

Da textura orbital à superfície social: investigando padrões socioespaciais através da lacunaridade e habitabilidade

Matheus Batista Simões^a  e Mauro Normando Macêdo Barros Filho^b 

^a Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, Recife, PE, Brasil.

E-mail: matheusista@gmail.com

^b Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica e Engenharia Civil, Campina Grande, PB, Brasil.

E-mail: mbarrosfilho@gmail.com

Submetido em 12 de maio de 2022. Aceito em 03 de novembro de 2022.

<https://doi.org/10.47235/rmu.v10i2.241>

Resumo. Este artigo consiste em uma investigação da relação entre a textura e as condições de habitabilidade urbana no distrito-sede de Campina Grande (PB), Brasil. A análise de textura urbana consistiu em uma abordagem morfológica pautada na teoria dos fractais, mensurada através do cálculo de lacunaridade. A análise da habitabilidade foi realizada por meio do cálculo de um índice, construído a partir de dados disponibilizados pelo Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que permite avaliar condições de renda, longevidade, tipologia domiciliar, saneamento e ocupação nos setores censitários urbanos do município. As medidas texturais e de habitabilidade foram espacializadas e sobrepostas entre si através de ferramentas de geoprocessamento. A relevância deste trabalho está no uso de técnicas alternativas no auxílio às leituras territoriais, na compreensão das diversidades intraurbanas e na detecção de padrões de segregação e fragmentação. Os resultados permitiram concluir que o cruzamento dos valores de lacunaridade e habitabilidade auxiliam no planejamento de diretrizes urbanísticas, tendo como referência áreas representativas selecionadas neste estudo.

Palavras-chave. textura urbana, lacunaridade, habitabilidade

Introdução

A segregação espacial é um processo que marcou o crescimento de grande parcela das cidades brasileiras. Trata-se de uma manifestação da desigualdade que impera em nossa sociedade e pode ser conceituada como: “[...] processo segundo o qual diferentes classes ou camadas sociais tendem a se concentrar cada vez mais em diferentes regiões gerais ou conjuntos de bairros da metrópole” (Villaça, 2001, p.142). Na cidade segregada, historicamente, a porção mais rica da população se concentrou em áreas centrais, ambientalmente mais favoráveis, mais bem-equipadas e legalizadas; enquanto a população mais pobre, em áreas periféricas com

infraestrutura precária, com riscos ambientais e próximo a margens de rios, indústrias e ferrovias (Caldeira, 2000).

Castells (1983, p.210) afirma que a segregação urbana ocorre quando a distância social tem uma expressão espacial mais forte, como uma “tendência à organização do espaço em zonas de forte homogeneidade social interna e com intensa disparidade social entre elas, sendo esta disparidade compreendida não só em termos de diferença, como também de hierarquia”.

A segregação urbana pode ser identificada de diversas formas, tais como: (i) pelo modelo Centro-periferia, no qual o preço do solo no centro é mais elevado do que na periferia; (ii)

por tipos de moradia, com zonas com moradias reservadas a população mais rica e zonas para moradias populares; (iii) pelo zoneamento de funções urbanas, como zonas de escritório, indústrias, moradias, sistematizado e racionalizado por políticas urbanas; (iv) pelo nível de oferta de equipamentos coletivos, em que os equipamentos em zonas populares são mais precários em relação aos alocados em zonas valorizadas; e (v) pelo nível de transporte no trajeto casa x trabalho, em que a população mais pobre se apropria dos meios coletivos, e a população mais rica do uso dos automóveis (Lojkine, 1997, p.189, 244).

Ainda que a segregação urbana seja uma marca de grande parte das cidades do país, diversos estudos têm apontado que o crescimento e a espacialização das classes sociais nos grandes centros urbanos da América Latina têm se configurado cada vez mais como um padrão espacial fragmentado (Sabatini, 1999; Cariola e Lacabana, 2001; Prévôt-Schapira, 2001; Veiga, 2005; Caldeira, 2010). Esse conceito ainda é palco de debates, e pode ser entendido sob a perspectiva espacial (descontinuidade física e morfológica do tecido urbano), social (comunidades que adotam lógicas excludentes) e política (dispersão de atores e autonomização dos dispositivos de gestão e regulação urbana) (Prévôt-Schapira, 2001, p.3).

A fragmentação urbana tem se manifestado concomitante à segregação centro-periferia, e tem ocorrido na medida em que as classes médias e altas migram para municípios ou bairros periféricos. Essa migração ocorre devido ao surgimento de novos produtos imobiliários, sendo o condomínio fechado por muros o mais difundido, que trouxe promessas de segurança, isolamento do urbano, homogeneidade social, equipamentos e serviços internos. Por demandarem grandes áreas, não disponíveis em áreas centrais, essa produção imobiliária ocorreu em áreas periféricas, ocupadas majoritariamente pela população de baixa renda. Diante disso, os grupos sociais, que no modelo centro-periferia estavam separados por grandes distâncias, passam a estar cada vez mais próximos geograficamente, mas separados por muros e tecnologias de segurança que promovem a não-interação social (Caldeira, 2000).

Do mesmo modo que existe um processo de migração das classes altas e médias para a periferia urbana, a população mais pobre tem disputado por espaço em zonas mais centrais, seja pelo maior acesso ao emprego e ao sistema de transporte público, como também pelo abandono dessas áreas por parte das classes dominantes, que logo após retirarem suas lojas e moradias dessas áreas, difundiram a ideia de que o centro da cidade estaria se “deteriorando” (Villaça, 2011). Ao analisar o mercado imobiliário em assentamentos precários, Abramo (2007, p.39) aponta que existe um “sub-mercado informal nas áreas consolidadas” que tem permitido a fixação do pobre em zonas cada vez mais centrais.

Tendo em vista esses processos, Sobreira (2002) aponta que as cidades são resultado da combinação dinâmica (em constante mutação) de fragmentos. Dentre eles, cabe citar as áreas planejadas, os assentamentos ilegais, cortiços, espaços livres, áreas institucionais, shopping centers, conjuntos habitacionais periféricos, corredores comerciais informais, dentre outros. Esses fragmentos, a depender da escala na qual são analisados, podem apresentar outros fragmentos menores que se organizam de modo hierárquico.

Levando em consideração os padrões socioespaciais segregados e fragmentados, o objetivo deste artigo é compreendê-los a partir de métricas que mensuram a forma urbana e os seus aspectos socioeconômicos, no distrito-sede de Campina Grande (PB). Esse trabalho possui relevância ao trazer técnicas alternativas no planejamento urbano, que combinam uma abordagem morfológica a outra de análise socioeconômica, de modo a contribuir com a construção de zoneamentos e diretrizes urbanísticas.

Inicialmente, são apresentados conceitos que embasam a metodologia deste trabalho, como os de textura urbana, lacunaridade e habitabilidade. Dadas as conceituações iniciais, é feito uma caracterização da área de estudo, seguida por uma descrição da metodologia adotada, a apresentação e discussão dos resultados obtidos, e por fim as considerações finais, nas quais serão destacadas as contribuições, limitações e futuros desdobramentos desta pesquisa. Este arquivo apresenta as normas de formatação

para publicação na Revista de Morfologia Urbana (RMU).

Referências conceituais

Textura Urbana

Textura pode ser definida, em termos visuais, como a descrição da variabilidade espacial dos tons encontrados em uma imagem, com a expressão de rugosidade ou suavidade gerada pela variação do tom ou pela repetição de padrões em uma superfície (Tso e Mather, 2001, p. 88). Ao observar imagens digitais urbanas vistas através de satélites, tem-se uma diversidade de texturas. Segundo Barros Filho (2006), essa textura pode ser investigada ao analisar a distribuição espacial dos níveis de cinza dos pixels que as compõem, e sua análise é útil para diferenciar padrões de ocupação na cidade. A composição das texturas urbanas depende, segundo o autor, de três fatores básicos: (i) o material presente na superfície dos alvos; (ii) das dimensões; e (iii) das resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal da imagem utilizada.

Os materiais comumente identificados na composição de texturas urbanas estão nas vias, nas cobertas das edificações e nos maciços vegetais, com diversidade dimensional, em função das escalas nas quais são visualizados. A partir da textura urbana, é possível extrair informações quanto à distribuição dos espaços livres na cidade, bem como a relação desses espaços com as edificações, que quanto mais elevadas, apresentam maiores projeções de sombras, conferindo padrões de textura específicos. A análise de textura se enquadra na abordagem espacial da morfologia urbana (Oliveira e Monteiro, 2016).

A relevância em analisar as texturas através de imagens urbanas de imagens de satélite está no fato de que cada assentamento possui características homogêneas que o distingue do restante da cidade, com características comuns e identificadoras (Lynch, 1960), e dentre essas características, o modo de ocupação precário e autoconstruído possui uma paisagem que se distingue radicalmente do modo de ocupação não-precário e financiado pelo mercado imobiliário para as classes dominantes. A textura é uma das características que distingue essas ocupações e configura-se como um importante critério visual na compreensão da

diversidade intraurbana nas cidades (Barros Filho, 2006).

A variabilidade de padrões de textura se relaciona diretamente com os padrões de ocupação urbana. Quanto menor a variabilidade, mais homogênea será a textura, e quanto maior a variabilidade, mais heterogênea ela será. A textura também pode se relacionar com níveis de precariedade de determinado lugar, áreas urbanas com mais espaços livres e maior diversidade morfológica tendem a apresentar uma textura mais heterogênea, sendo esta uma característica predominante de áreas menos precárias. Enquanto áreas urbanas com menos espaços livres e com baixa diversidade morfológica apresentam uma textura mais homogênea, característica mais típica em áreas precárias.

As imagens de satélite, recurso imprescindível na análise de textura, são recursos que podem ser utilizados na atualização e complementação das bases cartográficas municipais. Isso se deve ao recobrimento periódico dos sensores que orbitam em torno da Terra e a disponibilização gratuita através de plataformas públicas. No caso do Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em parceria com grandes empresas privadas como a Google, disponibiliza um catálogo de imagens gratuitas do LandSat, Cbers, dentre outros satélites. Muitos municípios brasileiros sequer dispõem de bases cartográficas digitais com informações referentes ao desenho urbano, parcelamento das quadras e lotes, limite das edificações e informações quanto aos gabaritos. A partir da disponibilização em massa dessas imagens, elas se consolidaram como um importante recurso no planejamento urbano, possibilitando análises mais acessíveis.

Padrões de segregação e fragmentação urbana podem ser compreendidos a partir da análise da textura urbana, visto que esta pode apresentar continuidade ou descontinuidade na malha urbana. As cidades podem ser, portanto, entendidas como grandes coleções de texturas urbanas, formando ricos e diversificados mosaicos que refletem padrões de ocupação específico, o qual está relacionado com as especificidades socioespaciais do seu território, ou seja, com

as formas de uso e ocupação do solo e o perfil socioeconômico de seus moradores.

Steiniger et al. (2007) argumentam que é possível extrair informações da estrutura urbana e reconhecer diferentes padrões urbanos por meio de análises morfológicas baseadas em semelhança e proximidade, tanto a partir de imagens de sensoriamento remoto, como de bases cartográficas. A textura pode auxiliar em processos de classificação de imagens e há diversas medidas que mensuram a textura urbana, uma delas é a lacunaridade apresentada no item a seguir.

Lacunaridade

A lacunaridade é uma grandeza complementar à Geometria Fractal. Esta foi concebida a partir da observação da complexidade visual das formas da natureza que descrevem características como a auto-similaridade, fragmentação, rugosidade e organização hierárquica (Mandelbrot, 1982). A aplicação de medidas fractais nas cidades representou um enorme avanço do ponto de vista das análises espaciais aplicadas ao urbanismo. Na década de 1990, Frankhauser (1997) e Batty e Longley (1994) chegaram à constatação de que o tecido urbano é fractal por natureza, ou seja, os arranjos das edificações, dos lotes e das vias vistos por meio de imagens de sensoriamento remoto emulam os fractais. As características geométricas dos fractais se tornaram úteis para descrever a complexidade dos padrões urbanos e como estes se comportam em diferentes escalas.

O termo “lacunaridade” provém do latim “lacuna”, que significa “vazio” e está relacionado com a distribuição de vazios em um padrão espacial de uma imagem em diferentes escalas (Plotnick et al., 1996). Segundo Barros Filho (2006), a lacunaridade permite uma análise da densidade, empacotamento, dispersão e permeabilidade de uma estrutura geométrica em diferentes escalas. Diante disso, medidas de lacunaridade permitem descrever diferentes coberturas do solo a partir do reconhecimento de áreas com diferentes padrões na distribuição de vazios urbanos, visto que esses padrões se repetem em muitas escalas.

A lacunaridade é mensurada em valores não-inteiros de 1 ao infinito. Áreas que apresentam valores próximos de 1 possuem um padrão de

textura mais homogêneo, o que revela uma menor quantidade de espaços livres urbanos e melhor distribuídos. Quanto mais distante de 1, a textura é mais heterogênea e indica a presença de espaços livres urbanos maiores e mais concentrados. A Figura 1 ilustra exemplos de texturas homogêneas em imagens de satélite de Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) de Campina Grande. Já a textura heterogênea teve como exemplo áreas não-precárias e com concentração de espaços livres ou mais verticalizadas, nas quais o tamanho e a projeção da sombra das edificações traz características texturais particulares. Contudo, deve-se levar em consideração, como será posteriormente abordado neste trabalho, que não é possível generalizar que todas as áreas precárias apresentam textura homogênea, bem como nem todas as áreas não-precárias apresentam textura heterogênea.

Dentre os métodos para calcular a lacunaridade em imagens digitais. Um dos métodos mais utilizados é o de Caixas Deslizantes (Gliding Box), desenvolvido por Allain e Cloitre (1991), e o de Contagem Diferencial de Caixas (Diferencial Box Counting), proposto por Dong (2000), capaz de calcular a lacunaridade em imagens com 256 tons de cinza (8 bits). Este último foi utilizado nesta pesquisa, e funciona da seguinte forma: inicialmente, uma caixa deslizante passa pela imagem e calcula a intensidade média dos píxeis. Em seguida, a distribuição de frequência de massas de caixa $n(S,r)$ é calculada e, posteriormente, convertida em uma distribuição de probabilidade $Q(S,r)$, dividindo cada valor de frequência pelo número total de caixas deslizantes de um determinado tamanho $N(r)$. O valor de lacunaridade será, portanto, definido pelas seguintes expressões:

$$\Lambda(r) = \frac{\sum M (M^2) Q(M,r)}{(\sum M M Q(M,r))^2} \quad (1)$$

$$n_r(i,j) = v - u - 1 \quad (2)$$

$$M_r = \sum (i,j) n_r(i,j) \quad (3)$$

Onde: $Q(M,r)$ é a distribuição de probabilidade da massa; M é a massa da imagem em escala de cinza; e $n(i,j)$ é a altura relativa da coluna em i e j .

A lacunaridade já foi utilizada para distinguir padrões de textura no sensoriamento remoto (Henebry e Kux, 1995; McIntyre e Wiens, 2000) e demonstrou eficiência no seu uso em métodos de segmentação e classificação (Du e

Yeo, 2002; Mynt e Lam, 2005). Esta medida já foi aplicada tanto em imagens binárias (1 bit), geradas a partir de métodos de binarização como Principal Component Analysis (PCA) e detecção de linhas (Kit et al., 2013), como em mapas de cheios e vazios construídos a partir de bases cartográficas de edificações. (Alves Júnior e Leão, 2011). Outro estudo utilizou imagens de sensoriamento remoto convertidas em níveis de cinza (8 bits) (Barros Filho e Sobreira, 2008).

Diversos experimentos associaram e correlacionaram a lacunaridade a outras variáveis, considerando amostras de imagens com diferentes níveis socioeconômicos (Barros Filho, 2006) e Análises Gráficas Visuais (VGA) também foram correlacionadas com a lacunaridade, considerando fragmentos urbanos do Recife com diferentes condições socioeconômicas (Amorim e Barros Filho, 2017). Em estudos mais atuais, a densidade urbana (Berghauer Pont e Haupt, 2009) foi associada a lacunaridade através de experimentos que compararam os valores das duas grandezas para amostras representativas de ZEIS e não-ZEIS (Barros Filho et al., 2019).

A lacunaridade também foi utilizada como indicador na construção de índices para o mapeamento da precariedade, que se somaram a diversos outros indicadores como a dimensão fractal, as características da rede viária e a renda (Leão, 2011). Outro estudo adicionou também informações relativas a geomorfologia do terreno e materiais e estrutura dos assentamentos precários, e a lacunaridade auxiliou no treinamento de classificadores (Owen e Wong, 2013).

Diante dos diversos estudos recentes, Mahabit et al. (2017) apontaram que as principais vantagens de abordagens texturais, a exemplo da lacunaridade, está na sua capacidade de mensurar propriedades de objetos em escalas diferentes, o que ajuda a uma melhor discriminação dos mesmos. Além disso, segundo os autores, a lacunaridade permite a compreensão da diversidade intra e inter fragmentos urbanos, e contém informações valiosas para compreender mudanças ao longo do tempo. Entretanto, essa abordagem tem dificuldade em localizar assentamentos precários que cobrem áreas menores do que o tamanho do grid utilizado para o cálculo, além disso, os valores são intransferíveis na comparação dos resultados quando se utiliza sensores diferentes.

A análise de textura aplicando medidas de lacunaridade apresenta desafios técnicos de implementação para toda a área urbana de um município, além disso, a quantidade de amostras se limita ao grid de análise das imagens. Barros Filho (2006) aponta que métodos de interpolação constituem-se como uma possibilidade de superar essas limitações. Um método de interpolação por Krigagem Ordinária, aplicado em uma região da Zona Sul do Recife (Barros Filho, 2009), abrangendo dois assentamentos precários e outro não-precário, revelou sensibilidade tanto em distinguir os assentamentos precários do não-precário, como também diferenças de textura dentro dos assentamentos precários.

A contribuição deste trabalho em relação aos estudos anteriores está no uso de um algoritmo de cálculo de lacunaridade que permitiu analisar uma maior quantidade de amostras, oferecendo análises mais amplas de padrões

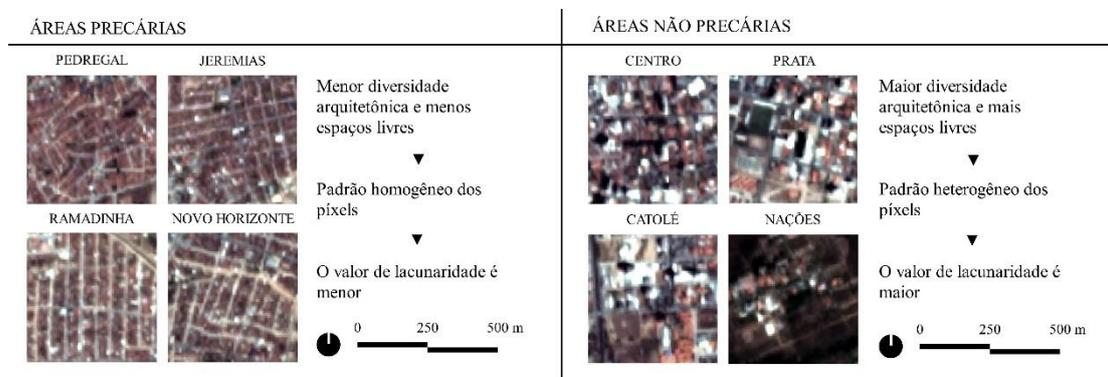


Figura 1. Diferenças texturais entre áreas precárias e não precárias, exemplificadas por recortes de bairros de Campina Grande (fonte: sensor Planet (4,77m), capturadas entre julho e novembro de 2019, elaborado pelos autores)

de textura em zonas urbanas. Além disso, tem como objeto de estudo uma cidade média do semiárido brasileiro, possibilitando uma melhor compreensão dos padrões espaciais nessas regiões, e da diversidade intraurbana, presente em áreas precárias e não-precárias.

Habitabilidade

A habitabilidade pode ser definida como os atributos dos espaços construídos para satisfazer necessidades objetivas ou subjetivas dos indivíduos ou grupos que os habitam, possuindo uma dimensão físico-espacial, como também psicossocial (Landázuri e Mercado, 2004). A discussão em torno dessa temática construiu um entendimento multicritério, em que aspectos como a infraestrutura, qualidade dos serviços básicos e dos equipamentos comunitários foram levadas em consideração, bem como a relação do homem com o meio ambiente. Além disso, outros autores trataram do tema de modo sistêmico, em que a relação do indivíduo com seu núcleo familiar, com o seu bairro e com sua cidade foram tratados em diferentes instâncias (Haramoto, 2002; Hernández e Velásquez, 2014).

Diante disso, diversas técnicas foram criadas para mensurar a habitabilidade combinando múltiplos indicadores em um único índice. Estes não devem ser entendidos como sinônimos, o indicador pode ser entendido como um dado individual ou um agregado de informações simples de entender, com qualificação estatística, lógica coerente e eficiência na comunicação do fenômeno analisado, já o índice pode ser entendido como um valor agregado final de um cálculo no qual se utiliza indicadores nas variáveis que o compõem. A combinação de várias variáveis em um único índice permite uma compreensão mais ampla da habitabilidade urbana (Mueller et al., 1997; Siche et al., 2007; Barros Filho, 2006).

Neste trabalho, aplicou-se o Índice de Habitabilidade (IH), que reúne dados de diferentes naturezas do Censo Demográfico do IBGE (2010) para analisar o grau de habitabilidade de determinado lugar. Desenvolvido inicialmente por Barros Filho (2006) e atualizado por Anjos (2013), este índice sintetiza em um único valor, que varia de 0 a 1, características físicas (domicílio) e

sociais, sendo calculado a partir de variáveis do Censo Demográfico do IBGE. O IH caracteriza as condições das habitações e de seus moradores em um determinado setor censitário (menor unidade territorial estabelecida para fins de controle cadastral pelo IBGE).

O IH é construído a partir de uma média simples do Índice Domiciliar (ID) com o Índice Populacional (IP). O primeiro é construído a partir da média dos seguintes indicadores: TIPO, que mensura o número de banheiros das edificações e a proporção de domicílios particulares permanentes em relação ao total de domicílios do setor; SANEIA, que consiste na média aritmética de variáveis de abastecimento de água, coleta de lixo e esgotamento sanitário; OCUPA, que consiste na condição de ocupação dos domicílios próprios, alugados ou cedidos. O segundo é construído a partir da média dos seguintes indicadores: RENDA, que considera os rendimentos nominais mensais dos responsáveis por domicílio particular; EDUCA, que consiste na média ponderada das faixas de anos de estudo dos responsáveis pelos domicílios particulares; e LONGE, que calcula a média ponderada da faixa de idade dos moradores. Em síntese, o IH é calculado pelas seguintes equações:

$$ID=(SANEIA+TIPO+OCUPA)/3 \quad (4)$$

$$IP=(RENDA+EDUCA+LONGE)/3 \quad (5)$$

$$IH=(ID+IP)/2 \quad (6)$$

Cada indicador, por sua vez, é calculado a partir do universo de dados disponibilizados pelo IBGE agregados por setores censitários. As fórmulas de cada indicador estão detalhadamente descritas por Barros Filho (2006) e Anjos (2013). O Índice de Habitabilidade (IH) é estratégico para estudos comparativos de diferentes municípios, ao utilizar dados do universo que garantem uma maior confiabilidade estatística.

Metodologia

Objeto de estudo

O objeto de estudo deste trabalho é a Macrozona Urbana do município de Campina Grande (PB) (Figura 2), localizado no agreste paraibano, com população estimada de 411.807 pessoas, área territorial de 42.920 km² e densidade demográfica de 8.900

hab./km² (IBGE, 2020). No início do século XX, a cidade cresceu de modo acelerado, devido à exportação do algodão. Esse comércio fincou os alicerces econômicos que culminaram, entre 1935 e 1945, na realização das primeiras reformas urbanísticas no centro histórico da cidade por parte do poder público.

Essas reformas, com um caráter higienista, marcaram o surgimento do padrão centro-periferia na cidade, pois acarretaram na expulsão da população mais pobre para áreas mais periféricas. Segundo Costa (2013), não se pode afirmar que a cidade apresentava uma segregação centro-periferia até então, visto que era comum os empregados morarem nas casas ou nos comércios dos patrões, com acessos para ruas menos nobres. Entretanto, com as reformas urbanísticas, a população mais pobre foi transferida para localidades mais periféricas.

Esse padrão de segregação se intensificou entre as décadas de 1960 e 1980, quando a cidade se consolidou como importante polo industrial no estado da Paraíba. As indústrias, outrora concentradas no centro da cidade, passam a se instalar em zonas ainda mais periféricas, quando é criado o então distrito industrial da cidade. Esse processo de industrialização contribuiu para a expansão da

cidade e construção de moradias populares no entorno dessas indústrias (Costa, 2013).

Posteriormente, a cidade apresentou um crescimento vertiginoso na quantidade e extensão dos assentamentos precários. Até o ano de 1979, a cidade possuía três assentamentos precários de grande expressividade: Pedregal, Jeremias e Cachoeira (que não mais existe), mas em meados da década de 1980, o número salta de três para dezessete, em uma população de mais de 30 mil habitantes (Melo, 1985; Carvalho 2011), a maioria desses assentamentos localizados em áreas periféricas.

O cenário atual consolidou, de um lado, o tradicional padrão centro-periferia, na medida em que, desde 1990, o capital imobiliário ganha mais expressividade, e áreas centrais e espacialmente mais bem integradas na cidade começaram a ser verticalizadas e sujeitas a uma maior valorização imobiliária. Somado a isso, equipamentos modernizadores como a estação rodoviária, parques, shoppings centers e supermercados se instalaram também nessas áreas centrais, tornando o custo de vida para a população carente nessas localidades cada vez mais insustentável.

Por outro lado, o surgimento e a difusão de condomínios fechados horizontais em áreas

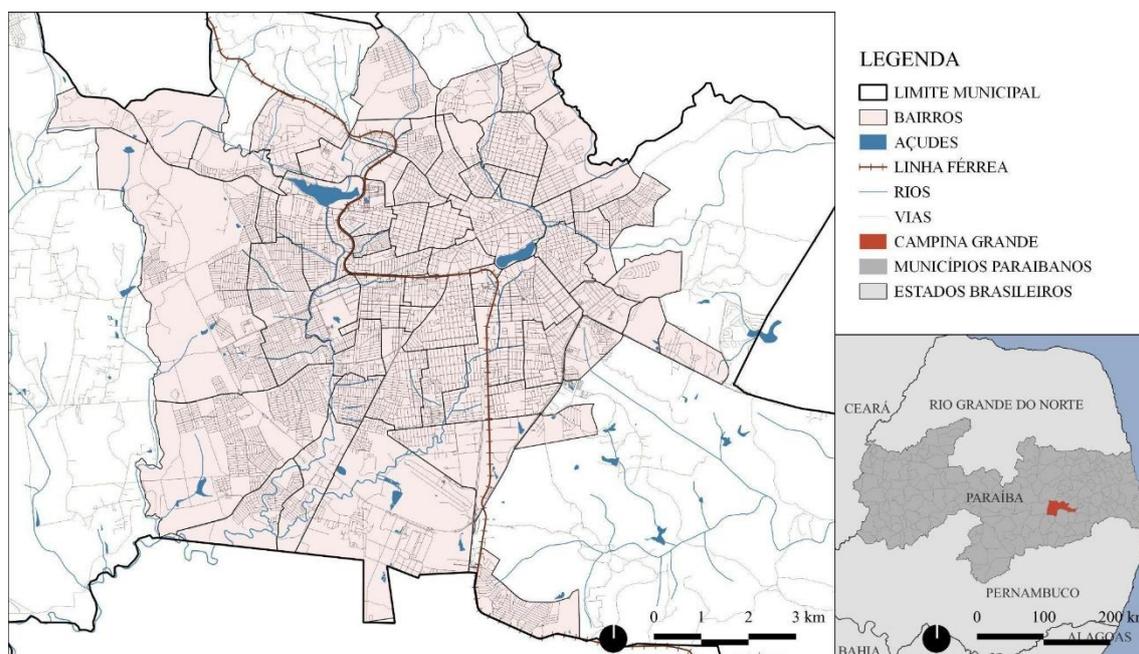


Figura 2. À esquerda, divisão administrativa de Campina Grande, Paraíba. À direita, inserção da cidade no estado (fonte: elaborado pelos autores)

periféricas da cidade, oferecendo uma alternativa às elites de moradia em residências unifamiliares, em áreas mais arborizadas e "seguras", assim como a transformação de grande parte dos assentamentos precários da cidade em Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) pela Lei Municipal Nº 4.806 do dia 23 de setembro de 2009, permitindo uma maior fixação do pobre em áreas centrais, promovendo uma fragmentação e pulverização dos padrões socioespaciais intraurbanos.

Método

Após a construção de um aporte teórico quanto aos processos que marcaram o crescimento das cidades no Brasil, apresentado no tópico introdutório, e da relação desses processos com a configuração atual do objeto de estudo apresentado, realizou-se um levantamento bibliográfico acerca da detecção de padrões morfológicos e sociais a partir da lacunaridade e habitabilidade, que guiou a compreensão das limitações e possíveis contribuições aos métodos anteriormente empreendidos. Esses processos antecederam e deram subsídio a metodologia proposta neste trabalho, que pode ser resumida em cinco etapas principais: (i) Escolha da Imagem de Satélite; (ii) Geração do mapa de lacunaridade; (iii) Geração do mapa de habitabilidade; (iv) Sobreposição dos mapas entre si; (v) Seleção e análise de células representativas (Figura 3).

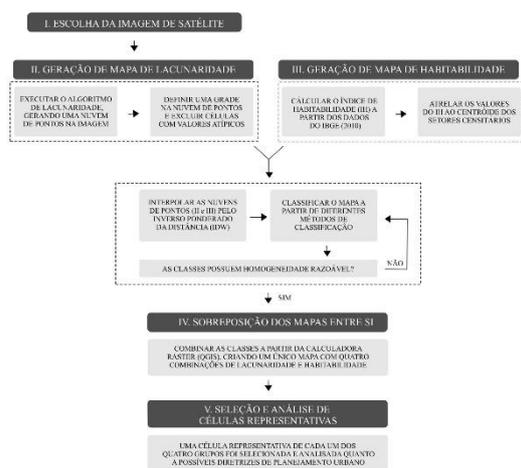


Figura 3. Delineamento metodológico (fonte: elaborado pelos autores)

I. Seleção de imagem de satélite

O primeiro passo consistiu em selecionar uma imagem de satélite, a fim de desenvolver análises de textura. Tendo em vista que a lacunaridade é uma medida multiescalar, ou seja, um padrão de textura pode ser identificado em diferentes escalas, a metodologia proposta pode ser aplicada para diversas imagens de satélite. Não existe um consenso acerca da resolução “ideal” para a classificação de textura por imagens de satélite, e nem sempre uma imagem de alta resolução espacial melhora os resultados porque aumenta, proporcionalmente, o número de ruídos espectrais. Segundo Barros Filho (2006, p.23), os padrões intraurbanos variam significativamente, em função da escala utilizada; um padrão homogêneo em uma escala, pode ser heterogêneo em outra.

Neste artigo, utilizou-se as coleções de imagens disponíveis gratuitamente no Google Earth Engine com melhores resoluções. Esta plataforma é amplamente utilizada para estudos de sensoriamento remoto, pois permite um melhor manejo na seleção das imagens, como a filtragem de nuvens e de recortes temporais, através de funções definidas. Além disso, os datasets disponibilizados são referentes a um único sensor, plataformas como o Google Earth costumam mesclar diferentes sensores e essa característica dificulta o cálculo de textura urbana, por não haver parâmetros em comum que permitam estudos comparativos entre áreas distintas.

Os datasets gratuitos disponíveis no Google Earth Engine são diversos, sendo os mais utilizados os da série Landsat (sendo o mais recente o Landsat-8) e Sentinel-2. Estes apresentam resoluções respectivas de 30 metros e 10 metros, inadequadas para a detecção de espaços livres menores que essas dimensões, distribuídos dentro das quadras em áreas urbanas, e especialmente em assentamentos precários, onde dentro de um pixel de 30 metros, por exemplo, pode haver dezenas de moradias. Diante disso, considerou-se o uso do dataset da Planet & NICFI (Norway’s International Climate and Forest Initiative) para a América Tropical, que captura a América Central e grande parte da América Latina.

A principal vantagem na escolha desse sensor é a disponibilização de imagens ortorretificadas, em quatro bandas espectrais, sendo três da região do visível e uma do infravermelho próximo (NIR). A resolução espacial disponibilizada para o cobrimento do objeto de estudo é de 4,77m, superior aos demais sensores analisados. Outros datasets gratuitos da Planet para outras localidades da Terra, a exemplo de algumas áreas dos Estados Unidos, oferecem uma resolução de até 2 metros. Quanto à resolução temporal, no período da pesquisa, estavam em disponibilidade mosaicos de dezembro de 2015 a junho de 2021, os intervalos de meses são fornecidos automaticamente pela plataforma, que une as imagens de modo a reduzir ao máximo a interferência de nuvens. O uso da imagem de 2019 se deve a realização de outro experimento que aplicou o cálculo de lacunaridade a uma imagem Sentinel-2 de mesma datação, com resolução espacial de 10 metros (Simões e Barros Filho, 2021). A partir da comparação de imagens capturadas no mesmo ano, com diferentes resoluções, pode-se afirmar que a imagem Planet apresentou maior refinamento, sendo a escolhida para a realização deste estudo.

II. Geração do mapa de lacunaridade

O desenvolvimento desta etapa metodológica envolveu o desenvolvimento e uso de um código Python que automatizou o cálculo de lacunaridade e possibilitou a parametrização das seguintes informações de entrada: (i) importação de imagens de satélite do município; (ii) tamanho total da amostra da caixa deslizante; (iii) deslizamento da amostra na imagem; e (iv) tamanho dos pixels da caixa deslizante.

O algoritmo realizou o cálculo automático de lacunaridade em uma imagem coletada do Sensor Planet em Campina Grande (PB) com resolução espacial de aproximadamente 4,77 metros, em quatro etapas (Figura 4): (i) Importação de uma imagem de satélite e programação de uma grade de células que recortou, automaticamente, toda a imagem em diversas células. Foi possível configurar o tamanho e estabelecer um deslizamento entre as células para aumentar a quantidade de dados; (ii) Conversão de cada célula em escala de cinza; (iii) Realização do cálculo de lacunaridade (utilizando as equações 1, 2 e 3, descritas no tópico de lacunaridade), parametrizando o tamanho da caixa deslizante com base no tamanho da célula estabelecido na etapa (i). Foram gerados valores de lacunaridade para 10 tamanhos de caixa que crescem progressivamente de 1 pixel até 49% do tamanho da imagem (tamanho no qual é possível que haja o deslizamento das caixas); (iv) Exportação automática dos 10 valores de lacunaridade para uma tabela matricial .xlsx e cálculo da lacunaridade média dos 10 valores gerados.

O algoritmo foi executado em uma imagem Planet de 2783 x 2781 píxeis e programado para gerar pontos representativos para amostras de 40 x 40 píxeis (180m x 180m) com o deslizamento de 50%, resultando em cerca de 19.044 pontos. O deslizamento teve como objetivo aumentar a quantidade de amostras com valores de lacunaridade, quanto maior a quantidade de amostras, mais representativa é a análise.

Após o cálculo de lacunaridade, os dados foram estruturados através da conversão dos valores numéricos de uma tabela matricial em

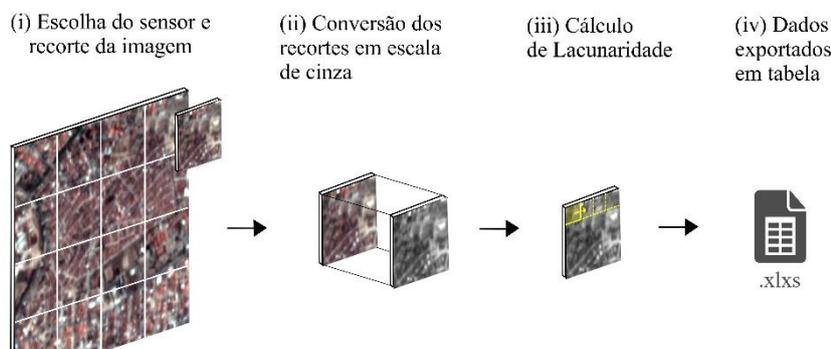


Figura 4. Esquema do funcionamento do algoritmo (fonte: elaborada pelos autores)

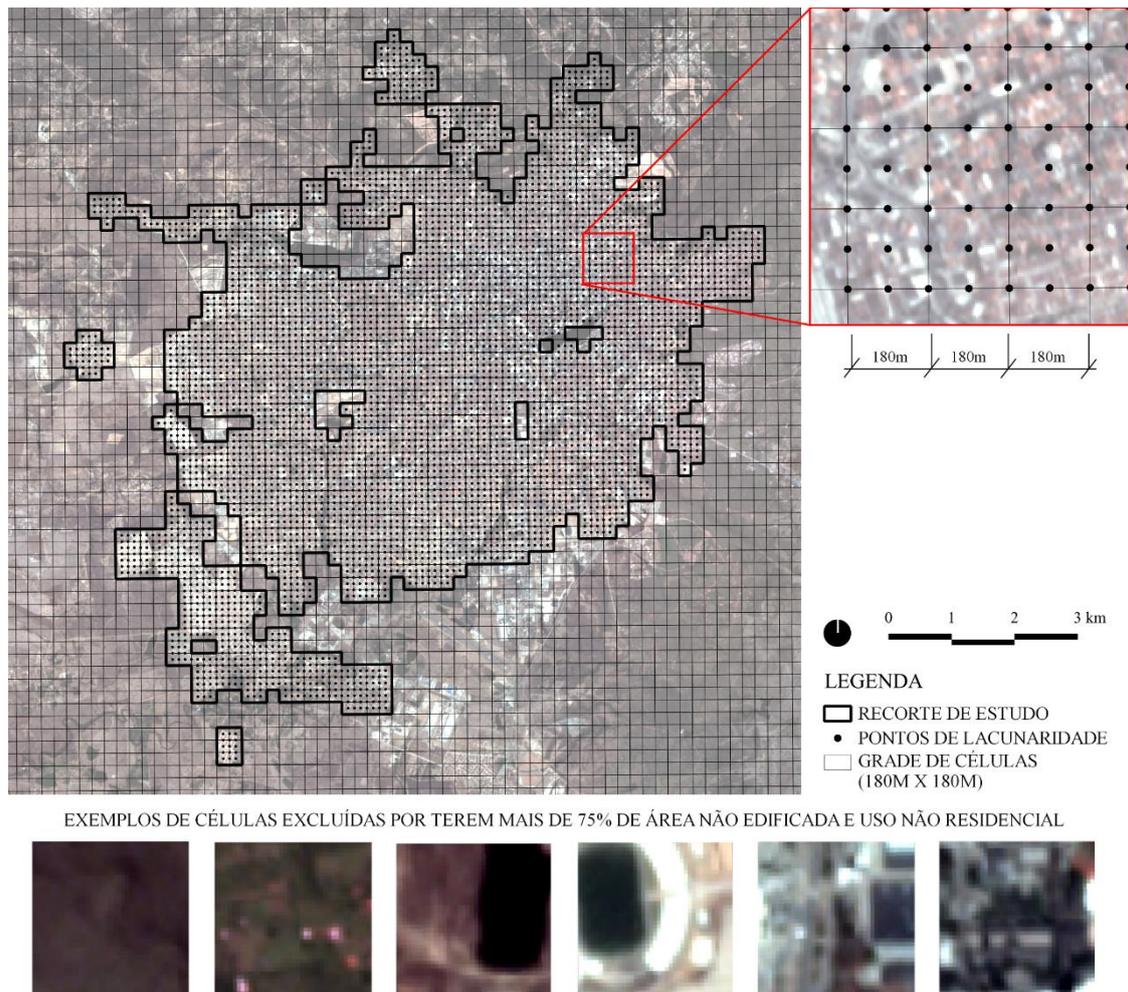


Figura 5. Delimitação do recorte de estudo e exclusão de células (fonte: elaborada pelos autores)

uma nuvem de pontos georreferenciada, utilizando ferramentas de geração de pontos automática do QGIS, que considera o tamanho da imagem e a distância entre os pontos. Essa nuvem foi programada para gerar pontos a cada 90 metros (devido ao deslizamento de 50% do algoritmo), os quais correspondem aos centróides de células de 180 x 180 metros (Figura 5).

Após a preparação da grade de células que foi sobreposta a nuvem de pontos com dados de lacunaridade, para evitar que valores extremos e atípicos distorcessem a classificação da área urbana, algumas células da grade da imagem foram descartadas da análise por terem mais de 75% de sua área não edificada (em sua maioria, localizadas fora do perímetro da Macrozona Urbana) ou predominância de usos do solo não-residenciais. Após a filtragem de células (Figura 5), o número de pontos considerados reduziu de 19.044 para 5.097 pontos, uma redução de 73,3%. O

principal objetivo dessa filtragem foi eliminar valores outliers que interferem nos processos de classificação. Na Figura 5, esse recorte estabelecido após a filtragem é representado pela linha preta em maior espessura. Percebe-se que algumas áreas dentro da Macrozona Urbana do município não foram consideradas.

Cabe ressaltar que o dimensionamento da grade de células, estabelecida no algoritmo, apresentou forte influência nos resultados, visto que determinada área pode apresentar um padrão de textura mais homogêneo ou heterogêneo, a depender da escala na qual ela é analisada. Essa grade de células, por sua vez, se relaciona com a escolha da imagem de satélite, visto que sensores de alta resolução proporcionam o uso de grades cada vez menores. Entretanto, cabe ressaltar que o deslizamento de 50% estabelecido no cálculo garante uma maior acurácia e refinamento dos resultados.

Em seguida, a nuvem de pontos foi interpolada pelo Inverso Ponderado da Distância, do inglês Inverted Distance Weighed (IDW) que estima o valor de um ponto não-amostrado a partir da vizinhança desse ponto. Na Equação 7, W_{ij} corresponde ao valor estimado de cada ponto pelo inverso da sua distância d_{ij} elevado a uma potência p . Após a realização de testes para as duas nuvens de pontos, fixou-se $p=3$ como um valor ideal.

$$W_{ij}=1/(d_{ij}^p) \quad (7)$$

O mapa foi inicialmente classificado em cinco classes por intervalos iguais, e posteriormente em duas classes pelo método quantil, que auxiliou no posterior cruzamento de mapas. A principal vantagem do quantil está em enfatizar posições relativas a determinados valores. No caso das classes analisadas, 50% dos valores foram classificados como baixos ou altos. Sua desvantagem é quando existe falta de homogeneidade na forma como os dados são distribuídos.

III. Geração do mapa de habitabilidade

O mapa de habitabilidade foi gerado através do cálculo dos indicadores e índice de habitabilidade de cada setor censitário. O produto desse cálculo foi uma tabela cujos valores estão associados ao geocódigo de cada setor. Utilizando o software QGIS, uma nuvem de pontos foi gerada a partir dos centróides de cada um dos 434 setores censitários do Censo 2010 do IBGE, e cada ponto foi associado aos valores dessa tabela de atributos. Após esse processo, os valores dos centróides foram interpolados pelo Inverso Ponderado da Distância (Equação 7). Posteriormente, o mapa foi classificado seguindo os mesmos critérios estabelecidos no mapa de lacunaridade.

A principal limitação encontrada nesta etapa foi o fato de os dados censitários serem referentes ao ano de 2010 (até hoje é o último Censo Demográfico realizado no Brasil, devido ao adiamento do Censo 2020). No próximo Censo, é esperado que ocorra uma modificação nos limites dos setores censitários da cidade. Os resultados deste trabalho, entretanto, são capazes de atenuar os efeitos dessas modificações, ao apresentar os valores associados a um grande número de pontos interpolados. Reforça-se a necessidade de revisar e aperfeiçoar o Índice de

Habitabilidade para os futuros Censos e a atualização da metodologia.

IV. Sobreposição dos mapas entre si

Após a geração dos mapas de lacunaridade e habitabilidade, as duas bases classificadas em quantil foram sobrepostas entre si, utilizando a função de interseção de valores por meio da calculadora raster do QGIS. Os dois grupos de valores (baixo e alto) foram cruzados em uma matriz, gerando quatro grupos.

O resultado a ser obtido após esta etapa é condicionado ao método de classificação que os dados de lacunaridade e habitabilidade foram submetidos. Esses métodos podem ser classificados em quatro tipos básicos: exógenos, arbitrários, idiográficos e seriais (Evans, 1977 apud Burrough, 1986). Na classificação exógena, os intervalos das classes advém de um sistema de classificação prévio e universal, sem levar em consideração as especificidades dos dados estudados. A classificação arbitrária apresenta esta mesma característica, entretanto as classes são definidas de modo aleatório. De modo distinto, as classificações idiográficas e seriais levam em consideração as características dos dados estudados e, conseqüentemente, seus intervalos não podem ser replicados de uma base de dados para outra. O método idiográfico mais comum é o da quebra natural, definido a partir de pontos de quebra em um histograma de frequência de valores; enquanto os métodos seriais mais comuns são o quantil, os intervalos iguais e o desvio padrão, regidos por equações matemáticas aplicadas ao conjunto de dados.

Diante dessas possibilidades, este estudo classificou os resultados a partir de métodos seriais, sendo estes o de intervalos iguais e quantis. O primeiro busca dividir o conjunto de dados no mesmo intervalo de valores; o segundo busca manter as classes com a mesma quantidade de dados. Esses dois métodos foram escolhidos por não existir uma grande variação no conjunto de dados analisados, após a exclusão de células com valores extremos e atípicos, conforme descrito na segunda etapa metodológica.

Além disso, como o estudo desenvolveu-se em um só município e envolveu o uso de apenas uma base de dados de cada natureza, achou-se mais adequado evitar classificações

exógenas e arbitrárias, visto que uma classificação universal seria mais adequada em estudos comparativos entre vários municípios. Quanto à quantidade de classes estabelecidas para cada classificação, optou-se inicialmente em estabelecer 5 classes, com o intuito de visualizar, mais detalhadamente, a diversidade morfológica perceptível em toda cidade a partir da textura da imagem. Entretanto, esta quantidade foi reduzida para 2 classes, de modo a reduzir o número de combinações e torná-las mais concebíveis na escolha e reflexão sobre as células representativas.

Cabe destacar a defasagem temporal entre os dados censitários e a imagem de satélite. Esta foi capturada em 2019, enquanto aqueles foram levantados em 2010. Ainda que haja mudanças nesse intervalo de 9 anos, acredita-se que dificilmente essas variações tenham modificado o padrão socioespacial de Campina Grande, especialmente tratando-se de uma cidade de médio porte, e que não apresentou diferenças significativas entre os Censos 2000 e 2010.

V. Seleção e análise de células representativas

Após a sobreposição dos mapas e a geração de quatro grupos, selecionou-se células representativas de cada um deles, considerando valores extremos para as duas grandezas. Essa seleção buscou evidenciar a diversidade na distribuição de espaços livres para áreas com baixa e alta habitabilidade, e como, a partir dessas situações, é possível traçar diretrizes de planejamento urbano.

Resultados e discussões

Os resultados visualizados no mapa de lacunaridade (imagens a e b, Figura 6) permitem traçar as seguintes constatações: (i) detecção de grandes espaços livres urbanos concentrados, majoritariamente, nas bordas urbanas, mas também em áreas urbanas centrais, gerando altos valores de lacunaridade; (ii) detecção de áreas verticalizadas ou com maior diversidades de tipologias arquitetônicas, fato comprovado a partir da sobreposição de pontos que representam edifícios com mais de 4 pavimentos ao mapa; (iii) áreas de alta densidade construtiva, baixa quantidade de espaços livres e pouca diversidade de

tipologia arquitetônica, a partir de valores baixos de lacunaridade.

A espacialização dos valores de lacunaridade revela que a cidade apresenta uma tendência de crescimento desse indicador próximo a áreas centrais, estas com maior grau de verticalização e com maior distribuição de espaços livres. Isso aponta para uma dinâmica de segregação urbana, ou seja, as áreas centrais e integradas ao centro apresentam padrões particulares e perceptíveis através da textura. A fragmentação é perceptível ao se identificar áreas que interrompem a continuidade dos valores de lacunaridade, ao longo de todo o perímetro urbano. Sendo um dos assentamentos precários da cidade, a ZEIS Pedregal (no.15, Figura 6) surge como um caso significativo, com baixo valor de lacunaridade e cujo entorno imediato é marcado por padrões de textura com verticalização e vazios urbanos, cujos valores são mais elevados. A metodologia empregada revelou-se capaz de detectar esses espaços de modo investigativo, esses comportam-se como fragmentos ou retalhos urbanos com características texturais que destoam do seu entorno mais próximo.

Semelhante à ZEIS Pedregal, as ZEIS Estação Velha e Nossa Senhora Aparecida (no.01 e 17, Figura 7), próximas a áreas de intensa valorização imobiliária, apresentaram padrões de textura muito discrepantes do seu entorno próximo, e seus limites são marcados por rupturas e uma paisagem fragmentada. Esse cenário foi perceptível com menor intensidade quando se considerava ZEIS mais periféricas, ainda que a intensificação seja uma nova tendência, devido à migração da população mais rica para áreas mais periféricas.

Ao analisar o mapa do Índice de Habitabilidade (imagens c e d, Figura 6) constata-se que as áreas com melhores condições de habitabilidade encontram-se, majoritariamente, nas zonas Centro, Norte e Sul, que são bem integradas. Revelando que a dinâmica centro/periferia ainda exerce um importante papel na compreensão da estrutura socioespacial de Campina Grande (PB). Entretanto, existem exceções, marcadas por áreas precárias localizados na Zona Centro, a exemplo das ZEIS Estação Velha (no.01, Figura 6), ou circundados por áreas de alto padrão, fazendo desses espaços verdadeiras

“ilhas” de pobreza envoltos de áreas valorizadas, como as ZEIS Pedregal, Invasão Alto Branco e Vila de Santa Cruz (no.15, 05 e 10, Figura 6). Ressalta-se que nem todas as células de baixa habitabilidade foram classificadas como ZEIS, de acordo com a Lei Municipal nº 4.806/2009.

maior dimensão de edificações. O surgimento dessas novas ocupações, sob um território com habitabilidade majoritária média e baixa, acentua a fragmentação socioespacial nessas zonas da cidade. Na Figura 7, percebe-se tipologias de ocupação que são espacialmente muito próximas, mas socialmente muito

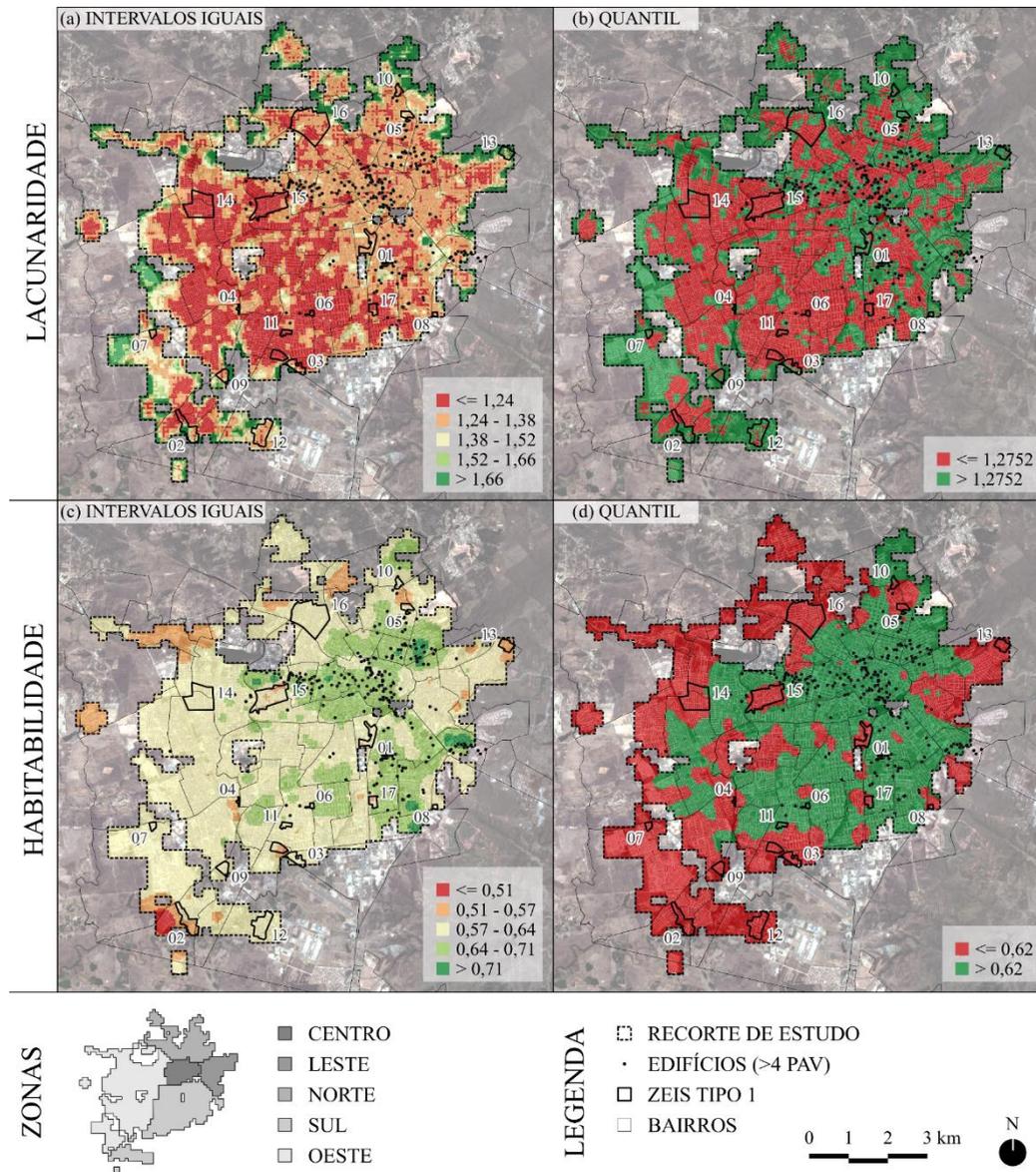


Figura 6. Acima, mapas de lacunaridade classificados em intervalos iguais e quantil, abaixo mapas de habitabilidade classificados em intervalos iguais e quantil (fonte: elaborada pelos autores)

Nas bordas urbanas, especialmente nas Zona Oeste e Norte da cidade, começam a surgir, a partir de dinâmicas do mercado imobiliário local, novos loteamentos populares e condomínios fechados horizontais. Essas tipologias promovem um novo padrão de textura urbana nessas zonas, caracterizado por uma maior quantidade de espaços livres e

distantes entre si. Na imagem da direita, um condomínio fechado (delimitado por um polígono na cor verde) está apenas fisicamente separado por um muro de um assentamento precário (polígono em vermelho). Constatase, portanto, a diversidade de padrões de textura gerada por essas duas tipologias.

Há em Campina Grande dezessete Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) do Tipo 01, definidas pela Lei Municipal Nº 4.806 do dia 23 de setembro de 2009 como áreas públicas e particulares ocupadas por assentamentos precários e população de baixa renda, nas quais busca-se estabelecer ações como regularização fundiária e urbanística, bem como implantação de equipamentos públicos. A sobreposição dos limites dessas ZEIS no mapa de lacunaridade (imagens a e b, Figura 6) revela que esses assentamentos não podem ser associados a apenas um único padrão de textura.

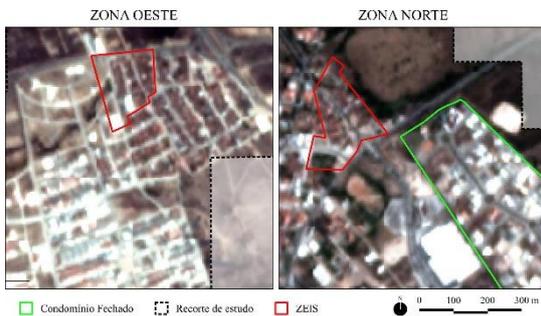


Figura 7. À esquerda, ZEIS Invasão Verdejante, à direita, ZEIS Vila de Santa Cruz (fonte: sensor Planet, com resolução espacial de 5 metros (fonte: elaborado pelos autores)

Geralmente, os assentamentos precários não apresentam construções com gabarito superior a 4 pavimentos. Logo, as diferenças texturais que possam existir entre eles comumente se relacionam com a presença ou ausência de espaços livres, característica detectada através do valor de lacunaridade. Os resultados obtidos são condizentes com as particularidades morfológicas de cada assentamento precário e sua localização no perímetro urbano.

A ZEIS Jardim Europa (no.13, Tabela 1), por exemplo, apresentou o valor mais elevado de lacunaridade média, influenciada pela sua localização na borda urbana da cidade, e suas edificações estão em contato direto com grandes espaços livres. Em geral, as ZEIS com valores mais elevados apresentam maior presença de espaços livres, ou apresentam corpos hídricos em seus limites, trazendo heterogeneidade nos padrões de textura. Por outro lado, algumas ZEIS como Pedregal, Ramadinha e Novo Cruzeiro (no.15, 14 e 11, Tabela 1), apresentaram os menores valores de lacunaridade média. Estas possuem maior densidade construtiva e menor presença de

espaços livres, tornando a textura mais homogênea.

A lacunaridade média é útil para fazer comparações entre as ZEIS. Apesar disso, leva-se em consideração as limitações em comparar ZEIS com áreas territoriais distintas, algumas delas possuem maior quantidade de dados (ex.: no.16, Tabela 1 - 61,3 ha), enquanto outras são tão pequenas que apresentam apenas uma célula representativa com informação de lacunaridade (ex.: no.04, Tabela 1 - 1,0 ha). Métodos de interpolação podem auxiliar a atenuar essas limitações, ao prever estimativas para áreas não amostradas.

Cabe ressaltar que essa metodologia mostrou-se capaz não apenas de reconhecer a diversidade entre os assentamentos precários de Campina Grande, como também a diversidade dentro de um mesmo assentamento precário. Uma forma de analisar esta característica é através do cálculo da variância, que mensura a dispersão estatística, ou seja, quão distantes estão os valores de lacunaridade dentro dos limites das ZEIS. Os casos mais expressivos foram constatados nas ZEIS Jardim Europa e Catingueira (no.13 e 02, Tabela 1). O primeiro caso se caracteriza por ser uma ZEIS com localização geográfica na borda urbana, e as características de textura são diversas devido à maior presença de vegetação. No caso da Catingueira, também na borda urbana da cidade, apresenta um corpo hídrico dentro de seus limites, esse fato contribui com a maior diversidade de textura. As particularidades dessas ZEIS se repetem em outros casos, em diferentes escalas e intensidades.

Com a sobreposição dos mapas de habitabilidade e lacunaridade (Figura 8) foi possível gerar um único mapa com 4 grupos de valores. Cada cor no mapa está associada a um desses grupos: áreas urbanas precárias cujos padrões de textura revelam a presença de espaços livres maiores e mais concentrados (vermelho); áreas urbanas precárias cujos padrões de textura revelam a presença de espaços livres menores e mais distribuídos (ciano); áreas não-precárias cujos padrões de textura sugerem a presença de espaços livres maiores e mais concentrados (laranja); áreas não-precárias cujos padrões de textura

sugerem a presença de espaços livres menores e mais distribuídos (verde). Este último grupo é também o mais verticalizado, concentrando

a maior quantidade de edifícios com mais de quatro pavimentos na cidade.

Tabela 1. Área, lacunaridade média e variância de lacunaridade nas ZEIS de Campina Grande, PB (fonte: elaborada pelos autores)

ZEIS	Área (ha)	Lacunaridade média	Lacunaridade variância
1. Estação Velha	12,5	1,31	0,003
2. Catingueira	19,1	1,41	0,061
3. Novo Horizonte	17,9	1,25	0,018
4. Invasão Santa Cruz	1,0	1,33	0,001
5. Invasão do Alto Branco	5,5	1,35	0,002
6. Invasão do Pelourinho	1,7	1,22	0,000
7. Invasão do Verdejante	3,0	1,30	0,002
8. Invasão dos Brotos	1,3	1,29	0,002
9. Três Irmãs	7,4	1,36	0,031
10. Vila de Santa Cruz	4,0	1,32	0,005
11. Novo Cruzeiro	3,3	1,18	0,000
12. Catolé do Zê Ferreira	21,5	1,33	0,007
13. Jardim Europa	8,4	1,70	0,060
14. Ramadinha	39,7	1,18	0,002
15. Pedregal	37,7	1,20	0,001
16. Jeremias	61,3	1,27	0,007
17. Nossa Senhora Aparecida	5,2	1,22	0,001

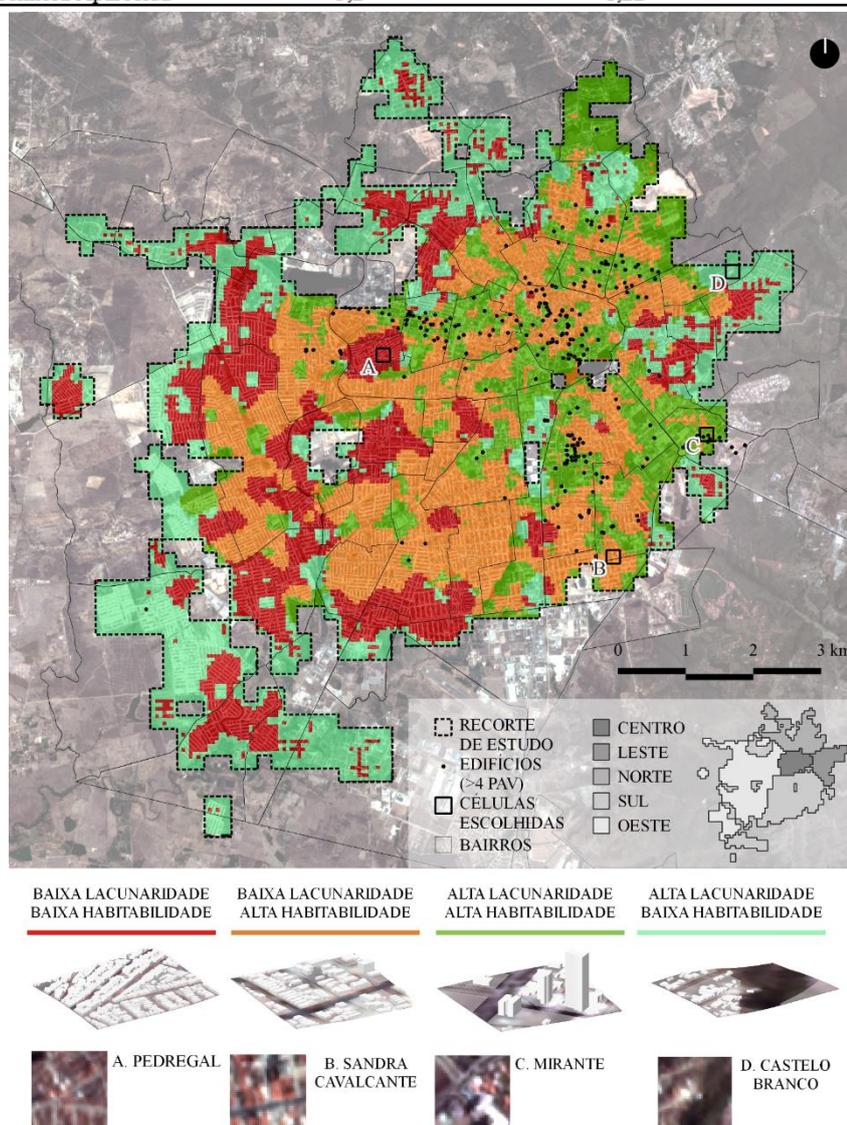


Figura 8. Mapa de combinação de lacunaridade e habitabilidade e seleção de amostras representativas (fonte: elaborada pelos autores)

Essa identificação auxilia a adoção de políticas de adensamento, oportunas em áreas com muitos espaços livres urbanos ociosos e dotadas de infraestrutura, bem como para a ordenação dos padrões de verticalização na cidade, ao identificar áreas com fragilidades de infraestrutura passando por processos de verticalização. A identificação da quantidade de espaços livres em assentamentos precários auxilia em políticas de urbanização de assentamentos precários, podendo tanto dar origem a habitações de interesse social construídas pelo poder público, ou serem implantados praças e parques que oferecem atividades de lazer e esportes para a comunidade, ou simplesmente serem conservadas e restritas de ocupação, quando oferecem riscos ambientais ou constituírem-se como zonas de proteção.

Cabe ressaltar que o cruzamento de padrões de habitabilidade e lacunaridade pode gerar inúmeras combinações. Nesta metodologia, simplificou-se em quatro, pois uma grande

ponto de vista de integrá-las ao sistema de espaços livres locais, algumas áreas valorizadas não apresentam sequer uma demanda de uso, devido ao estímulo a espaços de lazer privados em suas residências e condomínios, ideia cada vez mais estimulada pelo mercado imobiliário.

A alta lacunaridade e a alta habitabilidade tornam a área adequada para se pensar instrumentos que estimulem o adensamento urbano, tanto do ponto de vista dos espaços livres sem uso, como dos edifícios desocupados em zonas centrais. Quando a alta lacunaridade, marcada pela presença de grandes espaços livres, junta-se a baixas condições de habitabilidade deve-se reforçar o monitoramento e controle por parte do poder público na ocupação do solo, geralmente áreas com essas características são passíveis de processos de autoconstrução em áreas que possuem fragilidades ambientais e na melhoria da rede de infraestrutura. A síntese das diretrizes está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Síntese de diretrizes para áreas com diferentes condições de lacunaridade e habitabilidade (fonte: elaborado pelos autores)

	Baixa habitabilidade	Alta habitabilidade
Baixa lacunaridade	Geralmente refere-se a assentamento precário com ocupação intensa do solo. Diretrizes de recuperação urbana e melhoramento de infraestrutura são necessárias. Melhorando as condições de saúde, do meio ambiente e de sustentabilidade em áreas densamente ocupadas.	Geralmente refere-se a áreas valorizadas com ocupação de uso residencial intenso do solo. Diretrizes de reestruturação urbana podem ser úteis para promover um maior equilíbrio entre os usos do solo. Os poucos terrenos remanescentes podem ser alvo de estudos para a inserção de equipamentos, serviços ou praças.
Alta lacunaridade	Geralmente refere-se a áreas precárias que, por disporem de uma maior quantidade de espaços livres próximos, são susceptíveis a expansão de áreas autoconstruídas, que podem acentuar os riscos ambientais. A ocupação dirigida faz-se necessária, especialmente quando situadas em zonas periurbanas	Geralmente refere-se a áreas valorizadas, com padrão de construção diferenciado e verticalizado, e quantidade expressiva de espaços livres. Estes muitas vezes não apresentam um uso e são alvo de especulação imobiliária. Recomenda-se nessas áreas diretrizes que estimulem o adensamento e ocupação dos vazios, que podem ser úteis na promoção da justiça social na cidade.

quantidade de combinações aumenta a complexidade da análise. Células representativas de cada grupo foram marcadas na Figura 8. A partir de um levantamento mais detalhado de cada uma, considerando também o gabarito das suas edificações, percebe-se a influência da densidade e da verticalização na composição dos padrões de textura.

Em casos de baixa lacunaridade combinado a baixa habitabilidade, maiores são as chances desses índices apontarem para um assentamento precário com alta densidade, que necessite de intervenções urbanísticas no melhoramento da infraestrutura básica. Quando a baixa lacunaridade se combina a alta habitabilidade, apontam para a necessidade de reestruturar essas áreas do

Considerações Finais

O desenvolvimento de um mapa de lacunaridade para Campina Grande (PB) contribuiu para a identificação de diversos padrões morfológicos através da diferenciação da textura de imagens de satélite. A automatização dessa metodologia permite que o algoritmo utilizado possa ser aplicado para imagens de sensoriamento remoto de qualquer cidade no mundo, contribuindo na detecção de áreas urbanas cujos padrões de textura apresentam maior ou menor quantidade de espaços livres urbanos, bem como maior ou menor verticalização.

A espacialização da lacunaridade e do Índice de Habitabilidade possibilita compreender os

processos de segregação e fragmentação urbana, a partir da leitura de diversos padrões morfológicos que, por sua vez, se relacionam diretamente com as classes sociais que ocupam determinadas áreas na cidade. Entretanto, como abordado no tópico introdutório, os estudos de segregação necessitam também de outras variáveis, não abordadas neste trabalho: mobilidade urbana, nível do transporte e distância casa x trabalho, funções urbanas, oferta de equipamentos coletivos, dentre outras. Essas variáveis também ajudam a explicar como os padrões urbanos surgem na cidade e como se perpetuam no tempo, apontando para futuros estudos dessa natureza.

O método de cálculo de lacunaridade, adotado neste trabalho, apresenta algumas limitações. Por ser calculado unicamente a partir de imagens de sensoriamento remoto, informações quanto à função social do espaço livre não podem ser extraídas da imagem. Não seria possível, por exemplo, distinguir um grande parque público de um grande terreno sem uso. Com isso, ao constatar uma área com grandes espaços livres e um elevado valor de lacunaridade, é necessário investigar outras bases de dados, como mapas de uso do solo, a fim de propor diretrizes urbanísticas mais condizentes com a realidade do espaço.

Além disso, a lacunaridade é calculada sobre imagens em tons de cinza e não consegue distinguir diferenças na cobertura do solo, como a presença ou não de vegetação. Esta característica é importante de ser analisada, visto que em alguns casos, grandes reservas de preservação ambiental podem estar presentes dentro de áreas urbanas, mas que não são passíveis de ocupação ou de adensamento construtivo. Estudos que sobreponham os valores de lacunaridade a índices vegetativos, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), podem elucidar a relação entre essas duas grandezas. Nessa lógica, as grandes construções como shoppings centers e galpões de áreas industriais também podem ser interpretadas como espaços livres, a partir dos padrões de textura. Diante desta possibilidade, esse estudo amenizou possíveis problemas dessa natureza ao estabelecer no recorte apenas células com predomínio de usos residenciais.

O índice de habitabilidade utilizado, por sua vez, apresenta uma grande limitação temporal, pois é calculado a partir de dados censitários gerados a cada 10 anos. Essa situação pode detectar áreas com características morfológicas não mais condizentes com seu indicador, devido a recentes processos de transformação. Entretanto, esse problema não pode ser generalizado para toda a malha urbana da cidade, mas é pontual e afeta áreas cuja transformação alterou de modo radical o padrão de habitabilidade. Em muitos casos, especialmente em áreas já consolidadas, as transformações no padrão de textura não alteram os padrões de habitabilidade.

A habitabilidade é calculada a partir da malha de setores censitários do IBGE, cujos polígonos não apresentam a regularidade de uma grade de células quadrangulares, a exemplo dos resultados de lacunaridade. Apesar das ferramentas de geoprocessamento utilizadas permitirem transpor os resultados de habitabilidade e lacunaridade para uma única geometria, possibilitando o cruzamento dos dados, o método de interpolação é uma estimativa de valores em locais não-amostrados e está também sujeita à erros.

Apesar das limitações, a metodologia adotada pode auxiliar no processo de leitura territorial e na construção de diretrizes urbanísticas e zoneamentos urbanos, ao questionar a capacidade de adensamento dos espaços livres urbanos, mensurados pela lacunaridade, a partir do nível de habitabilidade dos setores censitários. Outra vantagem é a possibilidade de aplicação em cidades cujas bases cartográficas estejam defasadas, mas que dispõem de imagens de sensoriamento remoto em plataformas como o Google Earth Engine.

Combinar dados de lacunaridade com de habitabilidade é importante em estudos de zoneamento e na criação de diretrizes para planos diretores. A partir de uma ampla leitura territorial na distribuição de espaços livres urbanos na cidade e das condições de habitabilidade, traça-se uma relação direta com a condição de ocupação desses espaços, que podem ser passíveis de adensamento ou não, a depender da infraestrutura existente. A identificação de áreas verticalizadas, quando cruzada com informações referentes à habitabilidade, pode auxiliar no entendimento do modo como tem se estruturado esse

processo. Os resultados obtidos em Campina Grande – PB demonstram que o processo de verticalização tem ocorrido em áreas com boas condições de habitabilidade.

Durante o processo metodológico, foi possível compreender que o desenvolvimento de algoritmos que automatizam comandos de geoprocessamento, executados em softwares SIG, geram uma grande quantidade de dados em um curto espaço de tempo. Diante dessa quantidade, cabe ao urbanista o papel de simplificar a representação dos resultados, facilitando assim o entendimento para além do ambiente acadêmico e contribuindo para que as constatações adentrem espaços em órgãos técnicos e políticos ligados ao planejamento urbano. Este papel foi executado neste trabalho a partir de diversas decisões metodológicas, como a filtragem de células de estudo (Figura 5), a escolha dos métodos de classificação e a seleção final de quatro células representativas.

Além disso, o uso de dados universais do IBGE foi bastante relevante, pois permite replicar esta metodologia em diferentes cidades e comparar as relações entre a distribuição de espaços livres e os níveis de habitabilidade entre elas. Entretanto, ressalta-se que o uso de dados universais acaba limitando análises mais específicas que, por sua vez, demandam levantamentos cartográficos em escala municipal, nem sempre capazes de ser executados pelo poder público.

Os experimentos também concluíram que a lacunaridade pode auxiliar na classificação de assentamentos precários, através da compreensão de suas especificidades no modo de ocupação do solo e na proximidade com os espaços livres e zonas verticalizadas, perceptíveis através da textura em imagens de satélite. Essa classificação mostrou-se eficiente ao comparar as ZEIS de Campina Grande (PB), como também em identificar ZEIS com diferentes padrões de textura.

Como desdobramentos e aperfeiçoamento desta pesquisa, destacam-se: (i) a atualização do índice de habitabilidade a partir dos indicadores dos futuros Censos do IBGE; (ii) a aplicação da metodologia com dados de outros sensores orbitais, bem como outras cidades que apresentem características distintas de Campina Grande (PB), seja pelo

maior porte ou localização geográfica em outro bioma, cultura e diferentes condicionantes; (iii) associação dos valores de lacunaridade com outras variáveis de natureza social e espacial.

Agradecimentos

Esta pesquisa é um desdobramento de projetos de iniciação científica (2019-2021) financiados pelo CNPq e com a colaboração técnica do Prof. Dr. Eanes Torres Pereira (UFCEG) e José Augusto Bezerra Neto (UFCEG).

Referências

- Abramo, P. (2007) “A cidade COM-FUSA: a mão inoxidável do mercado e a produção da estrutura urbana nas grandes metrópoles latino-americanas”, *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais* 9.
- Allain, C. e Cloitre, M. (1991) “Characterizing the lacunarity of random and deterministic fractal sets”, *Physics Review A* 44, 3552-8.
- Amorim, L. M. e Barros Filho, M. (2017) “Convergência de métodos de descrição da forma urbana: análise de textura de imagens de satélite e análise gráfica visual”, *Revista de Morfologia Urbana* 5(2), 65–81. <http://doi.org/10.47235/rmu.v5i2.3>.
- Anjos, K. L. (2013) “Mercado Imobiliário de aluguel em áreas pobres e as transformações urbanas e ambientais”, tese, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.
- Barros Filho, M. (2006) “As múltiplas escalas da diversidade intra-urbana: uma análise de padrões socioespaciais no Recife”, tese, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.
- Barros Filho, M. (2009) “Detecção de padrões morfológicos intra-urbanos a partir de interpolação por Krigagem Ordinária dos valores de lacunaridade obtidos em imagens de satélite de alta resolução espacial”, *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal.
- Barros Filho, M., Silva Y. e Madruga, C. (2019) “Densidade e forma urbana: o Caso das ZEIS em Campina Grande”, *Anais do XVIII ENANPUR 2019*, Natal. <https://anpur.org.br/enanpur-xviii/>

- Batty, M. e Longley, P. (1994) *Fractal cities: a geometry of form and function* (Academic Press, London).
- Berghauer Pont, M. e Haupt, A. (2005) "The Spacemate: Density and the typomorphology of the urban fabric", *Nordisk Arkitekturforskning*, 4, 55-68.
- Burrough, P. A. (1986) *Principles of geographical information systems for land resources assessment* (Oxford University Press, New York).
- Caldeira, T. (2000) *Cidade de muros: crime, segregação e cidadania em São Paulo* (Editora 34/ Edusp, São Paulo).
- Carvalho, M. J. (2011) "Discursos e imagens da cidade: o processo de requalificação urbana de Campina Grande-PB (1970-2000)", tese não-publicada, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.
- Cariola, C. e Lacabana, M. (2001) "La metrópoli fragmentada: Caracas entre la pobreza y la globalización", *EURE* 80, 9-32.
- Castells, M. (1983) *A Questão Urbana* (Paz e Terra, Rio de Janeiro).
- Costa, L. (2013) "Estruturação da cidade de Campina Grande: as estratégias e intencionalidades do mercado imobiliário", dissertação não-publicada, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.
- Chetry, M. (2014) "Os conceitos da metrópole latino-americana contemporânea: o exemplo da fragmentação socioespacial", *Revista Eletrônica de Estudos Urbanos e Regionais*, 16, 61-67.
- Dong P. (2000) "Test of a new lacunarity estimation method for image texture analysis", *International Journal of Remote Sensing* 21 (17), 3369-73.
- Du, G. e Yeo, T. (2002) "A novel lacunarity estimation method applied to SAR image segmentation", *IEES Transitions on Geoscience and Remote Sensing* 40, 12.
- Frankhauser, P. (1997) "Fractal analysis of urban structures", em Holm, E. (Ed). *Modeling space and networks: Progress in theoretical and quantitative geography* (Gerum Kulturgeografi, Umea) 145-181.
- Haramoto, E. (2002) "Un sistema de información en vivienda. Una proposición preliminar", *Revista Planes de Desarrollo Urbano* 16, 44.
- Henebry, G. e Kux, H. (1995) "Lacunarity as a texture measure for SAR imagery", *International Journal of Remote Sensing* 16, 565-571.
- Hernández, G. e Velásquez, S. (2014) "Vivienda y calidad de vida: medición del hábitat social en el México Occidental", *Bitácora* 24(1), 149-200.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2012) *Censo Brasileiro de 2010* (IBGE: Rio de Janeiro).
- Kit, O. (2013) "Automated detection of slum area change in Hyderabad, India using multitemporal satellite imagery" *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 83, 130-137. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.06.009>
- Landáruzi, M. e Mercado, J. (2004) "Algunos factores físicos y psicológicos relacionados con la habitabilidad interna de la vivienda", *Medio Ambiente y Comportamiento Humano* 5(1-2).
- Leão, D. (2011) "Análise da Textura Urbana para mapeamento da precariedade habitacional. 2011", dissertação não-publicada, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- Lojkin, J. (1997) *O Estado capitalista e a questão urbana* (Martins Fontes, São Paulo).
- Lynch, K. (1960) *The image of the city* (The M.I.T. Press, Cambridge)
- Mahabir, R., Croitru, A., Crooks, A., Agouris, P. e Stefanidis, A. (2017) "A Critical Review of High and Very High-Resolution Remote Sensing Approaches for Detecting and Mapping Slums: Trends, Challenges And Emerging Opportunities" *Urban Science* 2(1), 1-38.
- Mandelbrot, B. B. (1982) *The fractal geometry of nature* (Freeman, New York).
- McIntyre, N. e Wiens, J. (2000) "A novel use of the lacunarity index to discern landscape function", *Landscape Ecology* 15, 313-321.
- Melo, L. (1985) "Habitação popular em Campina Grande", dissertação não-publicada, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

- Myint, S. e Lam, N. (2005) "A study of lacunarity-based texture analysis approaches to improve urban image classification", *Computer, Environment and Urban Systems* 21, 501-523.
- Mueller, C., Torres, M. e Morais, M. (1997) *Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos* (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada: Brasília).
- Oliveira, V. e Monteiro, C. (2016) *Diferentes abordagens no estudo da forma urbana* (FEUP Edições, Porto).
- Owen, K. e Wong, D. (2013) "An approach to differentiate informal settlements using spectral, texture, geomorphology and road accessibility metrics" *Applied Geography* 38, 107-118.
- Plotnick, R., Gardner, R., Hasgrove, W. e Prestegard, K. (1996) "Lacunarity analysis: a general technique for the analysis of spatial patterns", *Physical Review* 55(5), 5461-68.
- Prefeitura Municipal de Campina Grande, Paraíba (2009). *Lei n. 4.806 de 23 de setembro de 2009*, que trata sobre as Zonas Especiais de Interesse Social.
- Prevot-Schapira, M. F. (2001) "Fragmentación espacial y social: conceptos y realidades", *Perfiles Latinoamericanos* 19, 33-56.
- Queiroz, M. (2016) *Quem te vê não te conhece mais – Arquitetura e cidade de Campina Grande em transformação 1930 – 1950* (EDUFCG, Campina Grande).
- Sabatini, F. (1999) "Tendencias de la segregación residencial urbana en Latino america: reflexiones a partir del caso de Santiago de Chile", *Série Azul* 29.
- Siche, R., Agostinho, F., Ortega, E. e Romeiro, A. (2007) "Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países" *Ambiente & Sociedade* 10(2), 137-148.
- Simões, M. e Barros Filho, M. (2021) "Texturas da Precariedade Urbana: reconhecimento de padrões em imagens de satélite", *Anais do XVII Congresso de Iniciação Científica da UFCG*, Campina Grande.
<https://posgraduacao.ufcg.edu.br/anais/2020/ciencias-humanas-e-sociais-aplicadas.html>
- Sousa, F. (2006) *Territórios de Confrontos: Campina Grande 1920 – 1945* (EDUFCG, Campina Grande).
- Sobreira, F. (2002) "A Lógica da diversidade: complexidade e dinâmica em assentamentos espontâneos", tese não-publicada, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.
- Steiniger, S., Lange, T., Burghardt, D. e Weibel, R. (2007) "An Approach for the Classification of Urban Building Structures Based on Discriminant Analysis Techniques", *Transactions in GIS* 12(1), 31-59.
- Tso, B. e Matter, P. M. (2001) *Classification methods for remotely sensed data* (Taylor & Francis, London).
- Veiga, D. (2005) "Entre a desigualdade e a exclusão social: estudo de caso da grande Montevidéu", *Caderno CRH* 45, 341-54.
- Villaça, F. (2001) *Espaço intra-urbano no Brasil* (Studio Nobel, FAPESP, Lincoln Institute, São Paulo).
- Villaça, F. (2011) "São Paulo: segregação urbana e desigualdade", *Estudos avançados* 25(71), 37-58. <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10597>

Tradução do título, resumo e palavras-chave

From orbital texture to social surface: investigating socio-spatial patterns through lacunarity and habitability

Abstract. *This paper consists of an investigation of the relationship between texture and urban living conditions in the main district of Campina Grande (PB), Brazil. The urban texture analysis consisted of a morphological approach based on fractal theory, measured through the lacunarity calculation. The analysis of habitability was carried out by calculating an index, built from data provided by the Demographic Census of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), which allows the assessment of income conditions, longevity, housing typology, sanitation and occupation in the urban census sectors of the municipality. The textural and habitability measures were spatialized and*

superimposed on each other through geoprocessing tools. The relevance of this work lies in the use of alternative techniques to aid in territorial readings, in the understanding of intra-urban diversities and in the detection of patterns of segregation and fragmentation. The results allowed us to conclude that the crossing of the values of lacunarity and habitability help in the planning of urban guidelines, having as reference representative areas selected in this study.

Keywords. *urban texture, lacunarity, habitability*

Editor responsável pela submissão: Gislaine Elizete Beloto.

Licenciado sob uma licença Creative Commons.

