

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N^o 67/3: 655-668
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

DIFERENCIAÇÃO DE PADRÕES MORFOLÓGICOS URBANOS ATRAVÉS DA ANÁLISE DA LACUNARIDADE DE SUBFRAGMENTOS DE IMAGENS DE SATÉLITE QUICKBIRD

*Differentiation of Urban Morphological Patterns Through Lacunarity Analysis of
Subfragments of Quickbird Satellite Images*

Mauro Normando Macêdo Barros Filho¹ & Luiz Amorim²

¹ Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – PPGECA

Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP: 58400-258, Brasil
mbarrosfilho@gmail.com

² Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano – MDU

Avenida dos Reitores, s/n, Cidade Universitária, Recife/PE, CEP: 50741-530, Brasil
amorim@ufpe.br

Recebido em 26 de Julho, 2014/ Aceito em 26 de Janeiro, 2015

Received on July 26, 2014/ Accepted on January 26, 2015

RESUMO

O estudo verifica as diferenças entre padrões morfológicos urbanos através da análise da lacunaridade de subfragmentos de imagens do satélite QuickBird da cidade do Recife, considerando a complexa textura gerada pela combinação entre seus elementos visuais (superfícies de água, cobertura vegetal, edificações, pavimentação, etc.). Apresenta o conceito de lacunaridade e introduz a análise de subfragmentos cujo propósito é identificar com mais clareza diferenciações na morfologia urbana. Inicialmente, quatro imagens de 712 x 712 pixels foram selecionadas de fragmentos urbanos da cidade e foi calculada o valor de Lacunaridade Média (Lm) de cada imagem em 13 tamanhos de caixa. Em seguida, cada fragmento foi dividido em nove subfragmentos e o valor de Lm de cada um deles foi calculado. Os resultados gerados pela média aritmética dos valores de Lm dos subfragmentos de cada imagem (com a remoção de três deles com valores extremos) permitiram distinguir mais eficientemente seus padrões morfológicos.

Palavras-chave: Padrões Morfológicos Urbanos, Análise de Lacunaridade, Subfragmentos de Imagens de Satélite.

ABSTRACT

The study verifies the differences between urban morphological patterns through lacunarity analysis of subfragments from QuickBird satellite images of the city of Recife, considering the complex textures generated by the combination among its visual elements (water surfaces, vegetation, buildings, pavement, etc.). It presents the concept of lacunarity and introduces sub fragment analysis aiming at capturing subtleties in urban morphology. Initially, four images of 712 x 712 pixels were selected from urban fragments of city and the Mean Lacunarity (Lm) value of each image was calculated for 13 box sizes. Then, each fragment was divided into nine subfragments and the Lm value of each one

was calculated. The results generated through the arithmetic mean of the Lm values of the subfragments of each image (removing three of them with extreme values) permitted to distinguish more efficiently their morphological patterns.

Keywords: Urban Morphological Patterns, Lacunarity Analysis, Satellite Image Subfragments.

1. INTRODUÇÃO

Cidades podem ser entendidas como sistemas complexos compostos por iterações não lineares e multiescalares de componentes espaciais e físicos heterogêneos. Apesar de complexos, estes sistemas são auto-organizados e geram padrões socioespaciais como resultado das atividades humanas, em particular, do movimento intraurbano. A forma urbana está entre os padrões mais estáveis deste sistema que estrutura não apenas as atividades humanas, mas também estabelece os limites para futuras reconfigurações, na medida em que restringe as possibilidades de alteração e expansão do arranjo urbano (MAJOR, M. D., 1997; ADHIA e AMORIM, 2005). Esta pode ser descrita de acordo com tamanho (escala), propriedades geométricas e topológicas - representada por vetores (ponto, linha e polígono) e matrizes (imagens), e associada a distintos atributos. Os dados matriciais oferecem plataformas analíticas mais adequadas para articular distintas informações referenciadas geograficamente, apesar de exigirem processamento de dados mais eficientes.

A análise de dados espaciais tem por objetivo ampliar o conhecimento sobre a forma urbana, já extensamente explorada por procedimentos consagrados em estudos morfológicos, tais como os procedimentos de representação da forma urbana por meio de mapas lineares – mapas axiais (HILLIER & HANSON, 1984), linha de continuidade (FIGUEIREDO & AMORIM, 2005), análise de segmentos (TURNER, 2001); sua dimensão fractal (BATTY & LONGLEY, 1994), etc. No entanto, avanços recentes em processamento computacional, como também a ampliação no interesse de pesquisadores no tema, permitiram a emergência de procedimentos analíticos inovadores no contexto de distintas disciplinas, segundo as bases teóricas e metodológicas que as fundamentam. É neste contexto que um conjunto de investigações vem sendo realizadas com o objetivo de estabelecer a integração entre duas diferentes abordagens da análise da

forma urbana, para possibilitar descrições de padrões socioespaciais urbanos mais eficientes. A primeira abordagem consiste na análise de textura de imagens de satélite de alta resolução utilizando medidas fractais e análise de lacunaridade (MANDELROT, 1982). A segunda desenvolve a análise configuracional da forma urbana, descrevendo propriedades de acessibilidade e visibilidade segundo procedimento já estabelecido no contexto sintaxe espacial (HILLIER & HANSON, 1984; HILLIER, 1996). Espera-se que ao correlacionar padrões de textura e análise configuracional, os padrões socioespaciais possam ser mais bem identificados e descritos, contribuindo para ampliar e aperfeiçoar o instrumental teórico e metodológico necessário para entender o complexo fenômeno urbano.

Este artigo apresenta alguns resultados desta investigação concernentes à análise de fragmentos urbanos da cidade do Recife, Brasil, com o intuito de definir procedimento de análise de textura de imagens mais eficiente para identificar sutis variações nos padrões espaciais intraurbanos. É um aprimoramento de experimentos e uma complementação de investigações desenvolvidas pelos autores em artigos anteriores (AMORIM, BARROS FILHO & CRUZ, 2009; AMORIM, BARROS FILHO, 2009; AMORIM, BARROS FILHO & CRUZ, 2014), que descrevem resultados de estudos integrados entre a análise sintática e a análise de textura de imagens. Foram observados quatro fragmentos de uma imagem de satélite da cidade do Recife (Brasil), cada qual representando diferentes aspectos da sua forma urbana, e descritos segundo suas propriedades de lacunaridade, por meio da aplicação do algoritmo *Differential Box-Counting* (DONG, 2000). Os resultados preliminares revelaram que os padrões de textura das imagens deixaram de revelar aspectos importantes da forma urbana. Para superar estas limitações, foi introduzido o procedimento de análise de subfragmentos das imagens selecionadas, o que permitiu distinguir com maior precisão as características específicas das formas urbanas selecionadas.

2. METODOLOGIA

A análise figura-fundo ou sólido-vazio, originalmente aplicada pelo topógrafo Giovan Battista Nolli, em 1748, para a elaboração de mapas da cidade de Roma, é uma técnica muito empregada na análise da morfologia urbana. O antropólogo James Holston (1993) aplicou esta técnica na análise comparativa de tecidos urbanos com a mesma dimensão (350 m x 530 m), a partir de um recorte da cidade modernista de Brasília (Brasil) por volta de 1960 e de outro recorte da cidade pré-industrial de Parma (Itália) em 1830 (Figura 1). O autor percebeu que a simples relação figura-fundo produz “ordens flagrantemente inversas de sólidos e vazios” (HOLSTON, 1993, p.130). Enquanto Parma é quase totalmente sólida no plano; Brasília é quase toda vazia.

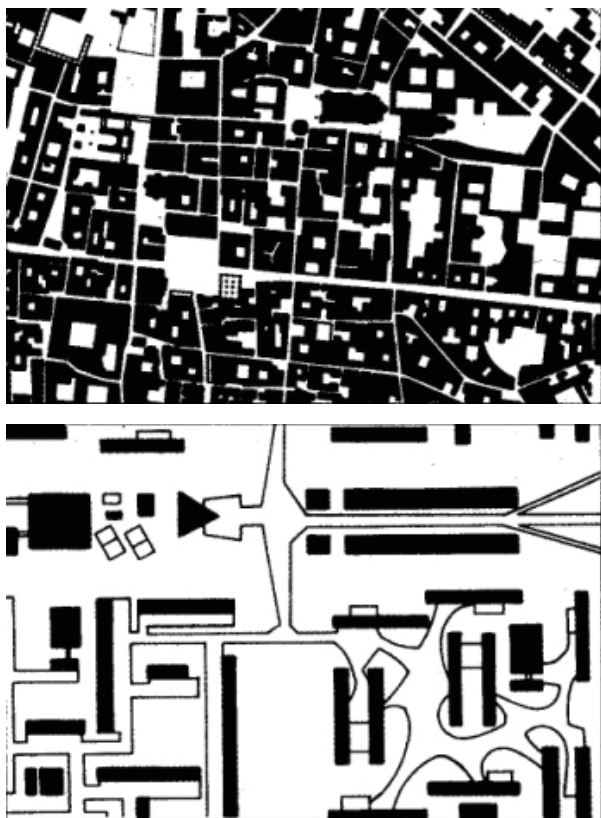


Fig. 1 - Recortes utilizados por Holston (1993, p.131).

Segundo o autor, Parma apresenta uma manipulação de vazios, tais como ruas, praças e quintais, por sólidos não modulados. Brasília, por sua vez, ‘apresenta uma manipulação de sólidos (edifícios) em vazios no mais das vezes não modulados’. Em Parma, é a estrutura

espacial que se sobressai, enquanto que em Brasília, é o objeto que adquire importância. Portanto, na cidade pré-industrial, os espaços são as figuras e os edifícios um fundo com certo grau de continuidade. Já na cidade modernista, os espaços são um vazio contínuo, e os edifícios as figuras de destaque: “Na primeira, os espaços contidos se definem por uma massa compacta. Na segunda, edifícios isolados surgem soltos em um espaço sem limites” (HOLSTON, 1993, p. 130).

2.1 Lacunaridade

Uma forma de descrever quantitativamente as diferenças entre esses dois recortes é pela descrição das suas dimensões fractais e dos seus valores de lacunaridade. O conceito de lacunaridade foi originalmente introduzido por Mandelbrot (1982) para descrever e quantificar o desvio de objetos fractais de sua invariância translacional. O termo provém do latim “lacuna” que significa “vazio”, e está relacionado com a distribuição dos *pixels* da imagem que não constituem os objetos de interesse (PLOTNICK *et al*, 1996).

Medidas baseadas em lacunaridade têm sido utilizadas no sensoriamento remoto devido à sua habilidade em distinguir diferentes padrões de textura em imagens (HENEYRY & KUX, 1995), tendo se mostrado eficientes na melhoria da acurácia nos métodos de segmentação (DU e YEO, 2002) e classificação de imagens de áreas urbanas (MYINT & LAM, 2005). Além disso, essas medidas têm revelado a possibilidade de distinguir padrões morfológicos entre favelas e não-favelas, e entre favelas com diferentes padrões de parcelamento, densidade e níveis de urbanização (SOBREIRA & BARROS FILHO, 2005).

Existem diversos algoritmos para calcular a lacunaridade de uma imagem. Nesta análise foi aplicado o algoritmo Differential Box-Counting (DBC) proposto por Dong (2000). De acordo com este algoritmo, uma caixa deslizante de tamanho r é colocada canto superior esquerdo de uma janela da imagem com tamanho $W \times W$. Este tamanho deve ser um número ímpar para permitir que o valor computado seja associado ao *pixel* central, e $r < W$. Dependendo dos valores dos *pixels* dentro da caixa deslizante $r \times r$, uma coluna com mais de um cubo pode ser necessária

para cobrir o maior valor do *pixel*, por meio da sobreposição de cubos. Se o mínimo e o máximo valor do *pixel* dentro de uma dada coluna cair dentro do cubo *u* e *v*, respectivamente. Então, a altura relativa dessa coluna em *i* e *j* será (MYINT *et al*, 2006):

$$n_r(i, j) = v - u + 1 \quad (1)$$

Quando as caixas deslizam sobre a janela *W* x *W*, a massa *M* será:

$$M = \sum_{i,j} n_r(i, j) \quad (2)$$

A distribuição de probabilidade *Q(M,r)* é obtida pela relação entre o número de caixas deslizantes com tamanho *r* e massa *M*, e o número total de caixas. A lacunaridade na caixa de tamanho *r* é definida como o desvio quadrado médio da variação da distribuição de probabilidade da massa *Q(M,r)* dividida pela sua média ao quadrado:

$$L(r) = \frac{\sum_M M^2 Q(M, r)}{\left[\sum_M M Q(M, r) \right]^2} \quad (3)$$

O valor de lacunaridade é associado ao *pixel* central da janela *W* x *W* à medida que desliza por toda a imagem.

A figura 2 abaixo mostra um exemplo hipotético da aplicação do algoritmo DBC. Neste caso, uma coluna composta por três cubos sobrepostos de tamanho *r* (boxes 1, 2 e 3) que foi gerada para cobrir o valor máximo do *pixel* contido nesta coluna (coluna branca mais delgada e mais alta dentro da coluna de cubos). Após percorrer toda a janela *w* x *w* da imagem, o valor de lacunaridade é associado ao *pixel* central da janela, representado pelo quadrado vermelho na figura 2. Em seguida, esse mesmo procedimento é repetido em outras janelas que deslizam sob toda a imagem, cada vez com um tamanho maior que o da janela anterior. No final, é produzido um valor médio de lacunaridade para cada tamanho de janela.

A quantidade e o tamanho das caixas e janelas dependem do número de *pixels* da imagem analisada e, geralmente, são definidas automaticamente pelo programa computacional

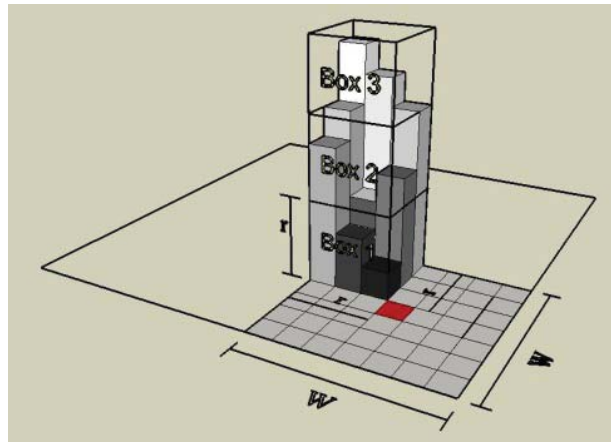


Fig. 2 - Exemplo hipotético do algoritmo DBC (BARROS FILHO & SOBREIRA, 2008).

utilizado. No presente artigo, a quantidade de janelas, doravante denominada apenas de “caixas” por ser um termo mais frequentemente empregado em análises de textura, foi definida *a priori* pelo usuário, considerando-se o tamanho das imagens e o tempo de processamento computacional.

As dimensões fractais das imagens de Parma e de Brasília são da ordem de 1.9284 e 1.6939, respectivamente. Verifica-se, portanto, que a dimensão fractal da imagem de Parma é bem mais próxima de 2.00 do que a dimensão fractal da imagem de Brasília. Isto significa que o espaço na imagem de Parma é quase totalmente preenchido pelas edificações representadas pela cor preta. Já a imagem de Brasília apresenta menor valor de preenchimento

Observa-se na Figura 3 e na Tabela 1 que a imagem de Brasília apresenta valores de lacunaridade nitidamente mais elevados do que os valores da imagem de Parma, em todos os tamanhos de caixa analisados.

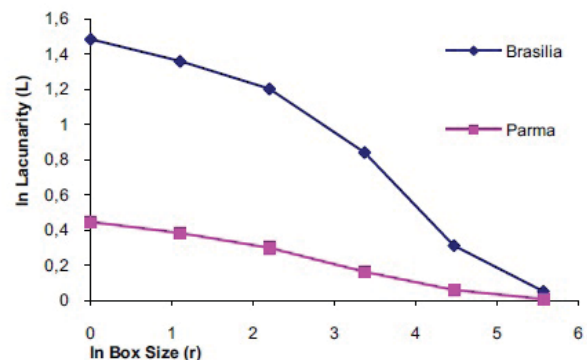


Fig. 3 - Curvas de lacunaridade das imagens de Brasília e Parma.

Tabela 1: Valores de lacunaridade das imagens de Brasília e Parma em diferentes tamanhos de caixa

| Tamanho | Brasília | Parma |
|---------|----------|--------|
| 1 | 1,4834 | 0,4458 |
| 2 | 1,3580 | 0,3819 |
| 3 | 1,2011 | 0,2980 |
| 4 | 0,8405 | 0,1630 |
| 5 | 0,3114 | 0,0587 |
| 6 | 0,0514 | 0,0070 |

Diante destes resultados, acredita-se que as diferenças de textura entre imagens de cidades modernistas e não-modernistas possam ser relacionadas com as diferenças de textura entre imagens de não-favelas e de favelas. Outras análises realizadas com imagens de alta resolução espacial (BARROS FILHO & SOBREIRA, 2007; BARROS FILHO, 2006; SOBREIRA & BARROS FILHO, 2005) revelaram que áreas urbanas com baixo padrão de habitabilidade (favelas) apresentam, em geral, valores de lacunaridade mais baixos que em áreas urbanas com alto padrão de habitabilidade (não-favelas). A Figura 4 e a Tabela 2 demonstram essas diferenças entre três áreas não-favelas (A1, A2 e A3) e três favelas (B1, B2 e B3) da cidade do Recife.

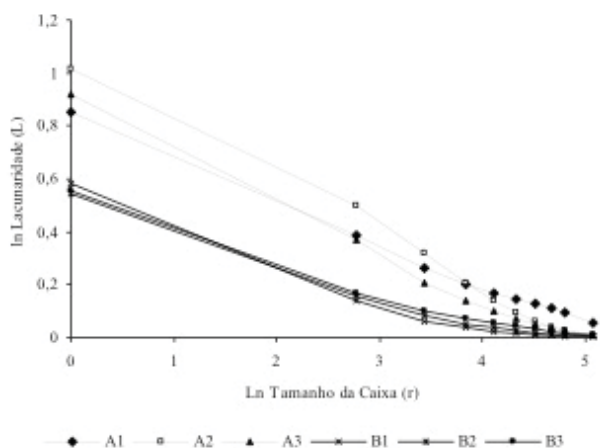


Fig. 4 - Curvas de lacunaridade em áreas com alto e baixo padrões de habitabilidade no Recife (BARROS FILHO, 2006, p. 273).

Parma e Brasília oferecem cenários urbanos bastante distintos, cujas propriedades formais são devidamente percebidas nas suas dimensões fractais e de lacunaridade. No

Tabela 2: Valores de lacunaridade em áreas de alto e baixo padrões de habitabilidade no Recife

| Imagem | IH | Lm |
|--------|--------|--------|
| A1 | 0,7931 | 1,3092 |
| A2 | 0,8087 | 1,3403 |
| A3 | 0,7953 | 1,2807 |
| B1 | 0,5785 | 1,1121 |
| B2 | 0,5739 | 1,1152 |
| B3 | 0,5753 | 1,1293 |

Fonte: Modificado de BARROS FILHO, 2006, p. 272.

entanto, muitas das cidades contemporâneas são caracterizadas por um amálgama de distintas formas urbanas. De fato, a cidade do Recife não apresenta padrões morfológicos tão díspares como aqueles descritos por Holston, entretanto, é possível verificar nítidas diferenças entre partes da cidade, construídas em diferentes períodos históricos, segundo distintos princípios urbanísticos.

Pretende-se analisar essas diferenças de padrões morfológicos a partir de recortes de imagens de satélite da cidade do Recife, sem que seja feita uma prévia classificação das imagens. Ou seja, não foram abstraídos das imagens utilizadas os sólidos (construções) e os vazios (áreas não construídas), como na análise figura-fundo apresentada por Holston. De fato, a análise adotada considera todos os seus elementos visuais (jardins, rios, árvores, estacionamento, edificações com diferentes tipos de cobertas, etc.) e a complexa combinação entre eles.

2.2 Seleção dos fragmentos

A metodologia proposta consistiu na seleção de quatro imagens Quickbird do Recife, com 0.70 metros de resolução espacial, obtidas em 2001, cada uma apresenta um tamanho de 712 x 712 pixels (500 x 500 metros). A alta resolução espacial das imagens foi necessária para possibilitar a detecção de elementos morfológicos (edifícios, lotes, vias e quadras) com diversas dimensões, geometrias e texturas. Como mostra a Figura 4, as imagens selecionadas retratam áreas urbanas da cidade com padrões morfológicos bem distintos entre si. Dois fragmentos representam áreas não planejadas da cidade, enquanto que os demais representam áreas projetadas segundo concepção modernista,

definidas por grelhas ortogonais, algumas vezes levemente deformadas. Essas imagens foram submetidas a um realce com equalização de histograma e, depois, foi estimada a lacunaridade da textura dos fragmentos selecionados.

2.2.1 Fragmento do bairro de São José

O primeiro fragmento, parte do bairro de São José (Figura 5a), compõe o centro histórico da cidade do Recife, parte do grande palimpsesto urbano que caracteriza sua Região Metropolitana. A formação do bairro remonta ao segundo quartel do século XVII, período de expansão da área urbanizada da cidade, propósito dos invasores holandeses da Companhia das Índias Ocidentais, que ocuparam o nordeste brasileiro entre 1630 e 1654. A consolidação do território urbanizado se deu, no entanto, após a retomada da região pela Coroa portuguesa. Pode ser descrito como um conjunto urbano típico da tradição urbanística portuguesa, com quadras de distintas formas e dimensões, vias estreitas e tortuosas, parcelamento urbano fundamentado no lote estreito e profundo, alta densidade construtiva e a existência de edificações religiosas margeadas por adros e pátios, foco das atividades cerimoniais e laicas das sociedades católicas ibéricas e das suas colônias. (MENEZES, 1988; LOUREIRO & AMORIM, 2000).

O bairro permaneceu relativamente íntegro até a década de 1970, tanto no que se refere à forma urbana e edilícia, quanto aos materiais construtivos utilizados, ressalvados o sistema de calçamento de vias públicas, iniciados ainda no século XIX. Grandes projetos de remodelação do tecido urbano central da cidade, iniciados ainda na década de 1910, foram, paulatinamente, transformando a paisagem urbana típica das cidades brasileiras oriundas da colonização lusitana, com a introdução de preceitos higienistas e concepções urbanísticas modernas.

São José foi objeto de renovação urbana a partir da segunda metade do século XX, parte de projeto de remodelação da área central do Recife, tendo grande porção do seu tecido destruído para a abertura de grandes avenidas (Dantas Barreto e Nossa Senhora do Carmo) (LORETTO, 2008). Como consequência, a malha irregular de quadras heterogêneas foi

rompida com a inserção de grandes espaços urbanos destinados à circulação de veículos e sua escala foi profundamente alterada. O fragmento selecionado captura esta diversidade da malha urbana atual de São José.

É importante ressaltar que o bairro era ocupado predominantemente pelo uso habitacional até o primeiro quartel do século XX. Nas décadas subsequentes, a área passa a abrigar um comércio varejista e atacadista de influência regional, cuja ocupação e expansão promoveram a lenta e progressiva expulsão dos seus moradores. Os que ainda residem no bairro fazem parte da população de renda baixa.

2.2.2 Fragmento do bairro de Casa Amarela

O segundo fragmento (Figura 5b) é do bairro de Casa Amarela, parte do cinturão de morros que circunda a bacia estuarina do Recife. É exemplo típico das áreas periféricas das cidades brasileiras. Sua população residente é predominantemente formada por trabalhadores de pequena qualificação profissional, apesar das alterações recentes do perfil profissional dos seus moradores, motivado pelos programas governamentais de acesso ao ensino técnico e superior.

A densidade construtiva da área é elevada, caracterizada por poucas áreas livres públicas e vias estreitas e tortuosas que, por vezes se adequam à topografia local. Um conjunto de escadarias em concreto completa o sistema de mobilidade da população. As quadras e lotes de dimensões semelhantes garantem uma relativa homogeneidade no tecido urbano. As edificações encontradas são, invariavelmente, de pequenas dimensões, com a exceção de grandes armazéns situados ao longo da Avenida Norte, importante eixo urbano de ligação entre o centro e à rodovia BR-101.

2.2.3 Fragmento do bairro de Boa Viagem

O terceiro fragmento é uma seção do bairro de Boa Viagem (Figura 5c), o mais denso da cidade. Sua origem é associada à Igreja de Nossa Senhora da Boa Viagem, cujo registro de doação de terras remonta ao primeiro quartel do século XVIII. De ocupação rarefeita até as primeiras décadas do século XX, o bairro tornou-se área de grande interesse da burguesia local tendo em vista a recomendação médica dos banhos de mar.

A área originalmente formada por grandes sítios de coqueirais foi loteada e ocupada em distintos ciclos de investimentos urbanos. O primeiro ciclo, como referido acima, tinha o caráter de ocupação transitória para fins de lazer, principalmente nos meses de verão. O segundo caracterizou-se pela fixação de população residente e o início da verticalização do bairro. A terceira geração é de plena especulação do solo urbano, com intenso processo de verticalização e diversificação das atividades urbanas, por força das demandas promovidas pelo aumento substancial da população residente. O processo atual se fundamenta na substituição das primeiras estruturas verticais do bairro, habitacionais, hoteleiras e empresariais, de 3 a 15 pavimentos, por condomínios verticais de 30 a 40 pavimentos.

O tecido urbano é regular e relativamente homogêneo. As distinções se fazem na forma e parcelamento das quadras segundo sua proximidade da praia. As quadras lindeiras à faixa de praia são retangulares, com face maior voltada para o mar. Seu parcelamento segue lógica semelhante – lotes estreitos e compridos (proporção média de 1/2), para oferecer o maior número de lotes com face para a praia. As quadras posteriores, cujas faces apresentam dimensões semelhantes, são parceladas uniformemente nos sentidos Norte-Sul e Leste-Oeste.

As edificações encontradas no bairro são, na sua grande maioria, isoladas das divisas dos lotes, apresentam grande altura, portanto, geram sombras de grandes dimensões, e ocupam, no máximo, 40% do lote.

2.2.4 Fragmento do bairro de IPSEP

O último fragmento (Figura 5d) corresponde ao conjunto habitacional construído pelo Instituto de Previdência dos Servidores do Estado de Pernambuco - IPSEP, antigo instituto de previdência social dos funcionários do Governo do Estado de Pernambuco. Foi projetado nos anos de 1950 por uma equipe de arquitetos e urbanistas coordenada pelo arquiteto Florismundo Lins, segundo parâmetros do urbanismo modernista filiado aos princípios do *Congrès Internationaux d'Architecture Moderne - CIAM*.

O projeto combina setores de habitação

coletiva, de 3 a 4 pavimentos, e individual, térrea. O primeiro tipo habitacional foi projetado em quadras coletivas, separados por áreas verdes. O segundo adequava-se ao parcelamento tradicional de lotes individuais. Nestes setores, as quadras são arranjadas ao redor de uma praça quadrada, previsto como centro das atividades comunitárias. Um sistema hierarquizado de vias estabelece o padrão de profundidade relativa, necessária para a segregação destas praças comunitárias.

Após mais de cinquenta anos de sua concepção e início de construção, alterações substanciais foram introduzidas por seus habitantes, tanto na esfera privada – com a ampliação das unidades habitacionais e melhoria das condições de moradia; quanto pública – com a privatização de espaços públicos, seja para a ampliação das unidades habitacionais, seja para construção de edificações irregulares. Este é um fenômeno comum em conjuntos de habitação social no Brasil (RIGATTI, 2000; AMORIM & LOUREIRO, 2001), uma demonstração da dinâmica social e da ausência de controle urbano nas cidades brasileiras. Como consequência, aspectos da morfologia urbana de áreas não planejadas emergem do contexto urbano regular e relativamente homogêneo.



Fig. 5 - Fragmentos do tecido urbano do Recife.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos com a aplicação do método de contagens de caixas diferenciais estão sintetizados na Tabela 3 e Figura 6. O fragmento do bairro de Casa Amarela apresentou valores de lacunaridade mais baixos e mais distintos daqueles obtidos nas demais imagens analisadas, em todas as dimensões de caixa, salvo naquela de tamanho 10, cujo valor é idêntico ao do fragmento do bairro do IPSEP, e naqueles de tamanhos 11 a 13, cujos valores são nulos e idênticos aos dos demais fragmentos. O fragmento do bairro de Boa Viagem apresentou os valores de lacunaridade mais elevados. Já os fragmentos dos bairros de São José e do IPSEP apresentam valores muito semelhantes entre si e bem mais próximos dos valores de Boa Viagem do que os obtidos na análise da imagem do bairro de Casa Amarela. As diferenças dos valores de lacunaridade entre os fragmentos dos bairros de Boa Viagem e Casa Amarela são semelhantes aos resultados obtidos na análise das diferenças morfológicas entre favelas e não-favelas (BARROS FILHO, 2006; BARROS FILHO & SOBREIRA, 2007; BARROS FILHO & SOBREIRA, 2008). Como revelado no exemplo da figura 4 e na tabela 2, os valores de lacunaridade variaram de 1,2807 a 1,3092 em não-favelas (A1, A2 e A3) e de 1,1121 a 1,1293 em favelas do Recife.

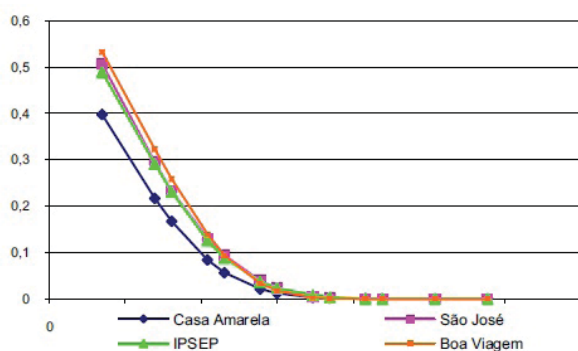


Fig. 6 - Curvas de lacunaridade dos fragmentos de 712 x 712 pixels, segundo algoritmo *Differential Box Counting*.

Como já previsto, à medida que se aumenta o tamanho das caixas, os quatro fragmentos tornam-se cada vez mais difíceis de serem distinguidos entre si, uma vez que quanto maior a caixa, menor a capacidade de identificar

Tabela 3: Valores de lacunaridade das imagens dos fragmentos analisados em diferentes tamanhos de caixa

| Tamanho | Casa Amarela | São José | IPSEP | Boa Viagem |
|---------|--------------|----------|--------|------------|
| 1 | 0,3973 | 0,5062 | 0,4891 | 0,5326 |
| 2 | 0,2166 | 0,2953 | 0,2910 | 0,3228 |
| 3 | 0,1670 | 0,2329 | 0,2306 | 0,2587 |
| 4 | 0,0839 | 0,1305 | 0,1257 | 0,1391 |
| 5 | 0,0562 | 0,0934 | 0,0878 | 0,0938 |
| 6 | 0,0211 | 0,0390 | 0,0371 | 0,0334 |
| 7 | 0,0116 | 0,0225 | 0,0235 | 0,0178 |
| 8 | 0,0029 | 0,0051 | 0,0076 | 0,0028 |
| 9 | 0,0014 | 0,0020 | 0,0037 | 0,0007 |
| 10 | 0,0002 | 0,0000 | 0,0002 | 0,0000 |
| 11 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 12 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 13 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| Média | 0,0737 | 0,1021 | 0,0997 | 0,1078 |

as distinções de textura de imagem. Como consequência, as curvas de lacunaridade tendem a convergir para zero. No entanto, nota-se que o fragmento correspondente ao bairro de Casa Amarela se diferencia dos demais em cinco das treze escalas de análise (caixas com tamanhos de 1 a 5 na Tabela 3). Já no fragmento do bairro de Boa Viagem isto ocorre em três escalas (caixas com tamanhos de 1 a 3 na Tabela 3). Enquanto que os fragmentos dos bairros do IPSEP e de São José somente ficam mais nitidamente distintos entre si em uma única escala (no primeiro tamanho de caixa na Tabela 3).

O método de análise adotado é baseado em uma abordagem multiescalar e relacional pois, ao estabelecer que determinado padrão morfológico urbano pode ser distinguido de outro(s) qualquer (quaisquer) segundo os valores de lacunaridade obtidos em distintas escalas de observação. Dessa forma, quando tal padrão consegue se diferenciar dos demais em uma maior quantidade de escalas, mais robustos serão os resultados.

As médias dos valores de lacunaridade obtidas dos fragmentos em todos os tamanhos de caixa (ver última linha da Tabela 3) reforçam ainda mais a constatação de que o método adotado é mais eficiente em distinguir o fragmento do bairro de Casa Amarela (0,0737) dos fragmentos de São José (0,1021), do IPSEP (0,0997) e de Boa Viagem (0,1078). Esses três

últimos apresentam médias com valores bem mais próximos entre si e mais distantes do valor do referido fragmento.

Observa-se, portanto, que o método de análise de imagens utilizado não oferece resultados robustos capazes de distinguir os padrões morfológicos de São José, IPSEP e Boa Viagem, em diferentes escalas. A dificuldade torna-se ainda maior em distinguir o traçado urbano regular do conjunto do IPSEP, do traçado irregular que caracteriza o bairro histórico de São José. A razão para tal limitação deve-se à diversidade de padrões de textura visualmente identificados dentro os fragmentos selecionados.

3.1 Seleção dos subfragmentos

Para superar esta limitação do procedimento analítico adotado, cada fragmento com 712 x 712 *pixels* foi subdividido em nove fragmentos menores, sobrepostos entre si, com 356 x 356 *pixels*, denominados, a partir de agora, de “subfragmentos” (ver a Figura 7). As figuras de 8 a 11 mostram os nove subfragmentos que compõem cada um dos quatro fragmentos selecionados. Em seguida, a imagem de cada

subfragmento foi realçada por equalização de histograma e a sua lacunaridade estimada com o mesmo algoritmo previamente utilizado. Por fim, foi calculada a *Lacunaridade Média - Lm* do subfragmento, ou seja, a média dos valores de lacunaridade do subfragmento nos 13 tamanhos de caixa considerados. Com este procedimento, foi possível analisar a variação dos valores de *Lm* no conjunto de subfragmentos que compõem cada fragmento selecionado.

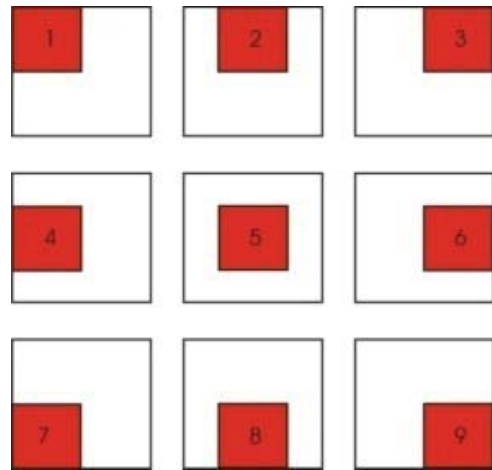


Fig. 7 - Localização dos subfragmentos.

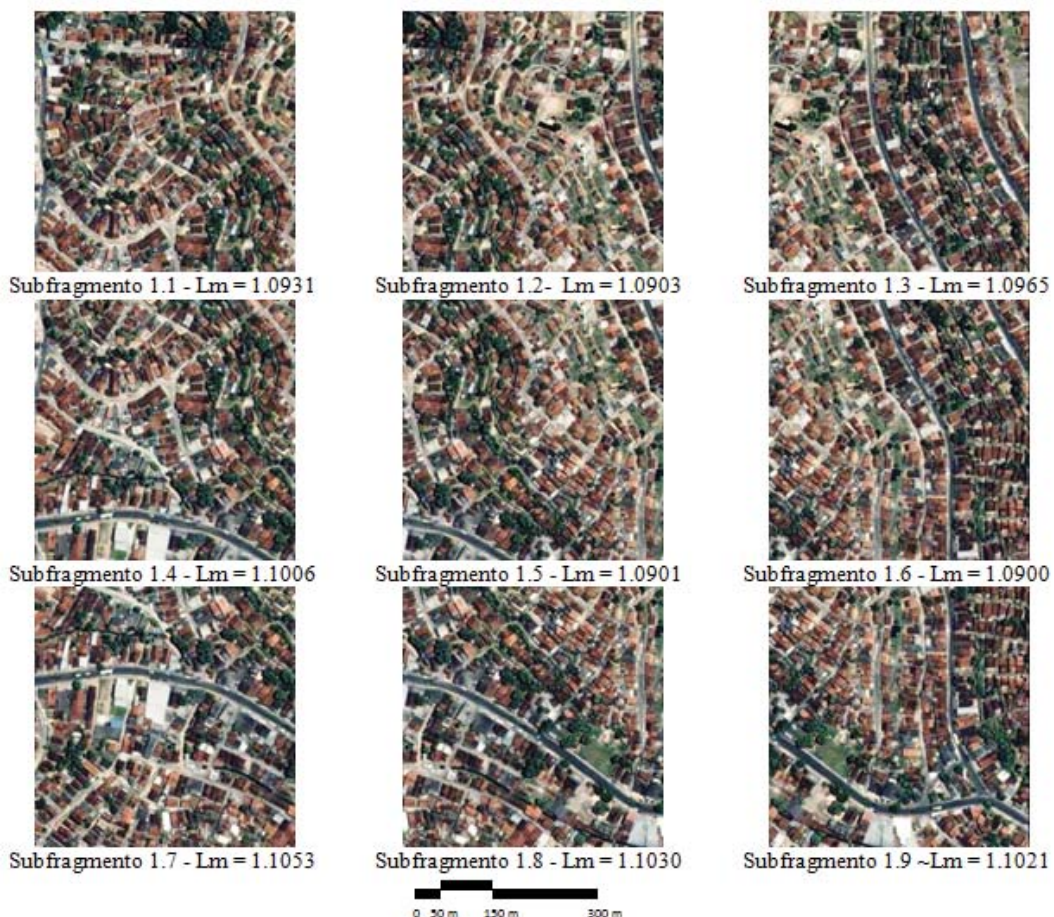


Fig. 8 - Subfragmentos de Casa Amarela.

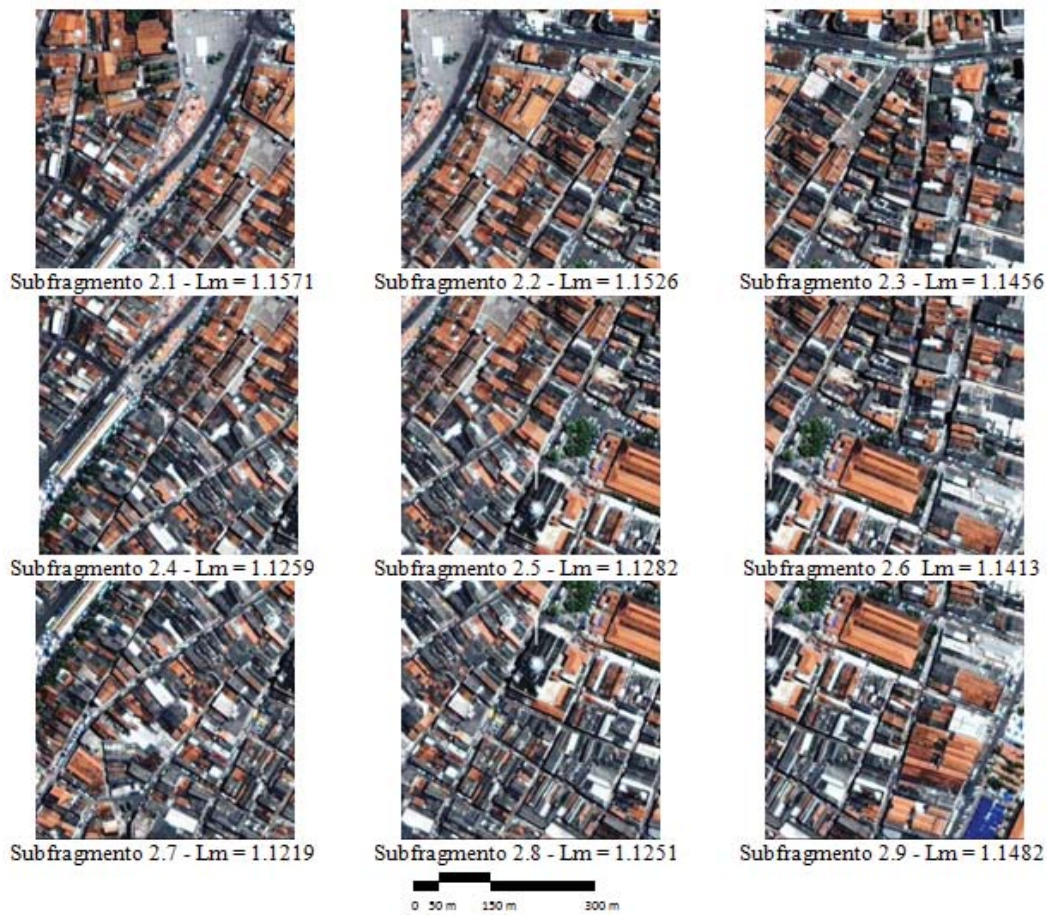


Fig. 9 - Subfragmentos de São José.

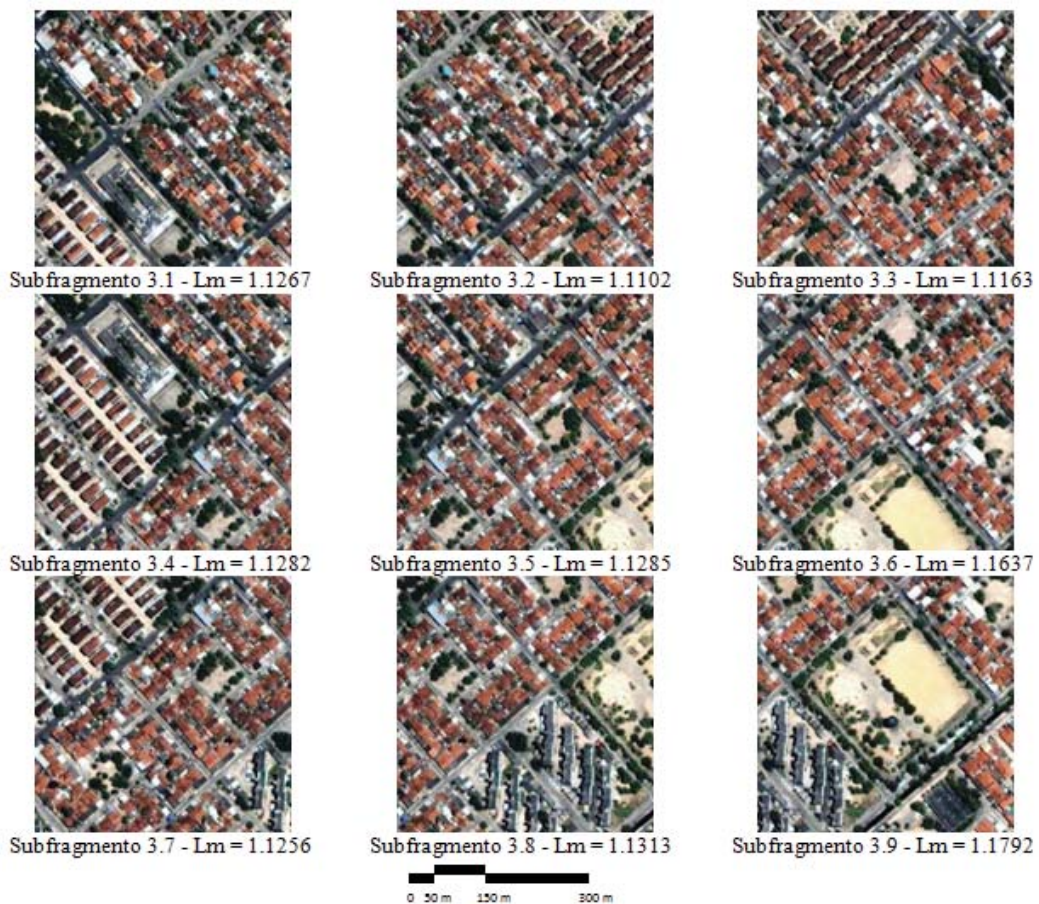


Fig. 10 - Subfragmentos de IPSEP.

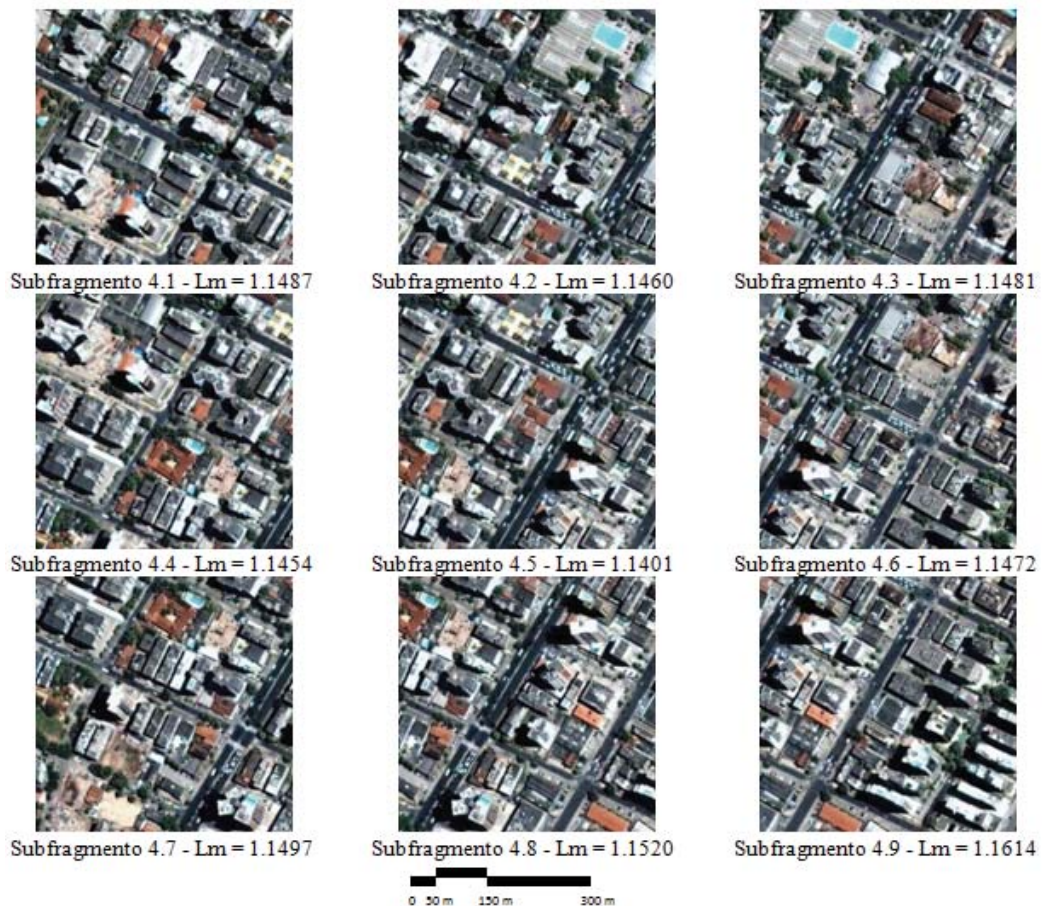


Fig. 11 - Subfragmentos de Boa Viagem.

Os resultados obtidos foram significativos. Conforme mostra a tabela 4, a variação de valores de Lm dentro de cada conjunto de subfragmentos dos fragmentos de Casa Amarela e Boa Viagem é muito baixa (baixo desvio-padrão). Em relação a esses dois fragmentos, a variação dos subfragmentos de São José e IPSEP são bem maiores, sendo aproximadamente duas vezes maior no primeiro e quatro vezes maior no segundo.

Tabela 4: Desvio padrão dos valores de lacunaridade em cada conjunto de subfragmentos

| | Casa Amarela | São José | IPSEP | Boa Viagem |
|--------|--------------|----------|--------|------------|
| Desvio | 0,0061 | 0,0125 | 0,0224 | 0,0058 |

Em Casa Amarela, por exemplo, os maiores valores são encontrados nos subfragmentos 1.4, 1.7, 1.8 e 1.9 (ver Figura 8), revelando a influência da Rua Arlindo Cisneiros, via pavimentada mais larga da imagem, assim como dos lotes e edificações maiores, lindeiros

a esta via. Já em Boa Viagem, o subfragmento 4.9 apresenta um valor mais elevado, devido à influência dos edifícios típicos da orla marítima da Avenida Boa Viagem (altos e compridos), que projetam amplas sombras e têm sua cobertura revestida por superfícies relativamente homogêneas.

A variação dos valores de Lm dentro de cada conjunto de subfragmentos do fragmento de São José e, principalmente, do fragmento do IPSEP, é muito mais elevada (maior desvio-padrão) do que os anteriores. Os valores mais elevados em São José estão associados à grande dimensão do largo da Igreja Nossa Senhora do Carmo (no canto superior direito do subfragmento 2.1 e no canto superior esquerdo do subfragmento 2.2) e da grande cobertura do Mercado de São José (na parte inferior do subfragmento 2.6 e na parte superior 2.9). Já no fragmento do IPSEP, os valores mais altos estão associados ao campo de futebol da Praça Senador Roberto Kennedy (na parte inferior do subfragmento 3.6 e na parte central do subfragmento 3.9).

3.2 Remoção de valores extremos

Apesar da obtenção de resultados mais significativos, foi introduzido um terceiro nível analítico como forma de obter dados mais precisos sobre as características morfológicas dos fragmentos urbanos selecionados. O primeiro procedimento analítico consiste em calcular a diferença dos valores de Lm de cada subfragmento em relação à média dos valores de Lm do conjunto de cada imagem, com o objetivo de evitar subfragmentos com texturas atípicas. Em seguida, foram removidos os valores dos três subfragmentos de cada conjunto que apresentam as diferenças mais elevadas (células em tom de cinza na Tabela 5). Finalmente, foi calculada uma nova média para cada conjunto desconsiderando os valores dos três subfragmentos removidos (última linha da Tabela 5).

Os valores da nova média gerada com a remoção dos subfragmentos com valores extremos

possibilitam ampliar a diferenciação entre os fragmentos de São José e do IPSEP, ficando a média dos valores do segundo ainda menor do que o do primeiro. Esses resultados reafirmam que o padrão de textura de Casa Amarela é o mais baixo dentre os analisados e o que mais se diferencia dos padrões das demais áreas.

Quanto ao padrão de Boa Viagem, observa-se que é o mais alto do conjunto, estando mais próximo do padrão de São José e do IPSEP. Estes resultados revelam que os padrões do fragmento do bairro de São José são mais semelhantes aos encontrados no fragmento do bairro de Boa Viagem, do que aqueles identificados no fragmento do bairro do IPSEP. Isto significa que, apesar de São José apresentar um traçado urbano mais orgânico do que aquele que caracteriza o traçado do IPSEP, o tamanho dos espaços construídos em São José é mais semelhante aos de Boa Viagem.

Tabela 5: lacunaridade média dos subfragmentos selecionados

| Subfragmento | Casa Amarela | São José | IPSEP | Boa Viagem |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | 1.0931 | 1.1571 | 1.1267 | 1.1487 |
| 2 | 1.0903 | 1.1526 | 1.1102 | 1.1460 |
| 3 | 1.0965 | 1.1456 | 1.1163 | 1.1481 |
| 4 | 1.1006 | 1.1259 | 1.1282 | 1.1454 |
| 5 | 1.0901 | 1.1282 | 1.1285 | 1.1401 |
| 6 | 1.0900 | 1.1413 | 1.1637 | 1.1472 |
| 7 | 1.1053 | 1.1219 | 1.1256 | 1.1497 |
| 8 | 1.1030 | 1.1251 | 1.1313 | 1.1520 |
| 9 | 1.1021 | 1.1482 | 1.1792 | 1.1614 |
| Média | 1.0968 | 1.1378 | 1.1344 | 1.1487 |
| Nova Média | 1.0976 | 1.1313 | 1.1261 | 1.1475 |

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A análise de textura de imagens urbanas mostrou relativa eficiência para identificar padrões morfológicos em fragmentos urbanos de distintas filiações urbanísticas, sejam planejadas ou não planejadas, referendando estudos anteriores descritos na literatura (BARROS FILHO e SOBREIRA, 2007; BARROS FILHO, 2006; SOBREIRA e BARROS FILHO, 2005). Os resultados obtidos não contradizem a hipótese de que o arranjo espacial dos tons de cinza nas imagens dos fragmentos urbanos analisados está associado ao tamanho e à distribuição dos seus espaços públicos e privados. Por um lado,

fragmentos urbanos compostos por espaços de dimensões significativamente variadas ou mais irregularmente distribuídos tendem a apresentar valores de lacunaridade relativamente mais elevados. Por outro lado, fragmentos que apresentam espaços com dimensões mais semelhantes e mais uniformemente distribuídos tendem a ter valores de lacunaridade relativamente mais baixos.

No entanto, foi possível observar que, diante da complexidade das características dos tecidos urbanos, se faz necessário empreender procedimentos analíticos mais sensíveis às particularidades da sua forma. O procedimento de

seleção de subfragmentos aqui proposto mostrou-se eficiente para discernir as diferenciações dos fragmentos selecionados. O método permitiu identificar subfragmentos com valores atípicos de lacunaridade dentre os demais e remover a sua influência na caracterização geral dos fragmentos de imagem analisados.

O fragmento do bairro histórico de São José se caracteriza pelo traçado irregular, portanto composto por espaços públicos com distintas dimensões e ângulos de interseção entre ruas e entre ruas e largos. As quadras são relativamente grandes, particularmente quando comparadas àquelas dos demais fragmentos, e o parcelamento se faz com lotes estreitos e compridos, seguindo proporções variáveis de 1/5 a 1/7. Como consequência, as edificações são compridas e estreitas. Esta irregularidade da malha urbana é reforçada pela presença de edificações de destaque, como igrejas – São Pedro, Livramento, Terço, etc., e do Mercado de São José, todos adjacentes aos adros e pátios onde se realizam as cerimônias e festas religiosas públicas, adicionando uma maior diversidade à forma urbana.

Já o fragmento de Casa Amarela, apesar de apresentar irregularidade de mesma natureza no traçado viário, os elementos que compõem a textura urbana são menores, salvo raras exceções, e mais numerosos, quando comparados ao bairro de São José. Ou seja, o parcelamento urbano é mais fragmentado, com unidades parcelares menores e com um grau de homogeneidade considerável, tendo em vista a ausência de edificações ou áreas urbanas de grandes dimensões. Neste sentido, as aparentes semelhanças entre São José e Casa Amarela são dissipadas pela dimensão e homogeneidade dos objetos que os compõe. Da mesma forma, os fragmentos do IPSEP, como os de Casa Amarela, são compostos por um número maior de pequenos objetos, quando comparados aos de Boa Viagem e São José, respectivamente.

Estas características dos fragmentos urbanos analisados sugerem que o tamanho das edificações é uma propriedade mais significativa para a caracterização dos padrões morfológicos, do que a regularidade do traçado viário. Assim sendo, o parcelamento urbano (quantidade e dimensão dos lotes) parece estabelecer maior determinação na caracterização das texturas urbanas, na medida em que as edificações são,

na sua grande maioria, dependentes dos limites e área dos lotes urbanos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE, pela concessão de Bolsa de Fixação de Pesquisador, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão de Bolsa de Produtividade em Pesquisa, que possibilitaram o desenvolvimento da investigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADHIA, A.; AMORIM, L. From Annarbour to A2: a morphological genesis of the City of Ann Arbor, USA. In: **Proceedings of the Fifth International Space Syntax Symposium**. Delft: Techne Press, 2005. Anais: v. II. p. 617-632, 2005.

AMORIM, L.; BARROS FILHO, M. Urban space and image: converging configuration and texture analysis In: **Proceedings of the Sixteenth International Seminar on Urban Form**, Guangzhou, 2009. Anais. p. s/n, 2009.

AMORIM, L.; BARROS FILHO, M., CRUZ, D. Urban texture and space configuration: analysing Recife's urban fragments In: **Proceedings of the 7th International Space Syntax Symposium**, Estocolmo, 2009. Anais: p.003.1 – 003.14, 2009.

AMORIM, L.; BARROS FILHO, M.; CRUZ, D. Urban texture and space configuration: an essay on integrating socio-spatial analytical techniques. **Cities**, 39C, 58-67, 2014.

AMORIM, L.; LOUREIRO, C. Uma figueira pode dar rosas? Um estudo sobre as transformações em conjuntos populares. **Arquitextos**, São Paulo, 009.06, fev 2011. <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/01.009/920>.

BARROS FILHO, M. **As múltiplas escalas da diversidade intra-urbana**. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 2006. 296 p.

BARROS FILHO, M.; SOBREIRA, F. Urban textures: a multi-scale analysis of sociospatial patterns. In: **Proceedings of X Computers in Urban Planning and Urban Management**, CUPUM, Foz de Iguaçu, 2007. Anais: p. s/n,

2007. Paper 107. p. 1-12.

BARROS FILHO, M.; SOBREIRA, F. Accuracy of lacunarity algorithms in texture classification of high spatial resolution images from urban areas. In: **Congress of the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing - ISPRS**, 21, Beijing (China), 2008. Anais: p.417-422.

BATTY, M.; LONGLEY, P. **Fractal cities: a geometry of form and function**. London: Academic Press, 1994. 394 p.

DONG, P. Test of a new lacunarity estimation method for image texture analysis. **International Journal of Remote Sensing**, 21 (17): 3369-3373, 2000.

DU, G.; YEO, T. S. A novel lacunarity estimation method applied to SAR image segmentation. **IEES Transitions on Geoscience and Remote Sensing**, S.I., 40, 12, 2002.

FIGUEIREDO, L.; AMORIM, L. Continuity lines in the axial system. In: **Proceedings of the Fifth International Space Syntax Symposium**. Delft: Techne Press, 2005. Anais: v.I. p.161-174, 2005

MAJOR, M. D. Are American cities different? If so how do they differ. In: **Proceedings of the First International Space Syntax Symposium**. London, v. 3, p. 9.1-9.14., 1997.

HENEGBRY, G. M.; KUX, H. J. H. Lacunarity as a texture measure for SAR imagery. **International Journal of Remote Sensing**, S.I. (16): 565-57, 1995.

HILLIER, B.; HANSON, J. **The Social logic of space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984. 296 p.

HILLIER, B. **Space is the machine**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 343 p.

HOLSTON, J. **A Cidade modernista: uma crítica de Brasília e sua utopia**. São Paulo: Cia. das Letras, 1993. 353 p.

LORETTO, R. **Paraíso e Martírios: histórias**

de destruição de artefatos urbanos e arquitetônicos no Recife. Recife: EDUFEPE, 2008. 353 p.

LOUREIRO, C.; AMORIM, L. O mascate, o juiz, o bispo e os outros: sobre a gênese morfológica do Recife. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, 3: 19-38, 2000.

MANDELROT, B. B. **The fractal geometry of nature**. New York: Freeman, 1982. 468 p.

MENEZES, J. L. M. (org.) **Atlas Histórico Cartográfico do Recife**. Recife: Editora Massangana, 1988. 118 p.

MYINT, S.; MESEV, V.; LAM, N. Urban textural analysis from remote sensor data: lacunarity measurements based on the differential box counting method. **Geographical Analysis**, 38: 371-90, 2006.

MYINT, S. W.; LAM, N. A study of lacunarity-based texture analysis approaches to improve urban image classification. **Computer, Environment and Urban Systems**, S.I. (21): 501-523, 2005.

PLOTNICK, R.; GARDNER, R. H.; HARGROVE, W.W.; PRESTEGAARD, K.; PERLMUTTER, M. Lacunarity analysis: a general technique for the analysis of spatial patterns. **Physical Review**. 55 (5): 5461-5468, 1996.

RIGATTI, D. Order and Structure, Design and use in Housing Estates. **Urban Design International**. 5: 161-176, 2000.

SOBREIRA, F.; BARROS FILHO, M. Favelas via satellite: spatial analysis in slums. In: **International Symposium on Information and Communication Technologies in Urban and Spatial Planning**. Vienna, 2005. Anais: 1 CD-ROM, 2005.

TURNER, A, Angular analysis. In: **Proceedings of the 3rd International Symposium on Space Syntax**, Atlanta: GeorgiaTech, 2001. Anais: v. I. p 30.1-30.11, 2001.