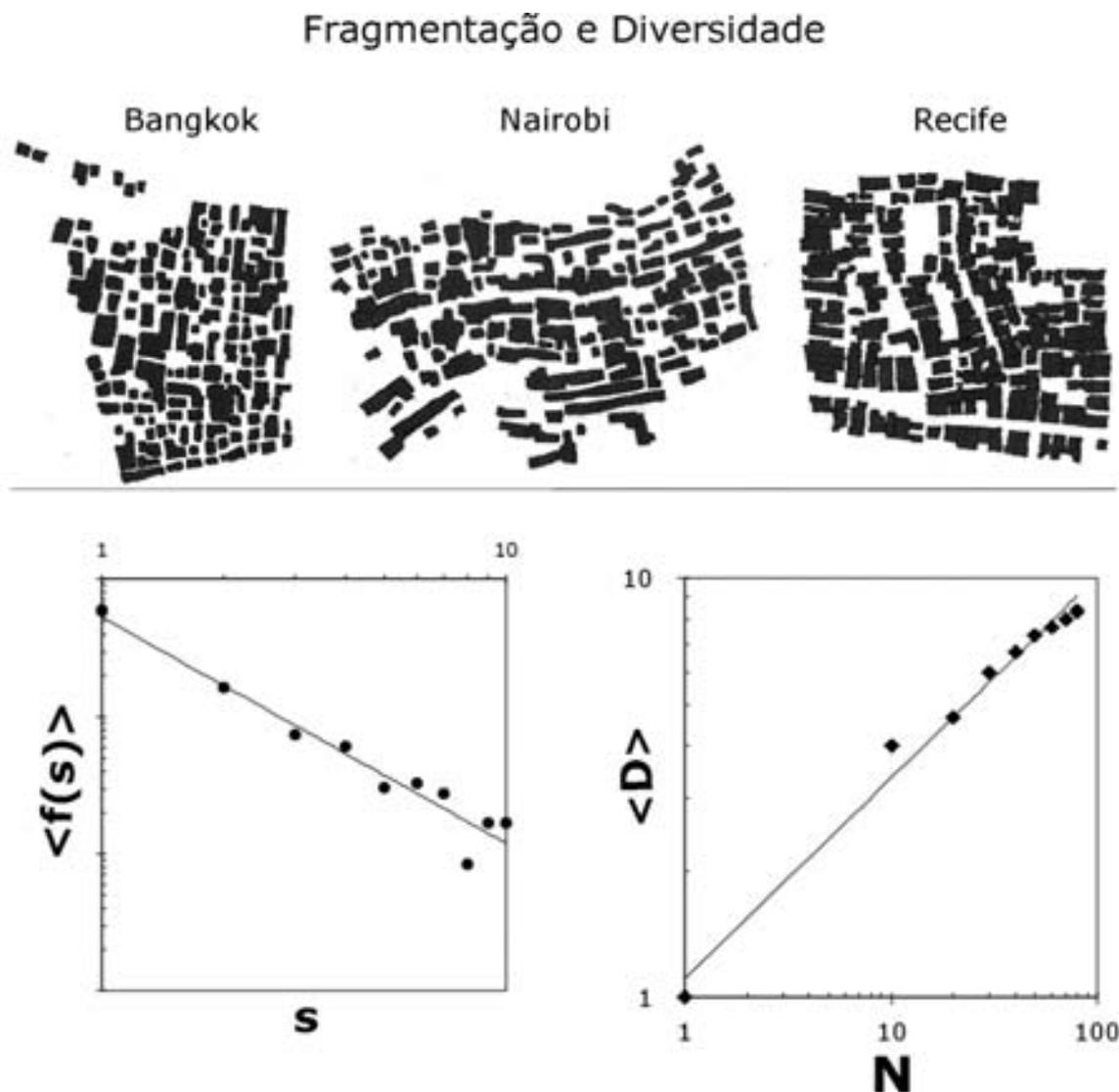


Figura 3.10 - (reedição da figura 2.21) - na parte superior são apresentados mapas de assentamentos espontâneos em Bangkok, Nairobi e Recife. O gráfico da parte inferior esquerda é uma distribuição logarítmica entre $f(s)$ (frequência de ilhas) e s (tamanho das ilhas). A variável $\langle f(s) \rangle$, neste caso, se refere à média, entre os três assentamentos estudados (ilustrados na figura), de cada tamanho de ilha normalizado em função do número total de ilhas em cada assentamento. A distribuição de tamanho de ilhas dos assentamentos obedece a relação de escala definida por $f(s) \sim s^{-\tau}$, em que $\tau = 1.6 \pm 0.2$ para a média dos assentamentos. A dependência entre diversidade e número de ilhas (tamanho do assentamento) é representada através do gráfico logarítmico $D \times N$, que representa a média de distribuição entre os três assentamentos. A linha contínua no gráfico representa o melhor ajuste da distribuição, e corresponde à função: $\langle D \rangle = 1,1 N^{0,48}$; $1 < N < 80$. Esta relação diz que a diversidade do tamanho de ilhas em um assentamento espontâneo cresce de acordo com a raiz quadrada do número total de ilhas.

Essa similaridade é definida pelo expoente τ , já apresentado na Parte 2 desta tese. Em outras palavras, os experimentos apresentam o mesmo tipo de padrão morfológico de um assentamento real. No que se refere à relação entre diversidade D e tamanho do assentamento N , pode-se observar através da comparação visual entre os gráficos das figuras 3.9 e 3.10 que a relação de escala é praticamente a mesma. No caso dos experimentos computacionais, tal relação é matematicamente descrita através da função

$$D = 1.1 N^{0.47} ; 1 < N < 80 ; R^2 = 0.99 ,$$

que diz exatamente a mesma coisa observada para os assentamentos reais, isto é, a diversidade do tamanho de ilhas cresce em função da raiz quadrada do número total de ilhas.

Espacialmente, isto significa que no processo de formação de um assentamento, a alta diversidade no tamanho das ilhas só ocorre em estágios avançados de desenvolvimento. Essa conjectura parece ser lógica, empiricamente, pois em estágios iniciais de desenvolvimento, como já foi comentado nas seções anteriores, as casas tendem a se distribuir de forma dispersa (baixa diversidade) em um assentamento. Só com o adensamento da ocupação é que começam a se formar os aglomerados (ilhas) de tamanhos distintos e conseqüentemente, o surgimento da diversidade. Em outras palavras, essas leis de escala guardam estreita relação com as regras de ocupação supostas para o assentamento real e elaboradas para o assentamento virtual.

No que se refere aos experimentos, a combinação de parâmetros [C1,A125,E3] não foi casual. Essa combinação entre tipologia construtiva elementar (C1), alta aleatoriedade ou grande intervalo angular na direção da caminhada (A125) e intervalo entre procuras relativamente curta (E3) na verdade traduz a suposta lógica de ocupação que ocorre em assentamentos intra-urbanos limitados por barreiras de crescimento. Esses parâmetros

dão aos agentes computacionais um comportamento que prioriza a ocupação ao longo das bordas atrativas, como supostamente acontece nos processos reais de ocupação (vide, como ilustração, o caso Klong Toey - seção 3.2.6). Em outras palavras, os experimentos foram realizados com base na conjectura de que os indivíduos, na busca por espaços para ocupação em um vazão urbano inserido em vizinhança de alta densidade e de grande interesse econômico (característica geral dos assentamentos intra-urbanos), priorizam a ocupação de espaços ao longo das margens atrativas (da borda para o centro), e para isso, executam buscas mais localizadas, com menos restrições de direção, e mesmo que para isso tenham que ocupar espaços mais restritos.

Um importante aspecto que deve ser acrescentado na análise dos experimentos é a dinâmica de fragmentação do assentamento, isto é, como a dimensão fractal e outras variáveis espaciais, como a densidade, o número de ilhas, ou a própria diversidade, se relacionam ao longo do tempo. A importância, já ressaltada, da utilização das medidas estatísticas introduzidas neste capítulo, ao descreverem o assentamento em determinado ponto no tempo, poderia então ser fortalecida com a elaboração de perfis dinâmicos do desenvolvimento. A figura 3.11 mostra uma ilustração desse tipo de análise, e sugere como o padrão de fragmentação pode ser observado em seu aspecto dinâmico. No gráfico da figura é apresentado o comportamento de diversas variáveis espaciais, ao longo do tempo do experimento.

A figura 3.11 ilustra uma sequência (t_1 a t_8) de oito momentos no desenvolvimento de um experimento realizado no modelo FAVELA, baseado na combinação [E3,C1,A125], com bordas atrativas nas quatro faces da área de desenvolvimento. O Gráfico indica a evolução de três variáveis em função do tempo de simulação: τ (tau - índice de fragmentação do espaço construído), p (densidade - fração do espaço construído) e D (diversidade de tamanho de ilhas). O eixo vertical à esquerda marca os valores de τ e p , enquanto o eixo vertical à direita marca a variável D . Nota-se que à medida que o

experimento se desenvolve, com o aumento da densidade p , a diversidade D do sistema cresce e o expoente de fragmentação τ tende a se estabilizar em valores em torno de $1.6 \pm 0,2$. Os resultados mais uma vez confirmam a estreita relação existente entre o nível de consolidação de um assentamento e a sua diversidade, isto é, a variedade de tamanhos de ilhas.

Nota-se, portanto, através do gráfico, que o adensamento da estrutura está diretamente relacionado ao nível de fragmentação da mesma, isto é, à medida que o assentamento se consolida, a variedade de tamanhos de ilhas aumenta e posteriormente se estabiliza. Nos momentos iniciais (t_1 e t_2) a diversidade máxima é 5, passando para $D = 8$ entre t_1 e t_5 e se estabilizando em $D = 10$ a partir de t_6 , até t_8 . Ao mesmo tempo, observa-se que o assentamento cresce em taxas diferenciadas de crescimento: a densidade p , que cresce rapidamente nas etapas iniciais, se estabiliza a partir de t_6 em $p \sim 0.45$. Enfim, observa-se que quanto mais consolidado um assentamento (que se desenvolve em espaço físico limitado), e conseqüentemente mais denso, mais fragmentada e diversificada se torna a sua estrutura.

Enfim, voltando aos assentamentos reais ilustrados na figura 3.10, é interessante observar que mesmo estando situados em continentes geográficos distintos, e conseqüentemente diferentes tradições culturais, os mesmos apresentam padrões morfológicos similares. Essa similaridade nos leva a conjecturar que assentamentos espontâneos intra-urbanos pertencem à mesma família morfológica, quando analisados de acordo com a fragmentação e a diversidade da estrutura espacial. Neste sentido, argumenta-se que os assentamentos espontâneos de baixa-renda são expressões locais de uma dinâmica universal.

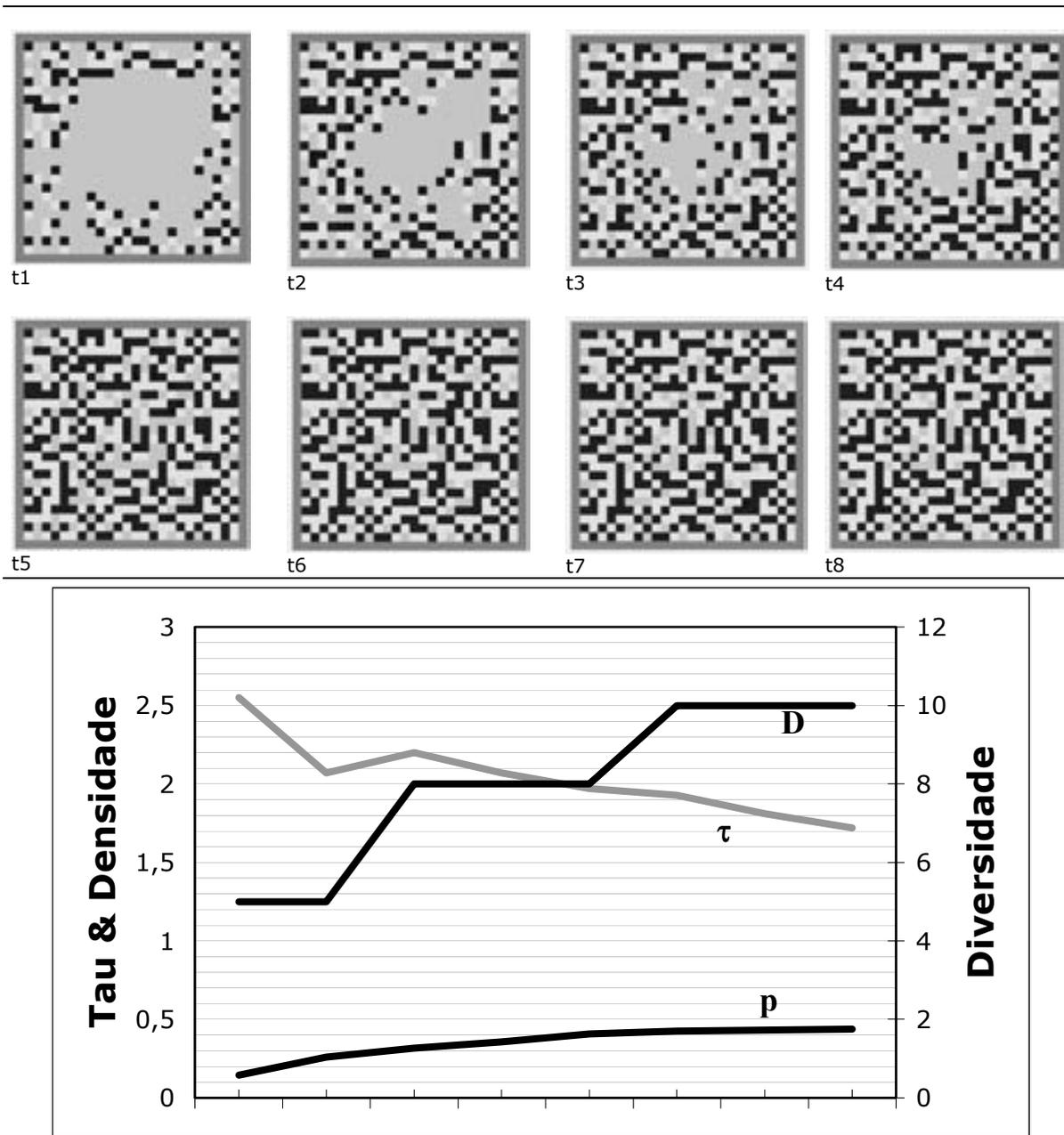


Figura 3.11 - Acima, seqüência (t1 a t8) de oito momentos no desenvolvimento de um experimento realizado no modelo FAVELA, baseado na combinação [E3,C1,A125], com bordas atrativas nas quatro faces da área de desenvolvimento. O Gráfico indica a evolução de três variáveis em função do tempo de simulação: τ (tau - índice de fragmentação do espaço construído), p (densidade - fração do espaço construído) e D (diversidade de tamanho de ilhas). O eixo vertical à esquerda marca os valores de τ e p , enquanto o eixo vertical à direita marca a variável D . Nota-se que à medida que o experimento se desenvolve, com o aumento da densidade (p), a diversidade do sistema (D) cresce e o expoente de fragmentação (τ) tende a se estabilizar em valores em torno de $1.6 \pm 0,2$.

Se por um lado uma favela é um fenômeno espacial localizado, por outro, ela é o resultado do mesmo tipo de tensão (entre oferta e demanda de espaços) que caracteriza a formação dos *bidonvilles* (Marrocos), *barrios* (Venezuela), *gecekondus* (Turquia), *squatter settlements* (Nairobi) ou *kampongs* (Indonésia). Se por um lado são assentamentos intra-urbanos, sujeitos às pressões de uso e ocupação do solo de determinada área de vizinhança, por outro são o resultado de uma dinâmica que ultrapassa os limites da cidade e que pode se estender para além das fronteiras geopolíticas, especialmente se considerarmos a interdependência entre economias e culturas de um mundo globalizado.

Mas de que que servem esses modelos computacionais? Os modelos construídos a partir do programa FAVELA, como já foi ressaltado, têm uma finalidade heurística e analítica, não são portanto ferramentas operacionais ou propositivas. O que mais importa nos experimentos não é simplesmente a estrutura morfológica resultante, mas as regras e as condições (parâmetros) que moldaram o espaço urbano. Nesse sentido, vimos que a primeira e fundamental contribuição do modelo é a confirmação do pressuposto segundo o qual as favelas resultam da ação predominantemente descentralizada de indivíduos em busca de espaço para ocupação. Em outras palavras, vimos como é possível construir a complexidade a partir de simples regras locais; construir um assentamento urbano sem a predominância de ações coletivas ou elementos controladores.

A segunda contribuição está nas especulações em torno dos parâmetros que atuam nessa construção descentralizada. Especulamos sobre a dinâmica de ocupação de uma favela; a influência do entorno na estrutura espacial do assentamento; a função das barreiras (limites) no desenvolvimento das favelas; e até mesmo sobre os possíveis comportamentos dos indivíduos, representados por agentes, em busca de espaço. Mas será que isso significa dizer que podemos prever, de forma precisa, qual será o estágio futuro no desenvolvimento de uma favela? Definitivamente não. Afinal, estamos falando de sistemas complexos que são por definição imprevisíveis e instáveis. A predição é uma

prática que tem sido descartada dos exercícios de modelagem urbana desde o início da década de 70. De fato, à medida que se fortaleceram as idéias de incerteza e de imprevisibilidade (numa mudança paradigmática que, como foi visto na Parte 1 desta tese, não foi exclusiva da ciência urbana, mas que foi ponto de convergência entre as ciências como um todo), consolidou-se a transição do determinismo para o indeterminismo, e conseqüentemente das ferramentas operacionais para as heurísticas.

A aplicabilidade do programa FAVELA, portanto, não está na predição de parâmetros relacionados a uma favela em particular, mas na especulação sobre as estruturas possíveis de assentamentos espontâneos, que por sua vez são caracterizados por padrões geométricos universais. Neste sentido, programas como o FAVELA podem ser úteis na avaliação de otimização em planos de intervenção, através da aplicação dos experimentos computacionais na construção de estruturas possíveis, a partir da combinação de parâmetros e restrições espaciais.

Obviamente, o exercício de modelagem, especialmente o computacional, é uma espécie de fonte inesgotável de especulações e análises. Pode-se dizer que os experimentos apresentados nesta parte 3 da tese representam apenas um breve e preliminar conjunto de uma variedade de experimentos possíveis, especialmente se forem consideradas as várias potencialidades que o programa FAVELA permite. Particularmente, algumas experimentações poderiam ser testadas, através de pequenas variações no formato original do modelo. No modelo atual, por exemplo, a estrutura de ruas e espaços abertos resulta do processo agregativo dos módulos tipológicos. Alguns experimentos poderiam prever o desenvolvimento paralelo e interdependente do sistema de ruas e demais espaços abertos, o que acrescentaria a análise da acessibilidade e da integração do sistema. Especificamente, os agentes poderiam deixar rastros, que se constituiriam em trilhas, à medida que caminham pelo espaço vazio. Algumas dessas trilhas (as mais visitadas, por exemplo) poderiam ser convertidas em ruas, que teriam diversos níveis de importância e consolidação. Uma outra possibilidade seria a diversificação no processo de

crescimento. Neste caso, a estrutura construída do assentamento seria o resultado não apenas da construção de novas unidades pelos agentes que entram no sistema, mas poderiam resultar de adições às unidades existentes. Neste caso, seria adicionada a figura do agente estático, que reside nas unidades existentes, e que efetuará acréscimos (e melhorias) em sua casa, de acordo com parâmetros locais (vizinhança, crescimento da família ou da renda) ou globais (índices econômicos globais, densidade, população, etc).

No que se refere à interpretação dos modelos, algumas possibilidades podem ser acrescentadas, como a comparação entre as variáveis espaciais do ambiente construído, de um lado, e do espaço aberto, do outro. Especificamente, poderia ser aplicado aos sistemas de ruas o mesmo tipo de análise de fragmentação e diversidade realizada para as ilhas construídas, como sugerem alguns exercícios analíticos apresentados na Parte 2, quando é utilizado o conceito de *espaços convexos*. Além disso, essas medidas de fragmentação e diversidade poderiam ser complementadas e comparadas a medidas de conectividade e integração, como as propostas por Hillier e Hanson (1984), para assentamentos informais. Outros experimentos poderiam ir além das leis de escala, que estudam os tamanhos das ilhas, e poderiam analisar possíveis padrões observados nas formas (padrões tipológicos e topológicos) dessas ilhas.

Em relação ao comportamento dos agentes, poderia ser interessante analisar não apenas *feedbacks* globais, mas também locais, isto é, relacionados a parâmetros como densidade localizada, distância em relação às bordas, etc. Esses parâmetros localizados poderiam ser experimentados tanto em substituição, quanto em combinação com os parâmetros globais definidores dos *feedbacks*. Nesse aspecto, surgem algumas especulações importantes, relacionadas à discussão sobre as dimensões de cada nível de influência (local ou global) no comportamento de agentes que constroem o espaço informal. Questões como: quais as relações que conduzem à formação de um sistema emergente? Seriam relações base-topo; topo-base ou uma combinação dinâmica das duas?

Uma outra possibilidade está na relação entre o conceito de emergência e o comportamento do agente. Seguindo as definições de Cariani (1991), de um lado está a *emergência computacional*, e do outro está a *emergência relativa ao modelo*. No primeiro conceito, as relações de *feedback* alteram comportamentos em relação a determinados parâmetros, mas mantêm a estrutura geral das regras seguidas pelo agente. No segundo, o *feedback* seria capaz de gerar novas regras, numa espécie de processo de aprendizagem ou de adaptação do agente, como também proposto por Holland (1996,1998). Naturalmente, como foi exposto, o leque de possibilidades é imenso. Mas uma coisa deve ser mantida em mente, que é a relação fundamental entre simplicidade e complexidade. Deve-se ter atenção para não se perder a relação básica entre regras locais e simples, gerando uma dinâmica global e complexa. Essa é a essência do conceito de emergência, elemento imprescindível nos estudos de sistemas complexos. Deve-se, portanto, diferenciar o *complexo* do *complicado*. Afinal, como sugerem os experimentos apresentados, os assentamentos espontâneos estão incluídos na grande família de sistemas na natureza, definidos como sistemas complexos, que se desenvolvem a partir da interação entre elementos locais, de acordo com regras *simples*.

CONCLUSÕES

Iniciamos esta tese com a questão: existe alguma lógica na organização espacial das favelas? A resposta, definitivamente, é sim. O aspecto aparentemente desordenado, marcado pela multiplicidade de tamanhos dos elementos e pela irregularidade morfológica, é na verdade uma resposta do sistema na tentativa de otimização dos espaços. Os assentamentos espontâneos, quando seguem a dinâmica natural de desenvolvimento e consolidação, tendem a estados de fragmentação da estrutura e maximização da diversidade, de forma que a aparente desordem das favelas é na verdade o sinal de uma ordem implícita e de uma dinâmica universal. Essa ordem e essa dinâmica foram desvendadas, nesta tese, através de duas abordagens distintas, porém complementares: de um lado a *análise estática*, que revela a multiplicidade de escalas e a fragmentação da estrutura morfológica dos assentamentos espontâneos, e de outro a *análise dinâmica*, que revela as regras da auto-organização e da emergência no processo de formação e consolidação desses assentamentos através de modelos computacionais baseados em agentes.

Na análise estática, tanto na escala local quanto na escala da cidade, vimos que existe um padrão recorrente no que se refere à distribuição de tamanhos e na diversidade dos fragmentos. Esse padrão se expressa através de leis de escala e é caracterizado por um expoente robusto e universal que indica o quanto a estrutura urbana é fragmentada e diversificada. Mostramos que as favelas do mundo, seja na Ásia, na África ou na América Latina, se assemelham estatisticamente e que seguem padrões espaciais definidos por regras matemáticas que independem de particularidades culturais ou político-geográficas; que é possível a aplicação de relações de escala na estimativa de parâmetros globais a partir de informações locais (como estimar a população total a partir do tamanho do maior aglomerado de casas em um assentamento); e finalmente, que a distribuição de tamanhos de favelas nas cidades ocorre de forma similarmente

fragmentada, como foi ilustrado através das cidades Recife, Manila, Kuala Lumpur e Lima.

Na análise dinâmica, parte 3 desta tese, o objetivo foi analisar o processo de formação que está por trás dessa universalidade morfológica, isto é, a dinâmica que está por trás da estrutura. Para esse fim foi elaborado o FAVELA, um modelo heurístico-descritivo que, baseado em conceitos como Emergência e Complexidade, reproduz propriedades morfológicas das favelas a partir da ação descentralizada de agentes e da combinação de regras locais. No caso dos assentamentos espontâneos, considerando o processo de ocupação como predominantemente descentralizado, mostramos que a estrutura morfológica emerge a partir da dinâmica de centenas de indivíduos (agentes) atuando conforme regras simples e localizadas. A coletividade, neste caso, não é planejada, mas resulta da combinação descentralizada das individualidades. Dos experimentos apresentados a partir do modelo FAVELA, conclui-se que os assentamentos espontâneos intra-urbanos, que se desenvolvem no interior de barreiras de crescimento, podem ser comparados a sistemas dinâmicos que dependem predominantemente do comportamento descentralizado de agentes locais e das restrições espaciais do espaço que está sendo ocupado. Vimos, a partir de experimentos, que é possível a partir de regras simples reproduzir aspectos de sua complexidade morfológica. Esses experimentos foram interpretados visualmente e estatisticamente, de acordo com os padrões de fragmentação e de diversidade observados na estrutura morfológica dos mesmos. Resultados preliminares sugerem que modelos morfológicos baseados na auto-organização de células condicionadas por barreiras de crescimento tendem a resultar em estruturas espaciais fractais, isto é, caracterizadas por leis de escala. Verificou-se que esses padrões equivalem aos padrões espaciais de assentamentos espontâneos reais, o que fortalece uma das conjecturas básicas desta tese, segundo a qual os assentamentos espontâneos intra-urbanos se desenvolvem através de uma lógica em que as barreiras são a causa, o adensamento é o processo, e a diversidade é o meio.

Mas ainda assim poderíamos nos perguntar: os padrões espaciais e os modelos computacionais apresentados nesta tese trazem alguma contribuição propositiva? Nesse sentido, é importante destacar as diferenças entre um exercício analítico (objetivo desta tese) e um exercício propositivo. O primeiro tem como meta a descrição analítica de um objeto como ele é, enquanto o segundo trata de um objeto hipotético como este deveria ser. As regras apresentadas nesta tese e expressas através das leis de escala ou de algoritmos computacionais não são regras propositivas, são descritivas, com propósito analítico. Elas nos falam como são as favelas no mundo, como supostamente agem as pessoas que as constroem, e o quanto os assentamentos se assemelham uns aos outros, no universo estatístico-espacial. As regras não dizem necessariamente como essas favelas deveriam ser, nem como os indivíduos deveriam agir.

Como pode, então, o arquiteto-urbanista, criatura em constante mutação (ou em constantes rupturas de pensamento – vide os tantos *ismos* da história da arquitetura), conceber uma cidade a um só tempo? Uma cidade, como podemos notar, é feita de sobreposições e retalhos que se relacionam de uma forma complexa, numa lógica às vezes pouco perceptível mas definitivamente existente.

Ao mesmo tempo, como superar demandas habitacionais e mercadológicas? Como se ajustar ao tempo e ao desenvolvimento tecnológico, que faz com que anos sejam suplantados por dias ou até horas? Como se esquivar do papel desenvolvimentista de criador do futuro e ao mesmo tempo destruidor do passado ?

Na verdade, ordenamento ou espontaneidade são expressões das demandas no tempo e no espaço. Ocorrerão no espaço e no tempo em que forem necessários, seja por exemplo na figura de uma favela ou de um grande conjunto habitacional. A princípio parecem contraditórios e opostos, quando na verdade se complementam.

É preciso, portanto, compreender que o homem planeja a cidade, não cria a cidade. A cidade vive em constante recriação. A cidade é dinâmica, não estática. A Brasília dos postais, por exemplo, não é a cidade real, mas um fragmento controlado de um conjunto maior, fora de controle, do qual fazem parte as cidades satélites e suas espontaneidades, naturais a qualquer cidade, onde há favelas e diversidades estéticas e funcionais; onde o homem-indivíduo expressa suas necessidades e anseios, que na Brasília dos postais são reprimidos em favor do homem-coletivo ordenado; onde está preservada a necessidade e o rigor institucional (Holanda, 2001) .

As cidades são expressões coletivas de diversidades individuais. As idéias de cidades, ou de pedaços das mesmas, que ignoram a diversidade em função da produção em série, com o tempo são afetadas por essa expressividade. Modelar cidades significaria modelar indivíduos. No fundo, essa era a intenção do modernismo (enquanto era causa, e não estilo): modelar cidadãos, em função de um bem coletivo, uma sociedade ideal e igualitária. Nota-se, portanto, que a forma de uma cidade é também uma expressão de desejo ou de realização política. Uma favela, assim como um grande conjunto habitacional, são expressões formais de ações políticas, espontâneas ou involuntárias, democráticas ou totalitárias.

Como, portanto, diante de tantas diversidades e possibilidades, pode atuar o arquiteto-urbanista? Como planejar e definir traçados e formas de algo que por natureza é mutante? Não há dúvidas de que ao planejador, tamanho o seu poder definidor e criador, é atribuído um papel difícil, por vezes confundido como divino, por se tratar de um papel de síntese criadora; isto é, reunir e equilibrar a um só tempo e espaço forças que na vida real são diversas e estão em constante movimento. A questão é que esse planejador em geral se questiona: Qual é a forma correta de cidade? A romana ou a mulçumana? A modernista ou a medieval? Qual a mais apropriada? Quando na verdade, a pergunta deveria ser: correta em relação a quê? Apropriada para que uso, que época, que cultura? Com base nesses questionamentos é que a idéia se forma, a partir da reunião de

elementos diversos, na composição desse conjunto desejado. Na verdade, todo planejador deve ser antes de tudo um analista do espaço. Antes de esboçar o conjunto, deve ter consciência de quais os elementos que compõem aquele conjunto. Para se planejar cidades é preciso conhecer os seus componentes.

Em geral, todo planejamento é uma intenção de uma realidade que se pretende estática. Entre essa intenção e a cidade viva está a quarta dimensão urbana, que é o tempo. Uma cidade se constrói no espaço e no tempo. Por isso, além das três dimensões espaciais, é necessário considerar essa quarta dimensão, temporal, que é dinâmica e que afeta diretamente as demais. É por isso que a cidade é um fenômeno em constante mutação. Ao que parece, tudo nos levará a uma antítese do planejamento, da ordem, do controle, da definição prévia dos fenômenos urbanos desejados. Não faria sentido, portanto, a figura do criador do espaço, uma vez que o espaço não se cria em definitivo, mas se transforma. Essa é a primeira impressão.

No entanto, se esse planejamento é encarado como uma etapa do desenvolvimento formal e não como o produto acabado no tempo e no espaço, o arquiteto-urbanista transforma-se em um condutor de alternativas, e não mais como criador divino, de divinas e imutáveis criaturas; um planejador que admite os limites da diversidade e da transitoriedade das formas. Seria necessário, portanto, uma nova postura projetual e conseqüentemente analítica.

Assim, o projeto de uma cidade ou de um aglomerado urbano deixará de ser uma síntese utópica de ideais imaginários, passando a ser observado, o projeto, como uma matriz passível de interferências e sobreposições, planejado sob essa perspectiva, de mudanças. Afinal, a cidade deve servir a demandas, que mudam ao longo de sua história. Não é à toa que a concepção dos arquitetos-urbanistas-planejadores muda tanto com o tempo. Variam conforme as pressões das demandas, de forma explícita ou implícita. A cada

tempo, as verdades anteriores são enterradas e momentaneamente invalidadas, até que um outro *ismo* traga das cinzas essas mesmas verdades.

Afinal, a complexidade não se planeja, ela emerge. O que se pode fazer é preparar a cidade e seus elementos urbanos para se adaptarem à inevitável e necessária dinâmica de transformações e à variedade de elementos que surgem das ações descentralizadas e informais; uma dinâmica em que a oposição entre ordem e a desordem dá lugar ao debate dialético, desvendando a lógica que reside entre os extremos: a complexidade. Essa é, enfim, a lógica da diversidade.

Referências

ALDRICH, B.; SANDHU, R. The global context of housing poverty. In: ALDRICH, B.; SANDHU, S. (Edit.). **Housing the urban poor**: policy and practice in developing countries. London: Zed Books, 1995. p. 17-36.

ALEXANDER, C. **Ensayo sobre la síntesis de la forma**. 2. ed. Buenos Aires: Ediciones Infinito, 1971.

ALEXANDER, E. Informal settlement in Latin America and its policy implications. In: PATTON, C. (Edit.). **Spontaneous shelter**: international perspectives and prospects. Philadelphia: Temple University Press, 1988. p. 125-146.

ALLEN, P; SANGLIER, M. Urban evolution, self-organization, and decisionmaking. **Environment and Planning B**, n.13, p. 167-183, 1981.

ALLEN, P. **Cities and regions as self-organizing systems**. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 1997.

ANGEL, S.; BOONYABANCHA, S. Land sharing as an alternative to eviction. **Third World Planning Review**, London, v. 2, n. 10, p. 107-127, 1988.

BALANDIER, G. **El desorden: la teoría del caos y las ciencias sociales**. 2. ed. Barcelona: Gedisa, 1994.

BALBO, M. Urban planning and the fragmented city of developing countries. **Third World Planning Review**, Liverpool, v. 1, n. 15, p. 23-25, 1993.

BAPAT, M. Inherent limitations of the scheme for environmental improvement of slums in Índia. **Triolog**, London, n. 13/14, p. 52-56, 1987.

BARROS, M. **Plano de regularização urbana: Campo do Banco**. Recife: Empresa de Urbanização, 1996.

BATTY, M. Urban Change. **Environment and Planning B**, n. 23, editorial, 1996.

BATTY, M. Cellular automata and urban form: a primer. **APA Journal**, Chicago, p. 266-274, spring, 1997.

BATTY, M. From Environment and Planning B to Planning and Design: traditions, transitions, translations, transformations. **Environment and Planning B**: Anniversary Issue, London, p. 1-9, 1988.

BATTY, M. Urban evolution on the desktop: simulation with the use of extended cellular automata. **Environment and Planning A**, London, 30, p.1943-1967, 1988.

BATTY, M. A research programme for urban morphology. **Environment and Planning B**, n. 26, editorial, 1999.

BATTY, M. Less is more, more is different: complexity, morphology, cities and emergence. **Environment and Planning B**, n. 27, editorial, 2000.

BATTY, M. Polynucleated urban landscapes. **Urban Studies**, Glasgow, 38(4), p. 635-655, 2001.

BATTY, M.; COUCLELIS, H.; EICHEN, M. Urban systems as cellular automata. **Environment and Planning B**, London, n. 24, p. 159-164, 1997.

BATTY, M.; JIANG, B. Multi-agent simulation: computational dynamics within GIS. In: ATKINSON, P.; MARTIN, D. (Edit.) **GIS and Geocomputation**. London: Taylor & Francis, 2000, p. 55-71.

BATTY, M.; XIE, Y. From cells to cities. **Environment and Planning B**, London, n. 21, p. 31-48, 1994.

BATTY, M.; XIE, Y. Preliminary evidence for a theory of the fractal city. **Environment and Planning A**, London, 28, p. 1745-1762, 1996.

BATTY, M.; XIE, Y. Possible urban automata. **Environment and Planning B**, London, n. 24, p. 175-192, 1997.

BATTY, M; LONGLEY, P. **Fractal Cities: A Geometry of Form and Funcion**. 1. ed. London: Academic Press, 1994.

BENÉVOLO, L. **A História da Cidade**. 3. ed. São Paulo: Perspectiva, 2001.

BENGUIGUI, L. The fractal dimension of some railway networks. **Journal de Physique I**, France, n. 2, p. 385-388, 1992a.

BENGUIGUI, L. Some speculations on fractals and railways networks. **Physica A**, Amsterdam, n. 191, p. 75-78, 1992b.

BENGUIGUI, L. A new aggregation model: application to town growth. **Physica A**, Amsterdam, n. 219, p. 13-26, 1995.

BENGUIGUI, L.; CZAMANSKI, D.; MARINOV, M. The dynamics of urban morphology: the case of Petah Tikvah. **Environment and Planning B**, London, n. 28, 2001. Não paginado.

BENGUIGUI, L.; CZAMANSKI, D.; MARINOV, M.; PORTUGALI, Y. When and where is a city fractal? **Environment and Planning B**, London, n. 27, p. 507-519, 2000.

BERMAN, M. **Tudo que é sólido desmancha no ar**. 4. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1986.

BOONYABANCHA, S. Klong Toey: A slum community's thirty-year struggle in Thailand. In: TURNER, B. (Edit.). **Building Community: A third world case book**. London: Habitat International Coalition, 1988.

BRITO, V.; GOMES, M.; SOUZA, F.; ADHIKARI, S. Diversity of fragments in the collapse of brittle solids. **Physica A**, Amsterdam, n. 259, p. 227-234, 1988.

BROWN, F. e JOHNSON, J. An interactive computer model of urban development: the rules governing the morphology of medieval London. **Environment and Planning B**, London, n. 12, p. 377-400, 1985.

CALVINO, I. **As cidades invisíveis**. São Paulo: Schwarcz, 1993.

CARIANI, P. Emergence and artificial life. In: LANGTON, C.; TAYLOR, C.; FARMER, J.; RASMUSSEN, S. (Edit.). **Artificial Life II: SFI studies in the sciences of complexity**. Redwood City: Addison-Wesley, 1991, vol. X, p. 775-797.

CASETTI, E. Spatial mathematical modelling and regional science. **Papers in Regional Science: The Journal of the RSAI, Urbana**, v. 1, n. 74, p. 3-11, 1995.

CECCHINI, A. Urban Modelling by means of cellular automata: generalised urban automata with the help on-line (AUGH) model. **Environment and Planning B**, London, n. 23, p. 721-732, 1996.

CHAFFUN, N. Dinâmica global e desafio urbano. In: BONDUKI, N. (Edit.). **Habitat: as práticas bem-sucedidas em habitação, meio ambiente e gestão urbana nas cidades brasileiras**. São Paulo: Studio Nobel, 1997. p. 18-37.

CHOAY, F. **A regra e o modelo**. São Paulo: Perspectiva, 1985.

CHOAY, F. **O Urbanismo**. 4. ed. São Paulo: Perspectiva, 1997.

CLARKE, K.; HOPPEN, S.; GAYDOS, L. A self-modifying automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. **Environment and Planning B**, London, n. 24, p. 247-261, 1997.

COLELLA, V.; KLOPFER, E. Seeding change: bringing modeling to science teachers and their students. **Santa Fe Institute Bulletin**, v. 2, n. 15, 2000. Disponível em: <<http://www.santafe.edu/sfi/publications/bulletins/bulletinFall00/news/scienceTeachers.html>>. Acesso em: 15 ago. 2001.

COUCLELIS, H. Cellular worlds: a framework for modelling micro-macro dynamics. **Environment and Planning A**, London, n. 17, p. 585-596, 1985.

COUCLELIS, H. From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation. **Environment and Planning B**, London, n. 24, p. 165-174, 1997.

COUCLELIS, H. Geocomputation and space. **Environment and Planning B: Anniversary Issue**, London, p. 41-47, 1998.

COUTINHO, K.; GOMES, M.; ADHIKARI, S. Robust scaling in fragmentation from $d=1$ to 5. **Europhysics Letter**, Petit-Lancy, v.2, n. 18, p. 119-124, 1992.

DRAKAKIS-SMITH, D. **Urbanisation, housing and the development process**. London: Croom Helm, 1981.

DWYER, D. **People and housing in third world cities: perspectives on the problem of spontaneous settlements**. New York: Longman Inc. , 1981.

EGLASH, R. **African fractals: modern computing and indigenous design**. London: Rutgers University Press, 1999.

EPSTEIN, M.; AXTELL, R. **Growing Artificial Societies: social science from the bottom up**. London: The MIT Press, 1996.

ERICKSON, B. e LLOYD-JONES, T. **Experiments with settlement aggregation models**. Environment and Planning B, London, n. 24, p. 903-928, 1997.

ETHERSON, D. **A case study of uncontrolled settlement in Nairobi**. Nairobi: Housing Research and Development Unit, 1976.

FARIAS, A. et al. **Relatório de Pesquisa - João de Barros**. Recife: Empresa de Urbanização do Recife, 1990.

FRANKHAUSER, P. Fractal analysis of urban structures. In: HOLM, E. (Edit). **Modelling space and networks**: Progress in theoretical and quantitative geography. Umea: Gerum Kulturgeografi, 1997. p. 145-181.

FRANKHAUSER, P. Fractal geometry of urban patterns and their morphogenesis. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, London, n. 2, p. 127-145, 1998.

FRANKHAUSER, P. The fractal approach: a new tool for the spatial analysis of urban agglomerations. **New Methodological Approaches in the Social Sciences**, special issue. [S.l.], p. 205-240, 1998.

GARCIA, J.; GOMES, M.; REN, T.; SALES, T. Diversity and complexity: two sides of the same coin? In: _____. **The evolution of complexity**, Dordrecht: Kluwer Academic, 1999, n. 8, p. 117-123.

GILBERT, N.; TROITZSCH, K. **Simulation for the social scientist**. Philadelphia: Open University Press, 1999.

GLEICK, J. **Caos**: A Criação de uma Nova Ciência. 4. ed. São Paulo: Campus, 1991.

GOMES, M. Criticalidade auto-organizada. In: NUSSENZVEIG, H. (Org.). **Complexidade e Caos**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ/COPEA, 1999. p. 94-110.

GOMES, M. Geometrical aspects in the distribution of languages and urban settlements. **Physica A**, Amsterdam, n. 295, p. 9-16, 2001.

GOODMAN, R. **After the planners**. Middlesex: Penguin Books, 1972.

HAAG, G.; MAX, H. Rank-size distribution of settlement systems: a stable attractor in urban growth. **Papers in Regional Science**: The Journal of the RSAI, Urbana, v. 3, n. 74, p. 243-258, 1995.

HARVEY, D. **Condição Pós-Moderna**. 7. ed. São Paulo: Edições Loyola, 1992.

HERBERT, T.; SANDERS, I.; MILLS, G. African shape grammar: a language of linear Ndebele homesteads. **Environment and Planning B**, London, n. 21, p. 453-476, 1994.

HILLIER, B. The architecture of the urban object. **Ekistics**, Greece, n. 334, p. 5-21, 1989.

HILLIER, B. **Space is the Machine**. 1. ed. London: Cambridge University Press, 1996.

HILLIER, B. A note on the intuiting of form: three issues in the theory of design. **Environment and Planning B**, London, anniversary issue, p. 37-40, 1998.

HILLIER, B. A theory of the city as object. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPACE SYNTAX, 3., 2001, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2001. p. 02.1-02.28.

HILLIER, B.; GREENE, M. ; DESYLLAS, J. Self-generated Neighbourhoods: the role of urban form in the consolidation of informal settlements. **Urban Design International**, Hampshire, n. 5, p. 61-96, 2000.

HILLIER, B.; HANSON, J. **The social logic of space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

HOLANDA, F. et al. Excentric Brazilia. In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 3., 2001, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2001. p. 53.1-53.9.

HOLLAND, J. **Emergence: from chaos to order**. Oxford: Oxford University Press, 1998a.

HOLLAND, J. **Hidden Order - how adaptation builds complexity**. 3. ed. Reading: Perseus Books, 1998b.

HOLLAND, J. Sistemas complexos adaptativos e algoritmos genéticos. In: NUSSENZVEIG, H. (Org.). **Complexidade e Caos**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPEA, 1999. p. 213-230.

HORGAN, J. From Complexity to Perplexity. **Scientific American**, New York, v. 272, n. 6, p. 74-79, 1995.

HORGAN, J. **O Fim da Ciência**. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

HUHNS, M.; SINGH, M. **Reading in Agents**. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1998.

IMPARATO, J. Urban Poverty Reduction: The Potential of Informal Settlement Upgrading. In: INTERNATIONAL SEMINAR CHALLENGES OF THE INFORMAL TOWN, 1995, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.unchs.org/unchs/english/suphome/povty.htm>> Acesso em: 12 nov. 2000.

JACOBS, J. **The death and life of great american cities**. New York: Vintage Books, 1996.

JENCKS, C. **The Architecture of the Jumping Universe**. 2. ed. London: Academy Editions, 1997.

KAUFFMAN, S. **At home in the universe**: the search for the laws of self-organization and complexity. New York: Oxford University Press, 1995.

KELLETT, P. Voices from the barrio: oral testimony and informal housing processes. **Third World Planning Review**, Liverpool, v. 2, n. 22, p. 189-205, 2000.

KOSTOF, S. **The City Shaped**. 1. ed. London: Thames and Hudson, 1999a.

KOSTOF, S. **The City Assembled**. 1. ed. London: Bulfinch Press Book, 1999b.

KROPF, K. Conceptions of change in the built environment. **Urban Morphology**, Dorchester, v. 5, n. 1, p. 29-42, 1997.

LE CORBUSIER **Por Uma Arquitetura**. 5. ed. São Paulo: Perspectiva, 1998.

LE CORBUSIER **Urbanismo**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

LEE, C. **Models in planning**: an introduction to the use of quantitative models in planning. Oxford: Pergamon Press, 1973.

LEWIN, R. **Complexidade**: A Vida no Limite do Caos. Rio de Janeiro: Rocco, 1994.

LLOYD, P. **Slums of hope?** Shanty Towns of the third world. New York: Penguin Books, 1979.

MAKSE, H. et al. Modelling urban growth patterns with correlated percolation. **Physical Review E**, Ridge, v.6, n.58, p.7054-7062, 1998.

MAKSE, H.; STANLEY, H; HAVLIN, S. Power laws for cities. **Physics World**, Bristol, October, p. 22-23, 1997.

MANDELBROT, M. **The Fractal Geometry of Nature**. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1983.

MARCH, L. $[8 + (6) + 11] = 25 + x$. **Environment and Planning B**, London, anniversary issue, p. 10-19, 1999.

MARINHO, G. **Uma política inovadora de urbanização no Recife**: 10 anos de Prezeis. Recife: FASE-NE, 1999.

MARSILI, M.; ZHANG, Y. Interacting individuals leading to Zipf's law. **Physical Review Letters**, Ridge, v. 12, n. 80, p. 2741-2744, 1998.

McTAGGART, W. Geographic perspectives on spontaneous shelter. In: PATTON, C. (Edit.) **Spontaneous shelter: international perspectives and prospects**. Philadelphia: Temple University Press, 1988. p. 25-48.

MONTEIRO, C. Virando pelo avesso. In: SEMINÁRIO DE HISTÓRIA DA CIDADE E DO URBANISMO, 2000, Natal. **Anais...** Natal: UFRN, 2000.

MOREIRA, I. Fractais. In: NUSSENZVEIG, H. (Org.). **Complexidade e caos**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPEA, 1999. p. 51-82.

MOUDON, A. Urban morphology as an emerging interdisciplinary field. **Urban Morphology**, Dorchester, n. 1, p. 3-10, 1997.

MUGAVIN, D. A philosophical base for urban morphology. **Urban Morphology**, Dorchester, v. 2, n. 3, p. 95-99, 1999.

MUKHIJA, V. Upgrading Housing Settlements in Developing Countries: The impact of Existing Physical Conditions. **Cities**, [S.l.], v.4, n.18, 213-222, 2001.

NAGY, E. Transition of urban space in two systems: the fractal geometry of Hungarian provincial cities. **Cybergeo**. n. 140, 2000. Disponível em: <<http://www.cybergeo.presse.fr/durham/nagy/nagy.htm>> Acesso em: 20 fev. 2001.

NOSTRAND, V. e CORNELIUS, J. **Old Naledi: the village becomes a town**. An outline of the Old Naledi squatter upgrading project. Toronto: J. Lorimer, 1982.

NUSSENZVEIG, H. Introdução à complexidade. In: NUSSENZVEIG, H. (Org.) **Complexidade e Caos**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPEA, 1999. p. 9-26.

O SULLIVAN, D. e HAKLAY, M. Agent-based models and individualism: is the world agent-based? **Environment and Planning A**, London, n. 32, p. 1409-1425, 2000.

OKPALA, D. Upgrading slum and squatter settlements in developing countries. **Third World Planning Review**, Liverpool, v. 1, n. 21, p. 1-17, 1999.

OSTWALD, M. Fractal architecture: late twentieth century connections between architecture and fractal geometry. **Nexus Network Journal: Architecture and mathematics on-line**, 2000. Disponível em: <<http://www.nexusjournal.com>> Acesso em: 07 fev. 2001.

PACIONE, M. **Urban geography: a global perspective**. London: Routledge, 2001.

PALMER, E. e PATTON, C. Evolution of third world shelter policies. In: PATTON, C. (Edit.). **Spontaneous shelter: international perspectives and prospects**. Philadelphia: Temple University Press, 1988. p. 3-24.

PATTON, C. Prospects for the future. In: PATTON, C. (Edit.). **Spontaneous shelter: international perspectives and prospects**. Philadelphia: Temple University Press, 1988. p. 348-355.

PATTON, C. e SUBANU, L. Meeting shelter needs in Indonesia. In: PATTON, C. (Edit.) **Spontaneous shelter: international perspectives and prospects**. Philadelphia: Temple University Press, 1988. p. 168-190.

PAYNE, G. **Urban housing in the third world**. London: Leonard Hill, 1977.

PHIPPS, M. e LANGLOIS, A. Spatial dynamics, cellular automata, and parallel processing computers. **Environment and Planning B**, London, n. 24, p. 193-204, 1997.

PORTELA, D. et al. **Entra Apulso: plano urbanístico, tipologia arquitetônica, reassentamento, normas urbanísticas**. Recife: Empresa de Urbanização do Recife, 1999.

PORTUGALI, J. **Self-organization and the City**. London: Springer-Verlag, 2000.

PORTUGALI, J.; BENENSON, I.; OMER, I. Spatial cognitive dissonance and sociospatial emergence in a self-organizing city. **Environment and Planning B**, London, n. 24, p. 263-285, 1997.

RAPOPORT, A. Spontaneous settlements as vernacular design. In: PATTON, C. (Edit.) **Spontaneous shelter: international perspectives and prospects**. Philadelphia: Temple University Press, 1988. p. 51-77.

RESNICK, M. **Turtles, Termites, and Traffic Jams: explorations in massively parallel microworlds**. London: The MIT Press, 2000.

ROBERTS, B. **Landscapes of settlements**. London: Routledge, 1996.

ROCHA, D.; RANGEL, V.; FREIRE, V. Prezeis: instrumento de política pública e de luta social. In: BONDUKI, N. (Org.). **Habitat: as práticas bem sucedidas em habitação, meio ambiente e gestão urbana nas cidades brasileiras**. São Paulo: Studio Nobel, 1997. p. 145-151.

SALINGAROS, N. The laws of architecture from a physicist s perspective. **Physics Essays**, [S.l.], v. 4, n. 8, p. 638-643, 1995. Disponível em: <<http://www.math.utsa.edu/sphere/salingar/Laws.html>> Acesso em 23 fev. 2001.

SALINGAROS, N. A scientific basis for creating architectural forms. **Journal of Architectural and Planning Research**, London, n. 15, p. 283-293, 1988. Disponível em: <<http://www.math.utsa.edu/sphere/salingar/SciBasis.html>> Acesso em 23 fev.2001

SALINGAROS, N. e WEST, B. A universal rule for the distribution of sizes. **Environment and Planning B**, London, n. 26, p. 909-923, 1999.

SALINGAROS, N. Architecture, patterns and mathematics. **Nexus Network Journal: Architecture and mathematics on-line**, 2001. Disponível em: <<http://www.nexusjournal.com/salingaros.html>> Acesso em 02 ago. 2001.

SAMBROOK, R.; VOSS, R. **Fractal analysis of US settlement patterns**. Página eletrônica pessoal, 2001. Disponível em: <<http://www.ccs.fau.edu/~sambrook/fracpaper.pdf>> Acesso em 22 ago. 2001.

SANDERS, L. et al. SIMPOP: a multiagent system for the study of urbanism. **Environment and Planning B**, London, n. 24, p. 287-305, 1997.

SANTOS, B. **Introdução a uma Ciência Pós-Moderna**. Lisboa: Edições Graal, 1989.

SCHLYTER, A.; SCHLYTER, T. **George**: the development of a squatter settlement in Lusaka, Zâmbia. Lund: Swedish National Institute for Building Research, 1979.

SEMBOLONI, F. Agents with dycotomic goals which generate a rank-size distribution. **Working Paper Series**, London, 2001. CASA – University College London. Disponível em: <<http://www.casa.ucl.ac.uk>> Acesso em 22 ago. 2001.

SFI Culture Group. Agent-based modelling of small-scale societies. **Santa Fe Institute Bulletin**, v. 2, n. 13, 1998. Disponível em: <<http://www.santafe.edu/sfi/publications/Bulletins>> Acesso em fev.2001

SITTE, C. **The Art of Building Cities**. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1945.

SMITH, M. Painting by numbers – mathematical models of urban systems. **Environment and Planning B**, London, n. 25, p. 483-493, 1998.

SOBREIRA, F. **Dinâmica Espacial em Assentamentos Espontâneos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Departamento de Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1995.

SOBREIRA, F. **Logic of Diversity**: complexity and dynamics in squatter settlements. In: SPACE & PLACE RESEARCH COLLOQUIA - CENTRE FOR ADVANCED SPATIAL ANALYSIS - University College London, London, 2001.

SOBREIRA, F.; ANDRADE, M. Self-organizing Dynamics in Housing States. In: UIA - ENCONTRO DA UNIÃO INTERNACIONAL DOS ARQUITETOS, 19., 1996, Barcelona. **Anais...** Barcelona: Col·legi d'Arquitectes de Catalunya, 1996.

SOBREIRA, F.; BARROS, J. City of Slums: self-organisation across scales. **Working Paper Series**. CASA – Centre for Advanced Spatial Analysis - University College London, London, n. 55, 2000.
Disponível em: < <http://www.casa.ucl.ac.uk>> Acesso em: 30 jul. 2002

SOBREIRA, F.; GOMES, M. *The Geometry of Slums*. **Working Paper Series**. CASA – Centre for Advanced Spatial Analysis - University College London, London, n. 30, 2000.
Disponível em: < <http://www.casa.ucl.ac.uk>> Acesso em: 20 fev. 2001

SOBREIRA, F.; GOMES, M. Urban Fragmentation: spatial scaling laws in spontaneous settlements. In: INTERNATIONAL SPACE SYNTAX SYMPOSIUM, 3., 2001, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: Geórgia Institute of Technology, 2001.

SOBREIRA, F.; GOMES, M. Boundaries, Packing & Diversity. In: CORP - SYMPOSIUM ON INFORMATION TECHNOLOGY IN URBAN AND SPATIAL PLANNING, 6., 2001, Vienna. **Proceedings...** Vienna: Vienna Institute of Technology, 2001.
Disponível em <<http://www.corp.at>> Acesso em 22 ago. 2001.

SOKAL, A.; BRICMONT, J. **Imposturas Intelectuais**. Rio de Janeiro, Ed. Record, 1999.

STEADMAN, P. **Architectural Morphology**: an introduction to the geometry of building plans. London: Pion Limited, 1983.

STOSIC, B.; GOMES, M. Quantum tunneling fragmentation model. **Physical Review E**, Ridge, v. 6, n. 61, p. 6111-6119, 2000.

TASCHNER, S. Squatter settlements and slums in Brazil: Twenty years of research and policy. In: ALDRICH, B. e SANDHU, S. (Edit.). **Housing the urban poor**: policy and practice in developing countries. London: Zed Books, 1995. p. 185-223.

UNCHS-Habitat. **Survey of slum and squatter settlements**. Dublin: Tycooly International, 1982.

UNCHS-Habitat. **Shelter for low income communities**: Sri Lanka demonstration project. Nairobi: UNCHS, 1987.

URB - EMPRESA DE URBANIZAÇÃO DO RECIFE. **Plano de Regularização Urbanística:** Zeis da Mangueira. Recife: URB, 1999.

VALLADARES, L. **Passa-se uma casa.** Análise do programa de remoção de favelas no Rio de Janeiro. Zahar Editora. Rio de Janeiro, 1978.

VAN DER LINDEN, J. Implementation and impacts of an improvement programme in Karachi. **Trialog**, London, n. 13/14, p. 57-63, 1987.

VAN HOREN, B. The de facto rules: the growth and change of an informal settlement in Durban, South Africa. **Third World Planning Review**, Liverpool, v. 3, n. 21, p. 261-283, 1999.

VANCE, J. **The continuing city.** London: The Johns Hopkins University Press, 1990.

VENTURI, R. **Complexidade e Contradição em Arquitetura.** 1. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1995.

WAGNER, D. Cellular automata and geographic information systems. **Environment and Planning B**, London, n. 24, p. 219-234, 1997.

WARD, D.; MURRAY, A.; PHINN, S. A stochastically constrained cellular model of urban growth. **Computers, Environment and Urban Systems**, London, n. 24, p. 539-558, 2000.

WHITE, R.; ENGELEN, G. Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. **Environment and Planning A**, London, n. 25, p. 1175-1199, 1993.

WHITE, R.; ENGELEN, G. Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. **Environment and Planning B**, London, n. 24, p. 235-246, 1997.

WHITEHAND, J. **The changing face of cities: a study of development cycles and urban form.** Oxford: Basil Blackwell, 1987.

WHITEHAND, J. Why Urban Morphology. **Urban Morphology**, Dorchester, n. 1, p. 1-2, 1997.

YAAHUP, A.; HEALEY, R. A GIS approach to spatial modelling for squatter settlement planning in Kuala Lumpur, Malaysia. **Environment and Planning B**, London, n. 21, p. 21-34, 1994.

APÊNDICE A

Gráficos e Tabelas

APÊNDICE A

Gráficos e Tabelas

Apresentamos, neste Apêndice A, as tabelas e os gráficos individualizados que deram origem aos valores médios apresentados na Parte 2 desta tese, referentes à análise estatística dos assentamentos informais. São apresentados, inicialmente, os dados referentes à análise das ilhas (espaço construído), e em seguida são apresentados os dados relativos à análise dos espaços convexos (espaço não construído).

A tabela 1.A a seguir (Estatística Configuracional) apresenta o resumo de informações referentes ao espaço construído de cada um dos assentamentos estudados em Recife, incluindo o total de ilhas e o total de casas.

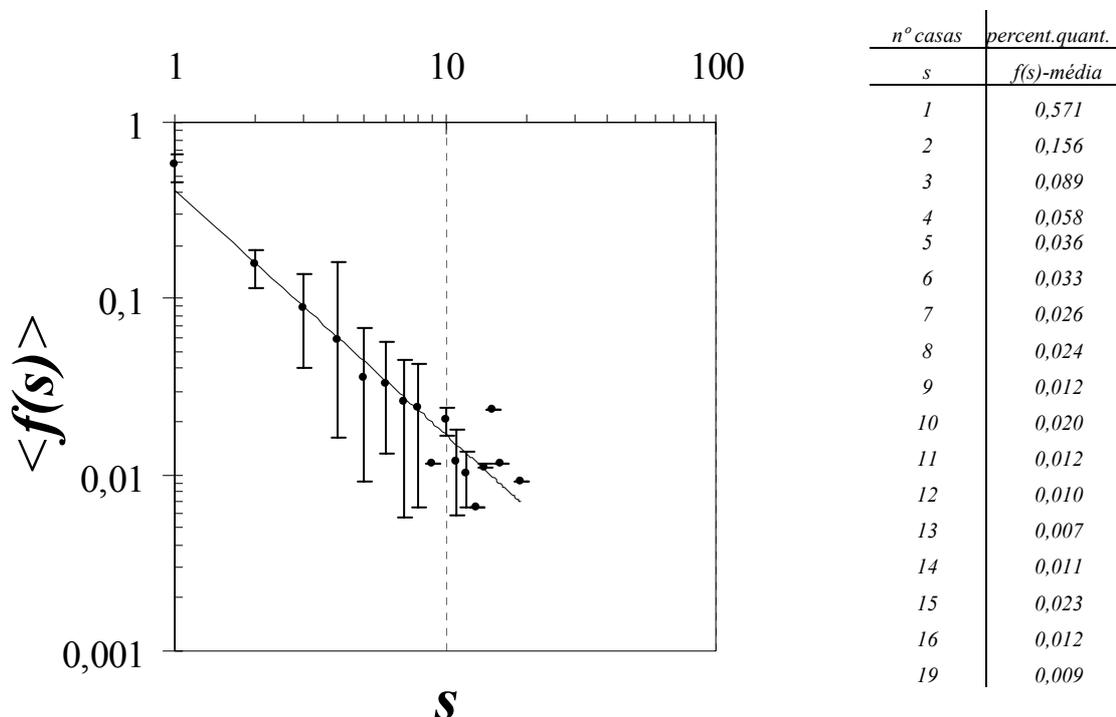
ESTATÍSTICA CONFIGURACIONAL - Assentamentos Espontâneos

Variável: nº de células (edificações) por ilha (aglomerado).

Assentamento 1 ENTRA APULSO I			Assentamento 2 ENTRA APULSO II			Assentamento 3 ST.TEREZINHA I			Assentamento 4 ST.TEREZINHA II			Assentamento 5 CAMPO DO BCO		
Nº Ilhas: 153			Nº Ilhas: 120			Nº Ilhas: 174			Nº Ilhas: 122			Nº Ilhas: 168		
Nº Casas: 313			Nº Casas: 259			Nº Casas: 280			Nº Casas: 221			Nº Casas: 347		
s	n(s)	tot.casas	s	n(s)	tot.casas	s	n(s)	tot.casas	s	n(s)	tot.casas	s	n(s)	tot.casas
1	89	89	1	70	70	1	114	114	1	78	78	1	104	104
2	24	48	2	22	44	2	33	66	2	22	44	2	25	50
3	21	63	3	5	15	3	15	45	3	8	24	3	17	51
4	8	32	4	8	32	4	7	28	4	2	8	4	6	24
5	3	15	5	5	25	5	4	20	5	5	25	5	3	15
6	2	12	6	4	24	6	0	0	6	7	42	6	4	24
7	3	21	7	3	21	7	1	7	7			7	4	28
8	1	8	8	1	8	8			8			8	0	0
9	0	0	9	0	0	9			9			9	0	0
10	0	0	10	2	20	10			10			10	4	40
11	0	0	11			11			11			11	1	11
12	1	12	12			12			12			12		
13	1	13	13			13			13			13		
14			14			14			14			14		
15			15			15			15			15		
16			16			16			16			16		
19			19			19			19			19		

Assentamento 6 CP. DO PIOLHO			Assentamento 7 PÇ.MANGUEIRA			Assentamento 8 J. DE BARROS			Assentamento 9 SIGISMUNDO		
Nº Ilhas: 110			Nº Ilhas: 86			Nº Ilhas: 94			Nº Ilhas: 74		
Nº Casas: 323			Nº Casas: 275			Nº Casas: 215			Nº Casas: 197		
s	n(s)	tot.casas	s	n(s)	tot.casas	s	n(s)	tot.casas	s	n(s)	tot.casas
1	57	57	1	43	43	1	55	55	1	34	34
2	14	28	2	10	20	2	12	24	2	13	26
3	11	33	3	9	27	3	12	36	3	3	9
4	6	24	4	6	24	4	2	8	4	12	48
5	1	5	5	5	25	5	4	20	5	5	25
6	6	36	6	4	24	6	2	12	6	1	6
7	5	35	7	0	0	7	2	14	7	3	21
8	4	32	8	0	0	8	4	32	8	2	16
9	0	0	9	1	9	9	0	0	9	0	0
10	2	20	10	2	20	10	0	0	10	0	0
11	2	22	11	1	11	11	0	0	11	0	0
12	1	12	12	1	12	12	0	0	12	1	12
13	0	0	13	0	0	13	0	0	13		
14	0	0	14	1	14	14	1	14	14		
15	0	0	15	2	30	15			15		
16	0	0	16	1	16	16			16		
19	1	19	19		0	19			19		

Tabela 1.A - dados referentes ao espaço construído dos nove assentamentos selecionados para análise. Em cada tabela, os valores de s (tamanho da ilha) n(s) (número de ilhas de tamanho s) e tot.casas (total de casas em cada classe de tamanho de ilha). São apresentados, ainda, os valores referentes ao número total de casas e de ilhas em cada assentamento.

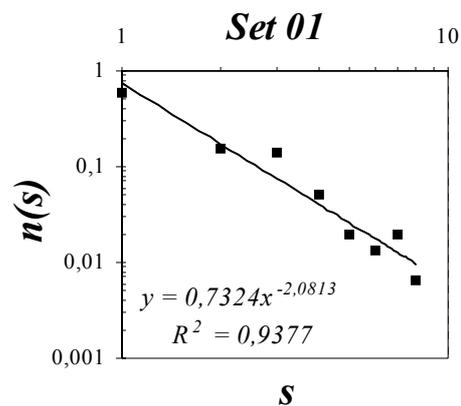


<i>nº casas</i>	Set 01	Set 02	Set 03	Set 04	Set 05	Set 06	Set 07	Set 08	Set 09
1	0,582	0,583	0,655	0,639	0,619	0,518	0,500	0,585	0,459
2	0,157	0,183	0,190	0,180	0,149	0,127	0,116	0,128	0,176
3	0,137	0,042	0,086	0,066	0,101	0,100	0,105	0,128	0,041
4	0,052	0,067	0,040	0,016	0,036	0,055	0,070	0,021	0,162
5	0,020	0,042	0,023	0,041	0,018	0,009	0,058	0,043	0,068
6	0,013	0,033		0,057	0,024	0,055	0,047	0,021	0,014
7	0,020	0,025	0,006	-	0,024	0,045	-	0,021	0,041
8	0,007	0,008	-	-	-	0,036	-	0,043	0,027
9	-	-	-	-	-	-	0,012	-	-
10	-	0,017	-	-	0,024	0,018	0,023	-	-
11	-	-	-	-	0,006	0,018	0,012	-	-
12	0,007	-	-	-	-	0,009	0,012	-	0,014
13	0,007	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	0,012	0,011	-
15	-	-	-	-	-	-	0,023	-	-
16	-	-	-	-	-	-	0,012	-	-
19	-	-	-	-	-	0,009	-	-	-

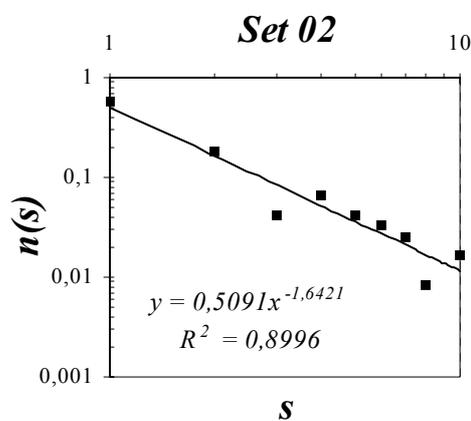
Figura 1.A - Acima, à esquerda: Gráfico de distribuição do percentual de ilhas ($f(s)$) em função do número de casas existentes (s), inclusive barras de erros. Acima, à direita: os valores médios lançados no gráfico. Parte inferior: os valores de $f(s)$ para cada assentamento. Por exemplo: pode-se verificar, através do gráfico e da tabela à direita, que cerca de 57% das ilhas têm tamanho 1, isto é, são casas isoladas.

Set 01

s	n(s)
1	0,582
2	0,157
3	0,137
4	0,052
5	0,020
6	0,013
7	0,020
8	0,007
9	-
10	-

*Set 02*

s	n(s)
1	0,583
2	0,183
3	0,042
4	0,067
5	0,042
6	0,033
7	0,025
8	0,008
9	-
10	0,017

*Set 03*

s	n(s)
1	0,655
2	0,190
3	0,086
4	0,040
5	0,023
6	-
7	0,006
8	-
9	-
10	-

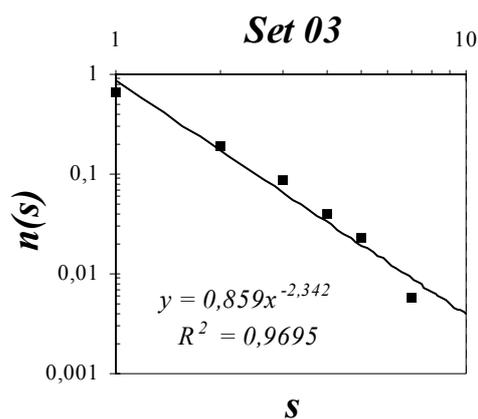
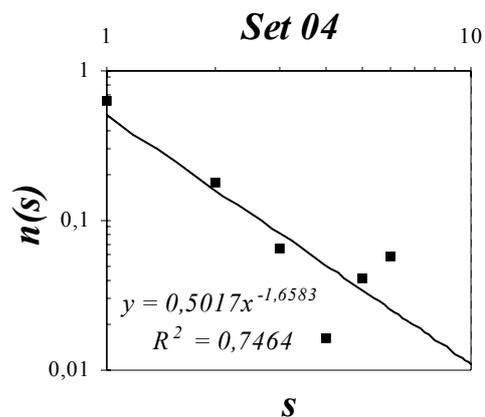


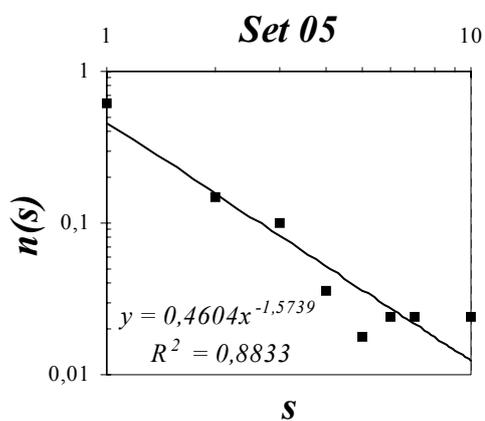
Figura 2.A - Gráficos individualizados ($n(s) \times s$) e respectivos valores percentuais médios, para os assentamentos 01 a 03.

Set 04

s	n(s)
1	0,639
2	0,180
3	0,066
4	0,016
5	0,041
6	0,057
7	
8	
9	
10	

**Set 05**

s	n(s)
1	0,619
2	0,149
3	0,101
4	0,036
5	0,018
6	0,024
7	0,024
8	
9	
10	0,024

**Set 06**

s	n(s)
1	0,518
2	0,127
3	0,100
4	0,055
5	0,009
6	0,055
7	0,045
8	0,036
9	
10	0,018

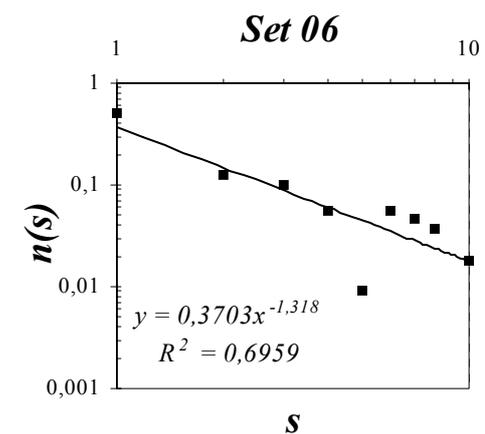
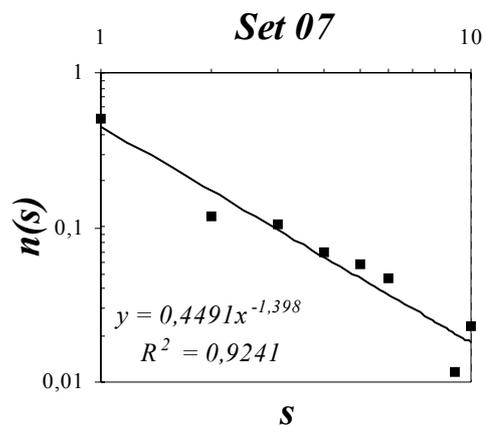


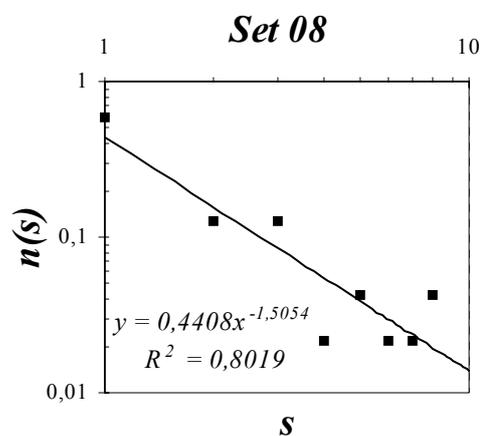
Figura 3.A - Gráficos individualizados ($n(s) \times s$) e respectivos valores percentuais médios, para os assentamentos 04 a 06.

Set 07

s	n(s)
1	0,500
2	0,116
3	0,105
4	0,070
5	0,058
6	0,047
7	
8	
9	0,012
10	0,023

*Set 08*

s	n(s)
1	0,585
2	0,128
3	0,128
4	0,021
5	0,043
6	0,021
7	0,021
8	0,043
9	
10	

*Set 09*

s	n(s)
1	0,459
2	0,176
3	0,041
4	0,162
5	0,068
6	0,014
7	0,041
8	0,027
9	
10	

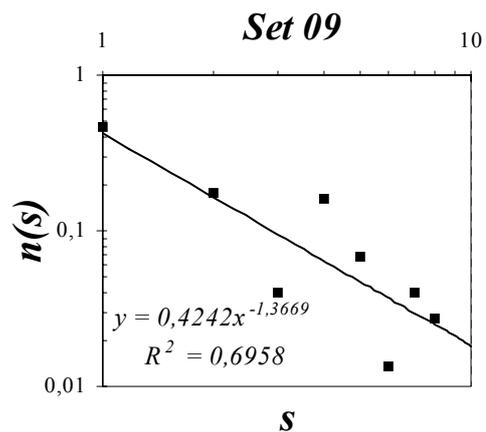
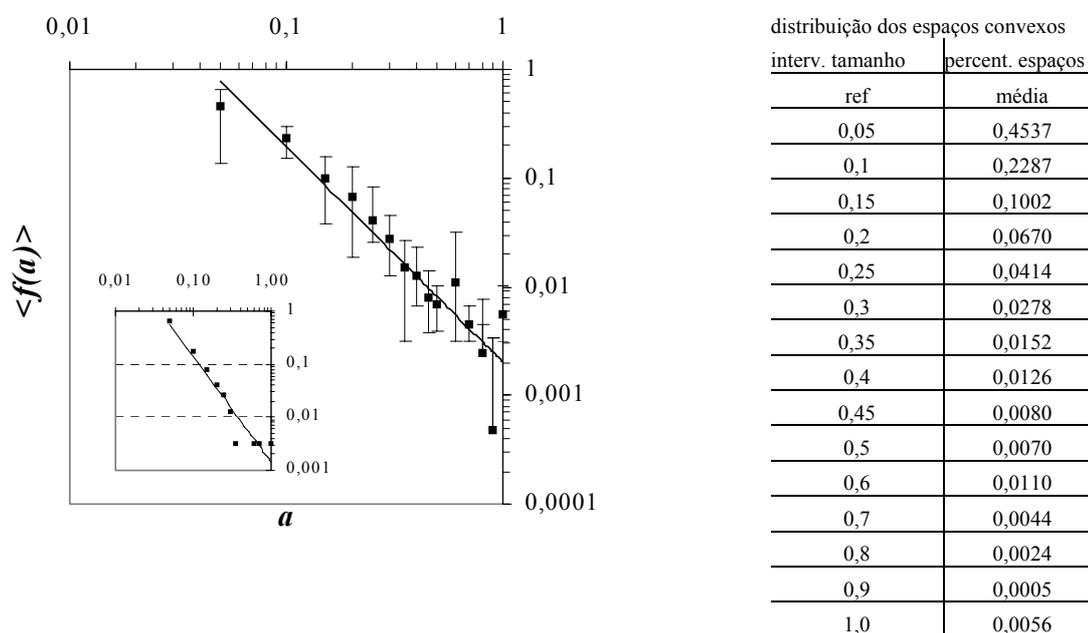


Figura 4.A - Gráficos individualizados ($n(s) \times s$) e respectivos valores percentuais médios, para os assentamentos 07 a 09.



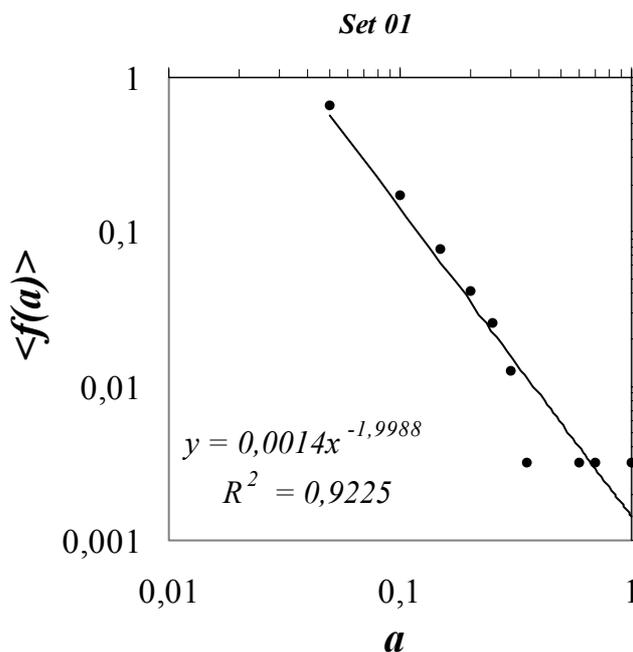
Ref (%)	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5	Set 6	Set 8
0,05	0,6592	0,6617	0,4242	0,1342	0,4247	0,2396	0,6323
0,10	0,1720	0,1992	0,2593	0,3030	0,2432	0,2719	0,1525
0,15	0,0764	0,0376	0,0875	0,1558	0,0888	0,1567	0,0987
0,20	0,0414	0,0188	0,0741	0,1255	0,1042	0,0645	0,0404
0,25	0,0255	0,0376	0,0404	0,0823	0,0309	0,0415	0,0314
0,30	0,0127	0,0188	0,0370	0,0433	0,0232	0,0461	0,0135
0,35	0,0032	0,0038	0,0269	0,0260	0,0193	0,0230	0,0045
0,40			0,0067		0,0116	0,0230	0,0090
0,45		0,0038	0,0101		0,0077	0,0138	0,0045
0,50			0,0101		0,0039		
0,60	0,0032	0,0113	0,0034		0,0116	0,0323	0,0045
0,70	0,0032	0,0038	0,0067		0,0039	0,0046	
0,80					0,0077		0,0045
0,90			0,0034				
1,00	0,0032	0,0038	0,0101	0,0043	0,0039	0,0092	0,0045

Figura 5.A - Acima, à esquerda: gráfico de distribuição do percentual de espaços convexos $f(a)$ em função dos intervalos percentuais relativos ao espaço convexo máximo a , inclusive barras de erros. Acima, à direita: os valores médios lançados no gráfico. Parte inferior: os valores de $f(s)$ para cada assentamento⁵. Por exemplo: a partir do gráfico e da tabela pode-se verificar que cerca de 22,87% dos espaços convexos, na média dos assentamentos, possuem tamanhos que correspondem ao intervalo de 10% a 15% do tamanho do maior espaço convexo.

⁵ Não foram quantificados os dados de espaços convexos referente aos assentamentos 7 e 9.

Set 01
distribuição de espaços convexos

classes de tamanho (%)	percentual
a	$f(a)$
0,05	0,6592
0,1	0,1720
0,15	0,0764
0,2	0,0414
0,25	0,0255
0,3	0,0127
0,35	0,0032
0,4	
0,45	
0,5	
0,6	0,0032
0,7	0,0032
0,8	
0,9	
1,0	0,0032



Set 02
distribuição de espaços convexos

classes de tamanho (%)	percentual
a	$f(a)$
0,05	0,6617
0,1	0,1992
0,15	0,0376
0,2	0,0188
0,25	0,0376
0,3	0,0188
0,35	0,0038
0,4	
0,45	0,0038
0,5	
0,6	0,0113
0,7	0,0038
0,8	
0,9	
1,0	0,0038

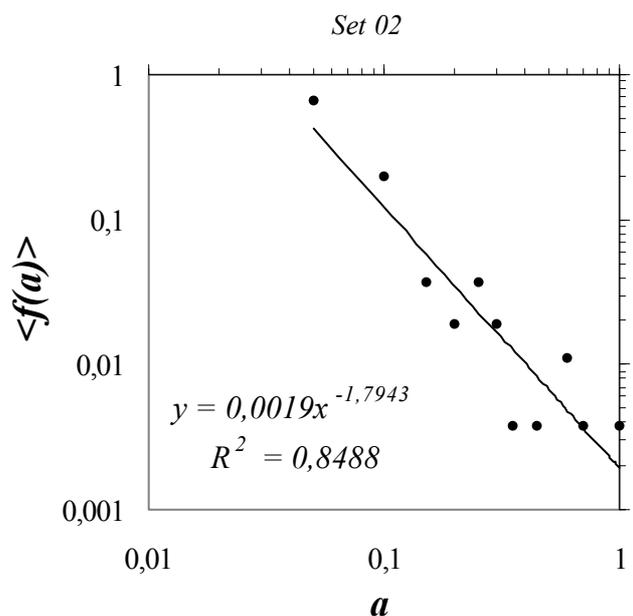
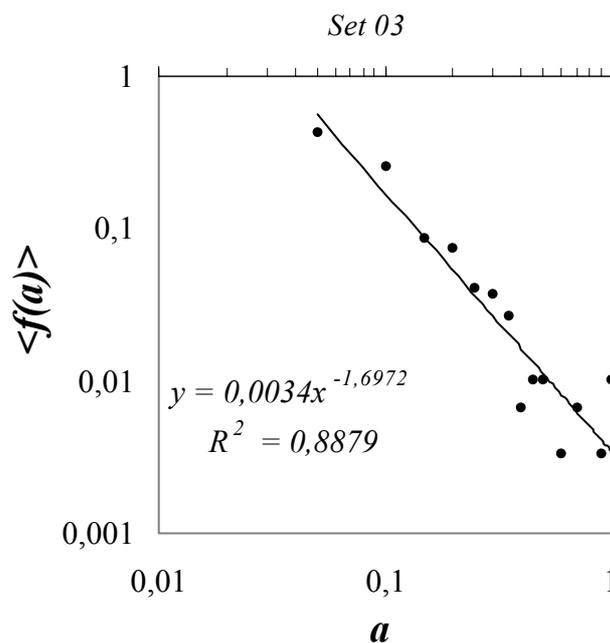


Figura 6.A - Gráficos individualizados e respectivos valores percentuais médios, referentes à distribuição dos espaços convexos ($f(a) \times a$) para os assentamentos 1 e 2.

Set 03

distribuição de espaços convexos

classes de tamanho (%)	percentual
a	$f(a)$
0,05	0,4242
0,1	0,2593
0,15	0,0875
0,2	0,0741
0,25	0,0404
0,3	0,0370
0,35	0,0269
0,4	0,0067
0,45	0,0101
0,5	0,0101
0,6	0,0034
0,7	0,0067
0,8	
0,9	0,0034
1,0	0,0101

**Set 04**

distribuição de espaços convexos

classes de tamanho (%)	percentual
a	$f(a)$
0,05	0,1342
0,1	0,3030
0,15	0,1558
0,2	0,1255
0,25	0,0823
0,3	0,0433
0,35	0,0260
0,4	
0,45	
0,5	
0,6	
0,7	
0,8	
0,9	
1,0	0,0043

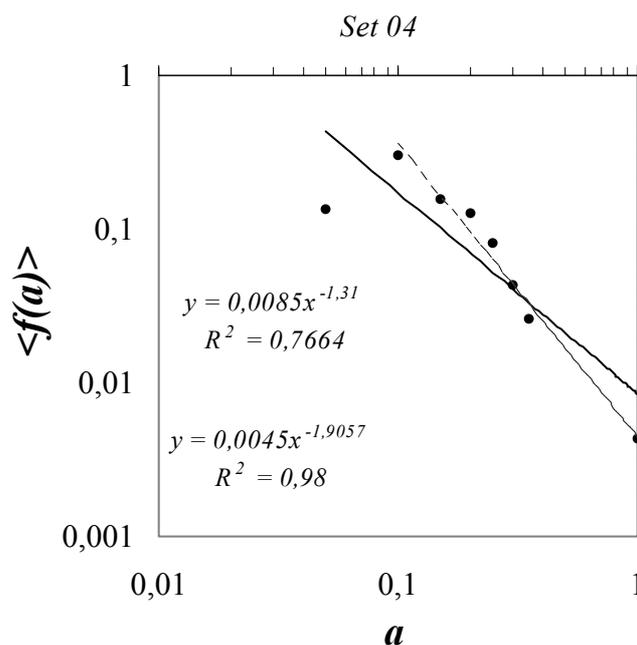
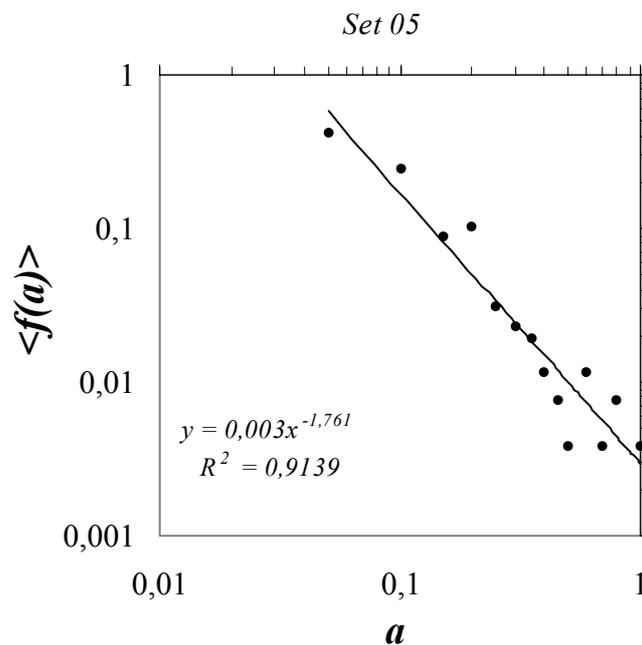


Figura 7.A - Gráficos individualizados e respectivos valores percentuais médios, referentes à distribuição dos espaços convexos ($f(a) \times a$) para os assentamentos 3 e 4.

Set 05

distribuição de espaços convexos

classes de tamanho (%)	percentual
a	$f(a)$
0,05	0,4247
0,1	0,2432
0,15	0,0888
0,2	0,1042
0,25	0,0309
0,3	0,0232
0,35	0,0193
0,4	0,0116
0,45	0,0077
0,5	0,0039
0,6	0,0116
0,7	0,0039
0,8	0,0077
0,9	
1,0	0,0039

**Set 06**

distribuição de espaços convexos

classes de tamanho (%)	percentual
a	$f(a)$
0,05	0,2396
0,1	0,2719
0,15	0,1567
0,2	0,0645
0,25	0,0415
0,3	0,0461
0,35	0,0230
0,4	0,0230
0,45	0,0138
0,5	
0,6	0,0323
0,7	0,0046
0,8	
0,9	
1,0	0,0092

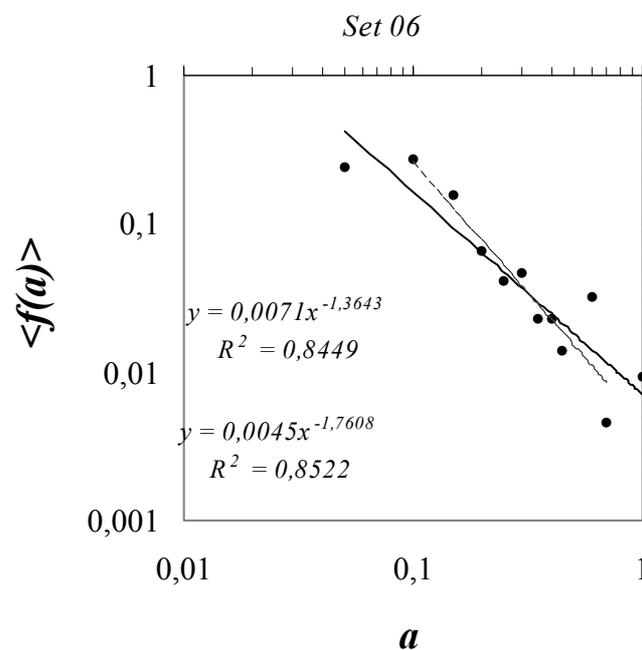


Figura 8.A - Gráficos individualizados e respectivos valores percentuais médios, referentes à distribuição dos espaços convexos ($f(a) \times a$) para os assentamentos 5 e 6.

Set 08*distribuição de espaços convexos*

<i>classes de tamanho (%)</i>	<i>percentual</i>
<i>a</i>	<i>f(a)</i>
0,05	0,6323
0,1	0,1525
0,15	0,0987
0,2	0,0404
0,25	0,0314
0,3	0,0135
0,35	0,0045
0,4	0,0090
0,45	0,0045
0,5	
0,6	0,0045
0,7	
0,8	0,0045
0,9	
1,0	0,0045

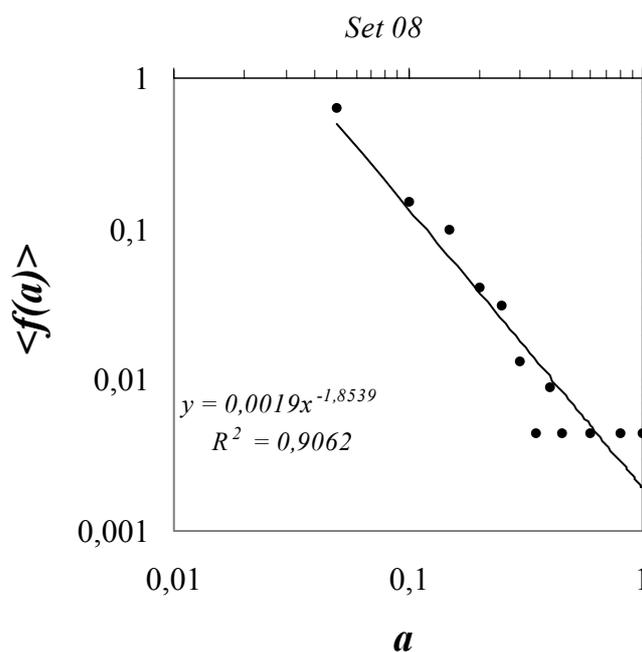


Figura 9.A - Gráficos individualizados e respectivos valores percentuais médios, referentes à distribuição dos espaços convexos ($f(a) \times a$) para os assentamentos 5 e 6.

APÊNDICE B

Projeto Favela - Algoritmos

APÊNDICE B

Projeto Favela - Algoritmos

O projeto experimental FAVELA, apresentado na Parte 3 desta tese, é um programa de simulação sobre o desenvolvimento de assentamentos informais. Como já foi definido, trata-se de um modelo computacional baseado em agentes, isto é, um modelo que se desenvolve a partir da interação entre agentes que se movem e o ambiente ao seu redor.

Como foi visto, os agentes neste modelo movem-se aleatoriamente por um ambiente celular, segundo parâmetros de aleatoriedade regulados pelo usuário, procurando por espaços atrativos e disponíveis para ocupação. Essa lógica de desenvolvimento do programa procura reproduzir aspectos da dinâmica real de ocupação de assentamentos informais, que usualmente se origina em pontos, áreas ou corredores atrativos, em torno de vazios existentes da estrutura urbana da cidade. Essas áreas atrativas, na cidade real, são situadas ao longo de vias comerciais, de infra-estrutura e de serviços. Por se tratar de um modelo heurístico, isto é, especulativo, o objetivo principal é a discussão do processo de desenvolvimento gerado a partir de conceitos teóricos e das múltiplas combinações dos parâmetros envolvidos, e não apenas o produto resultante da simulação. Como se pôde observar a partir dos experimentos e dos principais argumentos apresentados na Parte 3 desta tese, as principais bases teóricas nas quais se fundamenta o *Projeto Favela* estão relacionadas aos conceitos de Emergência e de Auto-organização. Segundo esses conceitos, como foi visto, uma estrutura complexa, na escala global, pode ser o resultado da auto-organização de indivíduos (partículas, células, agentes...), em escala-local, que seguem um conjunto de regras bastante simples.

Essa idéia é traduzida no modelo a partir de algoritmos (regras computacionais) que procuram traduzir alguns aspectos da lógica de ocupação de assentamentos informais. Sob essa perspectiva, a principal regra do Projeto Favela pode ser resumida no seguinte:

REGRA LOCAL

Os agentes devem caminhar pelo vazio urbano à procura de espaços atrativos e disponíveis para ocupação e construção de casas. Caso encontre uma área atrativa, construa no lote disponível mais próximo. Caso contrário, continue procurando.

Afim de permitir aos interessados que conheçam a lógica computacional que está por trás dessas regras e que possam reproduzir a lógica aplicada no modelo, apresentamos, neste Apêndice B, os algoritmos que compõem o *Projeto Favela*. No entanto, para aqueles que desconhecem a linguagem da programação, sugerimos que visitem a página do *StarLogo* (www.media.mit.edu/starlogo), para maiores informações sobre a linguagem e o software utilizados para a construção do modelo, e para que possam melhor compreender a lógica dos algoritmos apresentados.

A plataforma computacional do *StarLogo*, sobre a qual se construiu o *FAVELA*, divide o ambiente de programação em duas áreas: *AGENTES*, onde são escritos os algoritmos a serem seguidos pelos mesmos, e *OBSERVADOR*, onde são escritas as regras de inicialização do sistema e da interface do usuário.

Os algoritmos do FAVELA estão apresentados no programa da seguinte forma⁶:

AGENTES (AGENTS)

Implanta os agentes no ambiente de acordo com as coordenadas definidas na tela de interface:

```
to setup
setxy cordx cordy
end
```

O algoritmo a seguir é parte do procedimento `setupregular`, que desenha o ambiente a ser considerado no processo de desenvolvimento do assentamento:

```
to draw
setxy ((screen-width / 2) - 2) 0
repeat ((screen-height / 2) - 2) [stamp red fd 1] rt -90
repeat (screen-width - 4) [stamp red fd 1] rt -90
repeat (screen-height - 4) [stamp red fd 1] rt -90
repeat (screen-width - 4) [stamp red fd 1] rt -90
repeat ((screen-height / 2) - 2) [stamp red fd 1 stamp red]
end
```

```
to paint-screen
ht
setxy ((screen-width / 2) - 3) (who - ((screen-height / 2) - 3))
seth 270
repeat (screen-width - 6) [stamp 7 fd 1 stamp 7]
die
end
```

O algoritmo a seguir (*to develop*) é a regra local básica a ser seguida pelos agentes. A regra informa aos agentes: se descobrir um limite atrativo (célula de cor ref. 15) à sua frente, procure por espaços disponíveis para ocupação à sua volta. Caso não haja espaços disponíveis, continue vagando e procurando. Agentes não constroem fora dos vazios urbanos (na linguagem do programa, não constroem sobre células de cores cujas referências sejam 8,5):

⁶ Por se tratar, o StarLogo, de linguagem construída originalmente em inglês (padrão universal das linguagens de programação), os algoritmos do FAVELA estão baseados em termos utilizados naquele idioma.

to develop

```
ht
ifelse (pc = 8.5) [return] [ifelse (pc-ahead = 15) [build return] [wander] ]
end
```

Procedimento para corrigir a posição do agente e ajustá-lo à malha de coordenadas do sistema:

to grid

```
setxy round xcor round ycor
end
```

Agentes vagueiam (*wander*), aleatoriamente (em direção situada dentro do intervalo de 40 graus, sendo 20° à esquerda e 20° à direita) procurando por locais atrativos:

to wander

```
rt random 20 lt random 20 fd 1
end
```

Se o agente, depois de ter encontrado um espaço atrativo à sua frente, está no vazio urbano e livre para construir, procura um lote (célula) disponível e constrói:

to build

```
ifelse (pc = 8.5) [stop] []
grid
direction
ifelse freetobuild [settle] [findspace build]
end
```

Procedimento para ajustar as direções dos agentes (norte, sul, leste e oeste):

to direction

```
if (heading >= 315) [seth 0]
if (heading < 45) [seth 0]
if ((heading >= 45) and (heading < 135)) [seth 90]
if ((heading >= 135) and (heading < 225)) [seth 180]
if ((heading >= 225) and (heading < 315)) [seth 270]
end
```

Verifica disponibilidade de espaço para construir. Essa verificação depende do tipo de edificação que o agente está programado para construir:

to freetobuild

```
if type = 1
[output ((pc-towards 0 0) = 7) and
      ((pc-towards 0 1) = 7)]
if type = 2
[output ((pc-towards 0 0) = 7) and
      ((pc-towards 0 1) = 7) and
      ((pc-towards 45 1) = 7)]
if type = 3
[output ((pc-towards 0 0) = 7) and
      ((pc-towards 0 1) = 7) and
      ((pc-towards 180 1) = 7)]
end
```

Implanta a edificação no espaço disponível, de acordo com a tipologia definida nas variáveis da interface do usuário:

to settle

```
if type = 1
[stamp-towards 0 0 1 stamp-towards 0 1 8]
if type = 2
[stamp-towards 0 0 1 stamp-towards 0 1 8 stamp-towards 45 1 8]
if type = 3
[stamp-towards 0 0 1 stamp-towards 0 1 8 stamp-towards 180 1 8]
end
```

Procedimento importante para os agentes. É parte da regra local. Significa que, depois de descobrir a área atrativa, o agente procura por espaço disponível, caminhando "n" passos, de acordo com a variável de aleatoriedade indicada nos controladores do painel do usuário (*rand*):

to findspace

```
repeat steps [rt random rand lt random rand bk 1]
end
```

Vai para o ponto de origem:

to return

```
ht
setxy cordx cordy
seth random 360
end
```

Estes são, portanto os algoritmos referentes à plataforma dos agentes.

Vejamos, a seguir, os algoritmos referentes à plataforma do observador.

OBSERVADOR (OBSERVER)

Cria a variável tempo, a ser utilizada no gráfico (*graph-it*):

globals [time]

O programa pode ser inicializado de três formas: desenhando automaticamente um vazio urbano retangular (*setupregular*), limpando o ambiente para que o usuário desenhe o vazio urbano desejado (*setup&draw*) ou mantendo o vazio urbano existente (*setup&keep*).

Desenha uma área retangular e prepara o programa para a inicialização:

to setupregular

```
ca
clearplot
viewplot
ask-patches [setpc 8.5]
crt 1
draw
paint-screen
crt agents
ask-turtles [setup]
setup-graph
set time 0
end
```

Prepara o programa para que o usuário desenhe o seu próprio vazio urbano:

to setup&draw

```
ca
clearplot
viewplot
ask-patches [setpc 8.5]
crt agents
ask-turtles [setup]
setup-graph
set time 0
end
```

Caso já exista um vazio já desenhado, o programa apenas limpa as edificações existente e zera as variáveis definidas pelo usuário da última vez em que utilizou o programa:

to setup&keep

```
ask-patches [if ((pc = 7) or (pc = 1) or (pc = 8)) [setpc 7]]
ask-patches [if (pc = black) [setpc 8.5]]
ask-turtles [die]
clearplot
viewplot
crt agents
ask-turtles [setup]
setup-graph
set time 0
end
```

Preparando o ambiente para a inicialização do sistema. Comanda os agentes a desenhar o vazio urbano:

to draw

```
ask-turtles [draw]
end
```

Comanda os agentes a pintar o vazio urbano:

to paint-screen

```
crt (screen-height - 6)
ask-turtles [paint-screen]
end
```

Define procedimento GO que inicializa o programa:

to go

```
developbutton
graphbutton
end
```

Define o botão STOP que interrompe o programa:

to stopbutton

```
stopdevelopbutton
stopgraphbutton
end
```

Prepara o gráfico, que irá registrar as variáveis definidas neste procedimento:

to setup-graph

```
pp1 ppreset setppc 1
pp2 ppreset setppc 5
setplot-title "slum - houses x open spaces"
setplot-yrange 0 200
setplot-xrange 0 200
end
```

Definindo as variáveis a serem registradas pelo gráfico:

to graph-it

```
pp1 ppd plot (count-pc 1)
pp2 ppd plot ((count-pc 7) + (count-pc 8))
set time time + 1
end
```

to time-it

```
output time
end
```

Mostra a variável nº de casas no monitor:

to n^ohouses

```
output count-pc 1
end
```

Mostra o número de espaços abertos no monitor:

to openspaces

```
output (count-pc 7) + (count-pc 8)
end
```

Mostra a área total no monitor:

to totalarea

```
output openspaces + nohouses
end
```

Mostra a densidade no monitor:

to density

```
output (nohouses / totalarea)
end
```

Mostra a variável tempo no monitor:

to check-time

```
output time
end
```

FIM DE PROGRAMAÇÃO

(para maiores detalhes sobre o StarLogo visite a página <http://www.media.mit.edu/starlogo>. Para informações sobre o Projeto Favela, visite: <http://www.favela.20m.com>).