

---

## EXPANSÃO DO AGLOMERADO URBANO DE CAMPINAS – SP ENTRE 1989 E 2021: UMA ANÁLISE A PARTIR DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E ESTIMATIVA DA DIMENSÃO FRACTAL

**Tatiane Duarte Silva Oliveira**

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências.  
[t203559@unicamp.dac.br](mailto:t203559@unicamp.dac.br)

**Marcos César Ferreira**

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências.  
[macferre@unicamp.br](mailto:macferre@unicamp.br)

### RESUMO

Vários fenômenos têm influenciado a morfologia urbana atual de Campinas, tais como, contextualização histórica, processos migratórios e transformação do espaço. Estes fenômenos têm sido responsáveis pela morfologia da ocupação urbana e do seu aglomerado. A forma urbana pode ser identificada, caracterizada e medida pela estimativa da dimensão fractal (DF). O objetivo deste trabalho foi analisar a expansão do aglomerado urbano de Campinas – SP entre 1989 e 2021, utilizando-se o método *box-counting* de cálculo da DF, com base em imagens orbitais multitemporais. Os resultados mostraram que a DF variou de 1,4890 em 1989, para 1,5230 em 2021, indicando o aumento da fragmentação da borda urbana e dos espaços vazios em 2021, enquanto em 1989 a mancha urbana estava mais compacta e mais contínua.

**Palavras-chave:** Campinas. Geometria Fractal. *Box-counting*. Morfologia Urbana.

### ANALYSIS OF CAMPINAS URBAN AGGLOMERATION SPRAWLING USING REMOTE SENSING DATA AND FRACTAL DIMENSION ESTIMATION

#### ABSTRACT

Several phenomena have influenced the current urban morphology of Campinas, such as historical context, migratory processes and transformation of space. These phenomena have been responsible for the morphology of urban occupation and its agglomeration. Urban form can be identified, characterized and measured by estimating the fractal dimension (DF). The objective of this work was to analyze the expansion of the urban agglomeration of Campinas - SP between 1989 and 2021, using the box-counting method for calculating the DF, based on multi-temporal orbital images. The results showed that the DF varied from 1.4890 in 1989 to 1.5230 in 2021, indicating an increase in the fragmentation of the urban edge and empty spaces in 2021, while in 1989 the urban area was more compact and more continuous.

**Keywords:** City of Campinas. Fractal Geometry. Box-counting. Urban Morphology.

## INTRODUÇÃO

O crescimento das manchas urbanas está associado a diversos fatores geográficos econômicos, históricos, culturais, ambientais, sociais e demográficos. Este crescimento se constitui em uma transformação espacial integrada, influenciada, principalmente, por ações de interesses corporativos do grande capital, políticas e científicas.

Sob a ótica geográfica, as duas categorias de análise utilizadas para compreender o crescimento urbano, são o território e o espaço, ambos, definidos por Santos (1996), sendo que o território é vivido e modificado pelo homem no decorrer do tempo. O espaço é resultado da ação humana reflexo e condição da sociedade. Ainda segundo este autor, “o espaço não é uma simples tela de fundo inerte e neutra.” (SANTOS, 1996, p. 5).

Essa visão é pautada numa ótica espacial que é resultado dos movimentos urbanos migratórios internos, advindos da clássica premissa da mudança da população rural para as cidades, e novos estudos que avaliam as mudanças ocorridas para as margens por determinado e seletivo grupo, que buscam morar em condomínios fechados em lugares distantes. É claro que se baseia no crescimento que empurra alguns grupos mais fragilizados economicamente e socialmente para as margens de uma cidade e naturalmente desenhando a forma urbana.

A forma urbana é mais que simples formato da mancha de áreas construídas. Ela pode ser identificada, caracterizada e medida pela dimensão fractal (DF), uma medida que permite descrever os níveis espaciais de complexidade e fragmentação da área e do perímetro das manchas urbanas.

O termo DF foi criado em 1975 por Benoit Mandelbrot, em um estudo sobre a geometria dos objetos, para medir detalhes e irregularidades de formas naturais que a geometria clássica euclidiana não é capaz de medir. A geometria euclidiana se propõe a estudar formas regulares, que quase sempre são produzidas pelo homem; já a geometria fractal é capaz de estudar padrões regulares e organizados, dentro

de uma aparente irregularidade, frequentemente encontradas na natureza. (FUZZO, REZENDE e SANTOS, 2009).

Um aspecto muito interessante da DF é o conceito de autossimilaridade, definida como a relação de semelhança que uma parte do objeto tem com o todo, cuja estrutura fragmentária se repete em escalas diferentes.

Os fractais têm uma dimensão não-integral, pois ocupam mais espaço que uma simples linha – a primeira dimensão – mas não ocupam todo o plano – a segunda dimensão. O nível de fragmentação é representado por valores fracionários como, por exemplo, 1,6 e 2,1, algo diferente dos valores inteiros encontrados para as dimensões euclidianas (1 – linha; 2 – área; 3 – volume). Na geometria fractal, objetos complexos mostram formas espaciais irregulares com DF, enquanto na geometria euclidiana, pontos, linhas, superfícies e cubos são espaços regulares de dimensão zero, unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais. (FERREIRA, 2014).

À medida que tais limites se tornam mais tortuosos, a DF aumenta até que a curva em questão torce e gira para preencher o espaço disponível. (BATTY e LONGLEY, 1988).

Assim, entre as dimensões euclidianas 1 e 2, ou 2 e 3, há dimensões fragmentárias ou “incompletas”, tais como linhas não retilíneas, polígonos não convexos, abertos, massas incompletas entre outras. (BATTY e LONGLEY, 1994; FRANKHAUSER, 1994; JOYE, 2011; KRAFTA e SILVA, 2020).

Nesse contexto, Mandelbrot (1983, pg. 51) nos lembra de que “nuvens não são esferas, montanhas não são triângulos, árvores não são lisas, nem os raios viajam em uma linha reta”. Essa definição pode ser aplicada a trabalhos de identificação de métricas das áreas urbanas e de conhecimento da dinâmica e transformação de uma cidade, visto que o perímetro urbano e os limites de suas áreas são generalizados; seus contornos são, muitas vezes, distorcidos, sinuosos e sintetizados, e os tamanhos reais são reduzidos de acordo com o tamanho da escala utilizada.

A possibilidade de medir objetos, de acordo com sua forma verdadeira, amplia as possibilidades e a precisão das técnicas de análise multiescalares de variadas áreas de estudo. A fragmentação, a heterogeneidade, a não continuidade e a não similaridade, identificadas pela DF, são relevantes para as pesquisas em medicina, ecologia, biologia, geomorfologia, meio ambiente, agricultura, energia elétrica, pedologia, arquitetura e áreas urbanas. (MANDELBROT, 1983).

O trabalho pioneiro sobre DF e estrutura espacial foi apresentado por Mandelbrot (1967) e desde então a geometria fractal tem sido amplamente utilizada também em geografia urbana.

Logo após o trabalho de Mandelbrot (1967) outros trabalhos inovadores relacionados ao fractal urbano foram publicados. Mandelbrot (1983) propôs o conceito de fractal baseado no comprimento do litoral, e calculou a DF de vários litorais regionais na Grã-Bretanha. Concluiu que o comprimento da linha de costa é dependente da resolução, ou seja, Mandelbrot verificou que o padrão negativo dos gráficos produzidos a partir dos seus cálculos é dependente de duas constantes que podem ser interpretadas como uma dimensão, no caso a DF.

Segundo o autor, a resolução mostra que a linha costeira é cada vez mais irregular (fragmentada) à medida que aumenta o nível de detalhe de análise, ou seja, a resolução determina o grau de complexidade da linha costeira que, conseqüentemente, influencia nos valores da DF.

Batty e Longley (1986) utilizaram a DF para avaliar a irregularidade das formas de uso da terra da cidade de Swindon, no Reino Unido. Foram obtidas dimensões fractais baseadas na relação entre área e perímetro. Os autores verificaram que os usos residenciais e de espaço aberto têm maior grau de irregularidade do que comercial-industrial, educacional e de transporte. E ressaltam, que pode haver inconsistências nos procedimentos metodológicos em relação as variações escala, sendo necessário em trabalhos futuros um exame minucioso dessas abordagens.

Frankhauser (1997) apresentou os resultados do cálculo fractal das estruturas urbanas de 60 cidades em uma análise multiescalar, sendo a repetição da mesma operação em escalas menores, utilizando como variáveis área e perímetro. Concluiu

que borda do objeto geométrico estudado se torna mais complexa à medida que intensifica a sua rugosidade. Por outro lado, apresenta uma boa correlação entre as variáveis área e perímetro, pois devido as irregularidades dos perímetros urbanos, que possuem vazios urbanos e saliências, a área do perímetro cresce mais proporcionalmente do que no caso de figuras regulares.

Frankhauser (1997) realizou essa análise nas escalas: regional, metropolitana e urbano e verificou que o espaço construído da escala regional, é mais esparso, e as áreas urbanizadas são mais homogêneas e compactas.

Shen (2002) teve como objetivo verificar se DF poderia ser usada como um índice para medir o crescimento espacial urbano. Analisou a DF de 20 cidades dos Estados Unidos e as relações entre DF, área urbana e quantidade de população urbana.

O estudo de Shen (2002) utilizou o método de *box-counting* e cálculos de *logs* para verificar se os tamanhos das áreas urbanizadas e quantidade de população estão relacionados a DF e o se o fractal pode ser uma medida estável de densidade populacional. O estudo concluiu que as cidades com praticamente os mesmos valores de DF e de áreas urbanizadas têm tamanhos populacionais bastante diferentes. Esta observação implica que a DF por si só é um indicador justo do total de áreas urbanizadas, mas não uma boa medida da densidade populacional urbana. Segundo o autor a DF pode certamente ser usada para analisar o crescimento urbano e da forma urbana.

Assim, a DF tem uma boa contribuição para análises de crescimento urbano, expansão urbana, de investigação de dinâmica e estimativas de crescimento e morfologia urbana em regiões metropolitanas, considerando que essa estimativa revela padrões de estruturas e formações em diferentes escalas. O fato de poder estudar um fenômeno em diferentes escalas também oferece a possibilidade de identificar limiares críticos na organização espacial. As regiões metropolitanas se interligam física, política, cultural e economicamente, e assim, apresentam diferentes formas de crescimento e se misturam em maior ou menor grau (BATTY e

LONGLEY, 1994; FRANKHAUSER, 1998, 2004a; PUMAIN e TANNIER, 2005; SALINGAROS, 2003; THOMAS et. al, 2008).

No município de Campinas ainda não existem estudos que utilizam dessa abordagem para análise do seu crescimento urbano ou para previsão de indicadores de crescimento. Assim, a estimativa de DF torna-se uma ferramenta muito útil para a compreensão das características individuais de uma forma natural e estimar e prever a expansão de novas áreas urbanas a partir de uma área inicial. E por isso, esse estudo tem o objetivo de analisar o crescimento do aglomerado urbano de Campinas – SP entre os anos de 1989 e 2021 através de cálculo de DF utilizando sensoriamento remoto e geotecnologias.

### ***A aplicação da dimensão fractal nos estudos urbanos***

Para avaliações do espaço para fins de planejamento da expansão urbana, ordenamento territorial e organização do espaço, são necessárias metodologias e técnicas que calculam a precisão e expõem a sinuosidade dos limites do crescimento urbano, pressupondo elementos além da forma, apresentando até mesmo grau de densidade e características dessa flexuosidade. (FIDELIS-MEDEIROS e GRIGIO, 2019).

No Brasil, a DF não é uma metodologia de análise geoespacial comumente utilizada nos estudos urbanos. Poucos trabalhos analisaram aspectos urbanos e utilizaram a abordagem fractal. Talvez a razão desta escassez de estudos, segundo Jahanmiri e Parker (2022) se deve a lacunas de comunicação entre analistas técnicos e planejadores, pois apesar dos avanços da computação nos últimos 30 anos, que permitiram o cálculo automatizado de dimensões, os fractais se estabeleceram como assinaturas ubíquas da forma urbana e socioeconômica.

E pode ser que a DF não seja suficiente para determinado tipo de pesquisa. Assim, como outras variáveis, não responderá sozinha como ocorre as dinâmicas da cidade, sendo necessários outros elementos para complementarem essas investigações, e isso pode ser visto nos trabalhos mais recentes de: Marques e Ferreira (2008), Peres e Polidori (2010), Palma et. al (2014), Costa (2014), Trentini e Ferreira (2015) e Menzori (2021).

Marques e Ferreira (2008) analisaram a variação espaço-tempo no período de 1905 a 2001 da região metropolitana de São Paulo através da DF e identificaram os principais vetores direcionais de crescimento urbano predominantes durante esse período. Além disso, estes autores identificaram a associação entre fatores físicos e de ações antrópicas na expansão da mancha urbana, e estimaram, a partir da DF, a variação da densidade de áreas construídas em relação à distância ao do centro histórico da cidade.

Para a estimativa da DF, Marques e Ferreira (2008) utilizaram a combinação dos métodos de círculos concêntricos e de contagem de células. Dividiu-se a área de estudo em setores, e constatou-se que à medida que a DF aumentava, existiam áreas mais esparsas associadas a questões ambientais, topológicas, hídricas e de infraestrutura. E os locais com menor DF apresentaram maior adensamento e preenchimento. Esses locais, ainda segundo Marques e Ferreira (2008) apresentaram maiores incentivos a instalações industriais, comerciais, habitacionais e de infraestrutura.

Ainda neste estudo de Marques e Ferreira (2008), é bastante visível a relação entre fatores geográficos da área de estudo e resultados matemáticos da geometria fractal. O fractal aponta o nível de fragmento e o geógrafo adiciona camadas de informações espaciais, associa os principais motivos dessas divisões. Esse é o tipo de informação coesa necessária para planejamento urbano, de investimentos de saneamento básico e de infraestrutura.

Trentin e Ferreira (2015) relacionaram aspectos do uso do solo e da topografia com as medidas da DF para caracterizar as formas urbanas das cidades de São José do Rio Preto e do aglomerado urbano de Jundiaí-Várzea, nos anos de 1938 a 2005. Para isso, os autores utilizaram a metodologia criada por Marques e Ferreira (2008) e delimitaram círculos concêntricos com intervalos de 500m, representando o distanciamento em relação ao centro urbano das cidades. Os autores calcularam a DF para identificação da densidade de preenchimento através do método de *box-counting* das áreas urbanas segundo as distâncias em relação ao centro urbano.

Ainda nesta pesquisa, as relações entre as características geomorfológicas, topográficas e de uso do solo, com a estimativa de DF, vai além de determinações dos setores que são mais fragmentados. Foi possível identificar naquele estudo o nível de fragmentação, e ao relacioná-lo a outros aspectos, e identificar as áreas de expansão e a relação entre os vetores de crescimento, barreiras de expansão e locais propícios para novos loteamentos adequados.

Trentin e Ferreira (2015) constataram ainda que, em São José do Rio Preto e no aglomerado urbano de Jundiaí-Várzea, as maiores concentrações de áreas urbanizadas estão associadas às áreas de vegetação rasteira, sendo que as áreas não urbanizadas correspondem aos setores com maior fragmentação na borda, indicando a baixa densidade de ocupação, espalhamento urbano e tendência a futuras ocupações.

Ainda segundo o trabalho de Trentin Ferreira (2015), a DF apresentou consistência na caracterização do crescimento, revelando aspectos de ocupação fundamentados nas características de topografia, uso do solo e tamanho da extensão da ocupação da área urbana. O método de avaliação do grau de preenchimento de área, baseado em *box-counting*, para estimar a DF, permitiu a indicação do nível e (quantidade fracionária) dos vazios urbanos e espacializar em nível detalhado escalas grandes, médias e pequenas.

Palma et al (2014), por outro lado, refletiram sobre o uso de DF em áreas urbanas de cidades que não pertencem a região metropolitana. Os estudos foram realizados em Santa Cruz do Sul, Venâncio Aires e Vera Cruz (no Vale do Rio Pardo), bem como Estrela e Lajeado (no Vale do Taquari), municípios situados no estado do Rio Grande do Sul. A análise foi feita segundo os contextos de ocupação do solo com a autossegregação e crescimento desregrado da área urbanizada.

Esses autores salientam sobre a questão multiescalar do uso da DF, pois, segundo eles no caso de cidades, as residências, firmas, ligações de transporte e entre outros são unidades básicas, células ou partículas, conforme definido por Batty (1994). As cidades crescem através da acumulação destas unidades e estes

padrões podem existir em escalas maiores e indicam autossimilaridade em escalas que emergem do processo de crescimento em si.

Esta análise envolve a contagem do número de pontos ocupados, que se encontram a certa distância de cada ponto ocupado e calcula a correlação entre eles. Nessa pesquisa, a DF de cada cidade analisada permitiu comparar o grau de fragmentação do tecido urbano, com perímetro e vazios internos. E comprovar similaridades existentes entre os modelos de ocupação das cinco cidades e avaliar o grau de fragmentação. (PALMA et. al, 2014).

Costa (2014) utilizou o método de *box-counting* para calcular a DF das formas urbanas de oito capitais brasileiras, utilizando o IDH de 2010 das quatro cidades classificadas entre as primeiras da lista e as quatro últimas entre as capitais estaduais, com o objetivo de identificar possíveis relações ou tendências entre DF e IDH.

A pesquisa não encontrou relação entre a DF e o IDH das cidades de Vitória, Curitiba, Belo Horizonte e Porto Alegre, sendo as primeiras da lista e João Pessoa, Fortaleza, Belém e Maceió que são as quatro últimas. Mas, por outro lado, o estudo confirmou a relação do fractal da forma urbana com o espalhamento da mancha urbana no espaço territorial dessas cidades. Por exemplo, as formas urbanas de Curitiba e Fortaleza apresentaram maior densidade de ocupação da superfície do que Vitória e Maceió.

Segundo Costa (2014) esses resultados dos fractais das formas urbanas podem auxiliar em planejamentos urbanos como indicadores de densidade de ocupação em área urbana. Diferente do âmbito da pesquisa brasileira, autores de outros países têm utilizado a DF como forma de mensurar a morfologia urbana das cidades de médio e grande porte e regiões metropolitanas ou que tiveram um crescimento intenso e desordenado em curto intervalo de tempo.

A pesquisa de Rodriguez (2020) estudou a morfologia da região metropolitana de Andaluzia na Espanha de 1984 a 2007 considerando a DF como um grande passo para análises de sistemas urbanos complexos devido a possibilidade de investigação multiescalar que revela os vazios urbanos, as fragmentações e ainda

estruturas e organizações espaciais internas. Relaciona a dinâmica e a transformação do espaço que teve crescimento homogêneo até ser dominado pelo intenso uso do espaço para automóveis.

Segundo Rodriguez (2020) em Andaluzia, o crescimento urbano se caracterizou nas últimas décadas pelo uso massivo do automóvel e a adaptação da cidade aos novos modos de mobilidade. Isso acarretou um padrão disperso e fragmentado, impulsionado principalmente pelo desenvolvimento de uma densa malha viária que permite o estabelecimento de assentamentos cada vez mais dispersos e distantes do ponto de origem central da cidade. E devido a mudança de escala (de uma pequena cidade para uma região metropolitana) e mudança da forma urbana, Rodriguez teve o intuito de utilizar a DF como ferramenta para sintetizar questões como o grau de fragmentação, a irregularidade das formas ou a heterogeneidade de uma estrutura espacial por meio de uma única variável.

Para isso Rodriguez (2020) dividiu a sua análise em dois períodos, metade do século XX e início do século XXI, e utilizou o método de *box-counting*. Os resultados apresentaram que as formas de desenvolvimento são relativamente homogêneas e resultam em valores próximos a 2, enquanto os valores mais baixos, entre 1,5 e 1,7, que mostram padrões de crescimento mais heterogêneo e diverso.

A defesa da autora sobre o uso da DF, se refere a consistência promovida a análise de crescimento urbano, com fornecimento desses dados estatísticos. Pois, segundo esta autora, uma metodologia baseada, por exemplo, a espacialização da geometria euclidiana, dependendo da escala, pode deixar de fora resultado significativo de fragmentações, o que para realidade, significa espaços vazios, que se interpretados como características naturais, físicas e antrópicas, podem ser locais para expansão planejada.

Os pesquisadores Rosa et.al (2019) analisaram as formas urbanas de 46 áreas metropolitanas da Espanha, através de métricas espaciais, em três anos diferentes (1990, 2000 e 2006). Devido aos avanços do sistema de informações geográficas (SIG), a disponibilidade de cartografia associada a áreas urbanas e de metodologias que aplicam as estimativas de métricas espaciais, esses autores analisaram as

características morfológicas relacionadas a aspectos geográficos das áreas metropolitanas nos anos de 1990, 2000 e 2006, utilizando-se um conjunto de 15 métricas espaciais de simples interpretação, inclusive a DF, que representam várias das dimensões espaciais das paisagens identificadas através do mapeamento de uso do solo.

Segundo os autores a DF, foi uma das variantes que conseguiu representar a morfologia dos lugares, apresentando as formas alongadas de algumas cidades e circulares de outros, além de denotar o nível de fragmentação nas bordas fortemente condicionado pela topografia ou pela proximidade litoral. A DF, no caso, de caracterização de paisagem pode deslindar as bordas internas, vertentes e barreiras de uma determinada área, e isso é interessante para entender como se origina a forma urbana e como pode influenciar no crescimento das cidades.

Em Ulaanbaatar, na Mongólia, uma cidade com uma população em torno de 2 milhões de habitantes, Purevtseren et.al (2018) utilizaram geometria fractal e SIG para descrever o uso do solo e medir a expansão urbana da cidade nos anos 2000 e 2010. Pois, segundo os autores, as informações sobre a estrutura urbana e as mudanças do uso do solo obtidas em representações cartográficas generalizadas não são suficientes para contribuir com o planejamento e gestão urbana.

Por outro lado, isto só é possível com a utilização da DF que pode fornecer, de acordo com esses estudiosos, “pistas cruciais” para desenvolvimento futuro. Os autores utilizaram imagens *Landsat 7* para mapear as áreas construídas, vegetação, espaços vazios através de classificação em ambiente SIG e para calcular a DF foi utilizado o método de *box-counting*.

Ainda de acordo com Purevtseren et.al (2018), a DF geralmente descreve a complexidade e a fragmentação por uma proporção perímetro-área. Os autores identificaram no seu estudo que os valores baixos estimados são quando uma mancha tem uma forma retangular compacta com um perímetro relativamente pequeno em relação à área. Se as manchas são mais complexas e fragmentadas, o perímetro aumenta e produz um fractal mais alto. Tanto a área quanto sua DF da

cidade de Ulaanbaatar cresceram ao longo do tempo e o perímetro e sua DF parecem apresentar essa tendência.

Neste trabalho, os autores adotaram o mapa de Longley e Batty (1983) (que representava o uso da terra para cada lote da área de estudo) no caso de Ulaanbaatar, onde as mudanças de uso da terra em duas séries temporais foram comparadas. Os usos segregados da terra demonstraram claramente o aumento ou declínio da área de cada uso da terra ao longo do período de 10 anos.

Os resultados dessa investigação mostraram visualmente as mudanças espaciais, o aumento da expansão da área, espaços abertos, uma diminuição controversa do uso industrial e uma mudança do núcleo da cidade de um único residencial ou indústria única para usos mistos: residencial, de serviços, mistura de indústrias leves.

Purevtseren et.al (2018) afirmaram ainda que após, a análise dos seus resultados, que a metodologia aplicada de identificação de espalhamento forneceu resultados e mapas adequados, que podem ser usados como um importante insumo para o planejamento do desenvolvimento urbano. Pois, o aumento da DF revelou que a Ulaanbaatar está em expansão com um limite assimétrico. Historicamente a expansão da cidade limitou - se ao longo dos estreitos vales dos rios, barreira de terreno montanhoso, declive acentuado e falta de áreas planas.

Gong et.al (2020) desenvolveram uma interessante pesquisa que utilizou a DF para estimativa de áreas verdes em espaço urbano de Dalian na China. Os autores estudaram a complexidade das formas e estruturas de um sistema de espaço verde no centro de Dalian, China, com intuito de mapear a distribuição espacial dos espaços verdes urbanos para planejamento e a construção de novos espaços verdes em áreas urbanas. Os pesquisadores entendem os espaços verdes urbanos como fatores importantes na melhoria dos efeitos da ilha de calor, regulação da temperatura da superfície terrestre e vento urbano e ambiente térmico para as características econômicas e estéticas.

Segundo Gong et.al (2020), inúmeros projetos relevantes utilizaram essa estimativa em suas pesquisas. Pois, afirmam que um fractal é uma estrutura

otimizada da natureza e uma ferramenta eficaz para delinear a complexidade espacial, sendo que aplicação em cidades é benéfica para a utilização efetiva no espaço geográfico urbano. Uma medida eficaz que condensa numerosos dados geoespaciais em um simples número que revela a informação espaço-temporal inserida na cidade.

Gong et.al (2020) apresentaram três tipos de modelos fractais, que representam diferentes significados geográficos e geométricos e que delimitam as formas das cidades e dos seus diversos tipos de uso e ocupação do solo, sendo: dimensão radial (descreve o grau de concentração na distribuição do uso da terra), dimensão quadricular ou *box-counting*.

Além disso estimaram a DF das áreas verdes e da área urbana considerando a auto-organização do sistema complexo urbano e a separabilidade dos fractais verdes em relação aos fractais urbanos. Para mapear as áreas verdes os autores utilizaram o método da classificação manual (interpretação) de imagens orbitais, levantamento de dados em campo e reclassificação automática.

A estimativa de DF foi calculada através do método de *box-counting*, sendo ainda calculados as estimativas de acordo com os outros dois modelos de fractais apresentados. Os resultados mostraram que as formas espaciais e estruturas do sistema de espaços verdes em Dalian têm uma alta complexidade, que se manifesta pelo fato de as áreas verdes apresentarem baixa sinuosidade e alto grau de intervenção humana, e a distribuição dos espaços verdes concentrar-se mais no centro urbano.

O trabalho de Gong et.al (2020) afirmaram que a DF indicou uma distribuição de vegetação ineficaz para obter uma qualidade de vida a comunidade. E sugerem o mapeamento através da DF como ferramenta espacial para planejar o equilíbrio entre espaços ocupados por áreas verdes e ocupados por áreas construídas. Pois, nesse estudo eles verificaram que os espaços que não eram ocupados por edificações ou alguma espécie de vegetação, eram lotes vazios.

Yu e Zhao (2021) analisaram a evolução da DF do uso da terra em três comunidades localizadas em costeiras chinesas de Xiamen durante os anos de 2000

a 2018. Estas comunidades são tradicionais vilas de pescadores e praticam as mesmas atividades políticas, sociais e econômicas para sua manutenção e desenvolvimento. Foi aplicado o método *box-counting* para cada comunidade em um mapa digital de uso da terra para calcular a DF. Uma série de pontos ( $r$ ,  $N$ ) foram plotados no sistema de coordenadas e, em seguida, a regressão linear de mínimos quadrados é usado para ajustar ( $\log r$ ,  $\log N$ ) para calcular a inclinação, o qual será o fractal estimado.

Segundo os autores, as três comunidades costeiras apresentaram diferentes resultados em relação ao uso da terra, e diferentes dimensões fractais. Uso da terra mais disperso foi identificado na comunidade Zengcuoan no período estudado. Por outro lado, os mapas de uso da terra da comunidade Yingping não apresentam alterações significativas e isso pode estar relacionado pelo fato de o governo monitorar e controlar a regulamentação fundiária. A comunidade de Gaopu que tem uma herança cultural profunda e desenvolvimento sustentável apresentou aumento da DF e depois queda ao longo do período estudado.

Os autores destacam que a análise espacial é bastante complexa, pois as comunidades costeiras apresentam auto-similaridade na forma espacial, mesmo com diferentes escalas, o que influencia na distribuição fractal dentro de cada lugar estudado. E devido essas diferenciações de escalas, os pesquisadores entendem que é necessário um plano aprimorado e colaborativo para otimização do uso da terra, em múltiplas escalas espaciais para evitar o desenvolvimento unilateral do uso da terra das comunidades em uma escala única.

Man e Chen (2020) analisaram as propriedades da DF da cidade de Shenzhen, no sul da China. Os autores dividiram a cidade em quatro áreas e utilizaram o método de *box-counting* em SIG para definir as características urbanas da cidade através dos fractais.

Neste mesmo estudo as autoras conseguiram caracterizar a forma urbana de Shenzhen, que apresenta estrutura circular e heterogeneidade na distribuição espacial do solo urbano sugerindo escala multifractal. As autoras constataram ainda que a DF está se aproximando de seu limite, e os padrões de desenvolvimento

urbano do passado parecem não ser mais sustentáveis. Esse valor máximo, segundo as autoras, sugere que o preenchimento do espaço já está próximo do limite da cidade, e há poucos recursos terrestres para continuar a expandir-se e a estender-se.

Dentre os estudos citados anteriormente, esse é o mais interessante em relação a estimativa e visualização da realidade do espaço ocupado numa cidade. Ele revela que, através da DF, é possível verificar o quanto uma área urbana tem ainda capacidade para crescer.

Terzi e Kaya (2008) analisaram a expansão urbana de Istambul através de índice de expansão e forma urbana por meio da DF utilizando os bairros como unidades espaciais e o método de *box-counting*. Os bairros foram analisados por meio de proximidade e densidade populacional no período de 1975 a 2005. Os valores padronizados de densidade populacional e proximidade ao centro foram combinados para calcular o índice de expansão geral, classificando os bairros mais e menos extensos.

De acordo com estes autores, a cidade de Istambul é cercada pelo Mar de Mármara ao sul e tem características do ambiente natural como o Bósforo, topografia montanhosa, áreas florestais e bacias hidrográficas que dão uma geometria mais fragmentada à cidade e conseqüentemente resulta nos maiores valores de DF. Segundo os autores, no período estudado foi observado um rápido aumento nos valores da DF, e isso se deve ao processo de expansão decorrente da instalação de assentamentos informais em torno do núcleo central, devido ao acelerado desenvolvimento da cidade. Os resultados mostraram ainda que, o processo de expansão urbana é multidimensional e diferentes métodos precisam ser utilizados em conjunto com a DF.

## **MATERIAL E METODOLOGIA**

As geotecnologias constituem-se em uma área do conhecimento geográfico, interdisciplinar e técnica, que utiliza de SIG para coleta, armazenamento, edição, processamento, e disponibilização de informações com referência espacial geográfica para análise, interpretação e modelagem espacial ou estatística dessas

informações e obtenção de dados espaciais em formatos matriciais, vetoriais ou numéricos. A geotecnologia abrange desde o pesquisador que produz as informações e disponibiliza para manuseio em *softwares* SIG até o usuário final que interpreta e realiza a leitura dos produtos geoespaciais manipulados nesses ambientes tecnológicos e geográficos. (BOLFE, MATIAS e FERREIRA, 2008)

Segundo Zaidan (2017) as geotecnologias é um conjunto de métodos e técnicas para processamento espacial e interdisciplinar reúne as grandes áreas da cartografia digital ou Automatizada, Sensoriamento Remoto por Satélites, Sistema de Posicionamento Global, Aerofotogrametria, Geodésia, Topografia Clássica, entre outros.

No presente trabalho consideramos o conceito de geoprocessamento apresentado por Zaidan (2017), ou seja, ramo de atividades que agrupa técnicas e métodos teóricos e computacionais relacionados à coleta, entrada, armazenamento, tratamento e processamento de dados para geração de espaciais manuseados em SIG.

Em nosso artigo foi relevante também a utilização das técnicas e informações disponibilizadas pelo sensoriamento remoto, o qual permite a obtenção de informação da superfície terrestre à distância, sem contato físico entre o sensor e os objetos. Ou seja, a possibilidade de captação de imagens de qualquer lugar do globo terrestre, a qualquer distância, dia e horário, obtendo informações do passado e do presente. Essa tecnologia é possível devido ao funcionamento de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões e aeronaves) e orbitais (satélites artificiais). (FLORENZANO, 2011).

### **Área de estudo**

De acordo com o banco de dados cartográficos da prefeitura municipal e o (IBGE) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o município de Campinas ocupa uma área de 795 km<sup>2</sup> da qual 420 km<sup>2</sup> estão em perímetro urbano e os 375 km<sup>2</sup> restantes constituem a zona rural. Segundo o IBGE em 2021 a população estimada de Campinas totaliza em 1.223.237 habitantes.

Os primeiros traços do tecido urbano campineiro iniciaram entre 1790 e 1795 com crescimento econômico baseado na cultura canavieira e instalação da primeira indústria açucareira. A partir desta inserção industrial, houve o aumento da população no local, e esse número foi gradualmente crescendo, conforme novos gêneros eram inseridos no processo de produção de alimentos da Vila de São Carlos (Campinas) no período de 1790 a 1826. (CÉLIA e NETO, 2003; ROXO, 2020).

No entanto, a partir de 1930, ocorreu uma transição de investimentos incidida pela crise cafeeira, para a construção civil, um novo viés econômico efetuado sem critérios técnicos e sem exigências de planejamento urbano realizado pelo poder público. Foram implantados os loteamentos distantes da região central, sendo Jardim Guanabara, Jardim Chapadão, Vila Marieta, São Bernardo e Parque Industrial, sendo esses dois últimos desconectados das outras implantações especializadas continuamente. Esses dois loteamentos atendiam ao público de operários que trabalhavam nas indústrias, visto que, tinham moradias abaixo do preço do mercado devido à distância e precária infraestrutura. (BADARÓ, 1996; SILVA, 2008).

Em 1948 foi inaugurada a Rodovia Anhanguera e foi o grande percursor do desenvolvimento econômico de Campinas na década de 1950, juntamente com o Aeroporto Viracopos. Em 1953 Campinas ultrapassou o número de 100 mil lotes. (BERNADO, 2001; FERREIRA, 2007).

Neste período a cidade de Campinas está dividida em região operária, onde estão localizados os loteamentos com operários de fábricas; em região afortunada onde estão com os grandes ricos que moram em casas luxuosas, e estão à frente dos maiores setores econômicos de Campinas; em região precedente que abriga os moradores que resguardam e mantém a estrutura dos anos 20; região Prestes Maia, a qual é oriunda do Planejamento de Melhoramento Urbano; e região para implantação de novas indústrias ao longo da ferrovia. (SILVA, 2008).

E por conta dessas diferenças de regiões e paisagens, a década de 1950 é marcada também pelo intenso processo de parcelamento do solo e expansão

descontínua da área urbana em atendimento da valorização/especulação imobiliária. E aqui nesse momento que inicia acentua a predominância de vazios urbanos na expansão de Campinas. (SILVA, 2008).

Nas décadas de 1970 e 1980 três rodovias foram construídas em Campinas, sendo a Rodovia dos Bandeirantes (SP-348) em 1978, para desafogar o tráfego intenso da Rodovia Anhanguera, a Rodovia Dom Pedro I (SP-065), em 1971, ligando Campinas a Jacareí e a Rodovia Santos Dumont (SP-075), na década de 1980, que liga Campinas a Sorocaba. E a partir dessas novas inserções espaciais de acessos, vínculos geográficos e transporte, iniciou mais uma etapa de expansão urbana a instalação de novos bairros periféricos e construção de vários conjuntos habitacionais. E inicia a construção de condomínios fechados para atender classes média e alta. (CÉLIA e NETO, 2003).

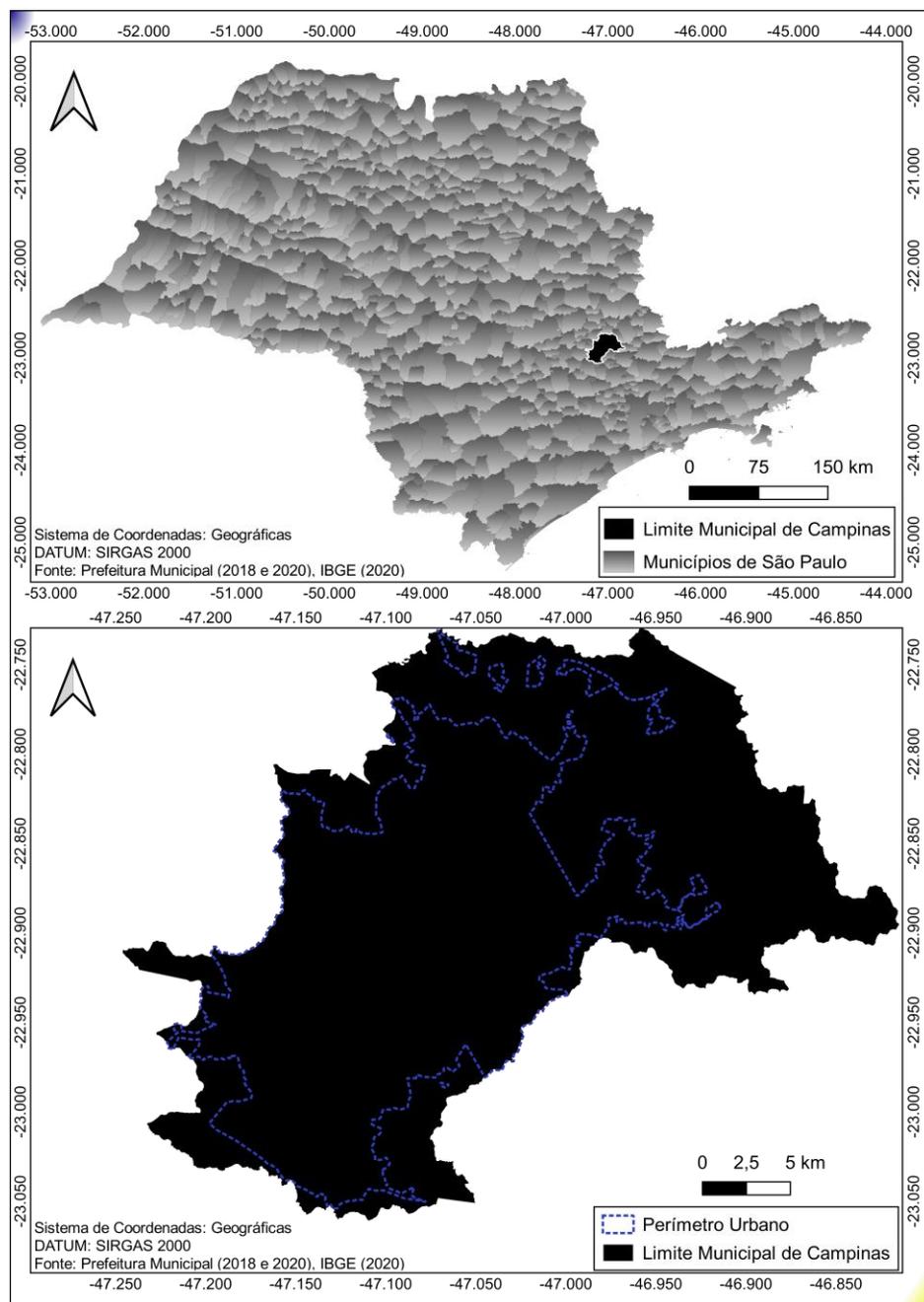
É registrado na história de Campinas transformações socioeconômicas e espaciais vinculadas as ocorrências entre os anos de 1970 e 1980 que favoreceram crescimento urbano e incidiram na expansão do tecido urbano da cidade, tais como: inauguração do Shopping Iguatemi, em 1979, próximo à Rodovia Dom Pedro I, e a aprovação do loteamento San Conrado, no distrito de Sousas, com mais de 2 mil lotes, destinado ao mercado de média e alta renda. (CAIADO e PIRES, 2002).

A década de 1970 foi importante para o fortalecimento do setor econômico industrial de Campinas devido a transferência de fábricas de produção automobilística, indústrias mecânicas, de borracha e elétrica e ainda uma unidade de Refinaria de Petróleo da Petrobras para a cidade e seu entorno. Nessa mesma década o setor industrial campineiro se solidificou na área de alta tecnologia, se destacando nas áreas de informática, microeletrônica, química e telecomunicações. (SILVA, 2008; FONSECA, DAVANZO e NEGREIRO, 2002; NEGRI, 1996).

A década de 1980 foi marcada pelo aumento da consolidação econômica e de influência de Campinas adquirida através da diversificação de investimentos em variados setores comerciais. Nesse período o destaque financeiro se deu pela dinâmica de redes econômicas, espaciais, estratégicas, comunicação e transporte para viabilizar a expansão das atividades agropecuárias, e do setor terciário

diversificado e sofisticado que atuou por meio das redes varejistas, de atividades financeiras e de serviços especializados de saúde, educação e lazer (CAIADO et al, 2002).

Figura 1 – Campinas (SP): Localização da área de estudo, 2022.



Fontes: IBGE, 2020; Prefeitura de Campinas, 2018. Elaboração: OLIVEIRA, T.D.S., 2022.

Na atualidade, a população de Campinas está distribuída por quatro distritos (Joaquim Egídio, Sousas, Barão Geraldo, e Nova Aparecida) que abrangem 93 bairros e permanece num cenário que o espaço urbano aparece consolidado em um padrão disperso de urbanização.

### **Material**

Para a realização desta pesquisa buscou-se no banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<https://www.gov.br/inpe/pt-br>) a imagem de satélite mais antiga do município de Campinas – SP. Foram utilizadas uma imagem que foi gerada no dia 14 de agosto de 1989 do sensor *Landsat* e para representar o período atual da cidade, foram obtidas as imagens do sistema sensor CBRS 4 A de 11 de Junho de 2021. (QUADRO 1).

Quadro 1 – Dados orbitais utilizados

Imagem	Sistema Sensor	Número de Bandas	Resolução Espacial	Data de Imageamento	Nível de Correção	Fonte de Obtenção
<i>Landsat 5</i>	MSS	7	30	14 de agosto de 1989	Nível 2	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
CBRS 4A	WPM	5	8	10 de junho de 2021	Nível 3	<i>United States Geological Survey (USGS)</i>

Fonte: INPE, 2022; NASA, 2022. Elaboração: OLIVEIRA, T.D.S., 2022

## **Metodologia**

### *Pré-Processamento Digital das imagens orbitais*

Para análise da expansão do aglomerado urbano de Campinas – SP através de cálculo da estimativa de DF, foram digitalizadas as manchas urbanas em cada ano de análise utilizando o método de interpretação visual, e posteriormente foi realizada a conversão do arquivo vetorial para o formato matricial (*raster*) em diversas resoluções. (FERREIRA, 2014).

Para interpretação visual é imprescindível a utilização de produtos confiáveis, e no caso de imagens de satélite é fundamental executar o pré-processamento de imagens. Essa etapa é constituída por técnicas para melhorar a qualidade da imagem, sendo seu aspecto visual e refinamento de atributos relacionados às suas características radiométricas e geométricas.

Vários tipos de degradações e distorções, inerentes aos processos de aquisição, transmissão e

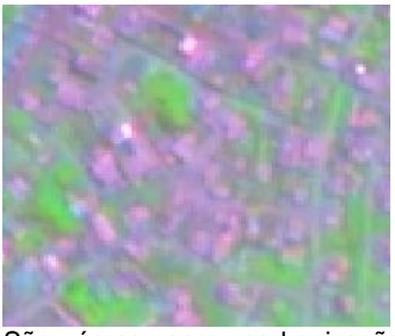
visualização de imagens orbitais (como desajustes na calibração dos detectores, erros esporádicos na transmissão dos dados, influências atmosféricas, e distorções geométricas) podem ocasionar falhas e problemas no pós-processamento digital (extração de atributos, classificação, reconhecimento e interpretação visual). (SPRING, 1996).

E por isso foi necessário prosseguir com as seguintes etapas nas imagens do sensor *Landsat* nas bandas 3, 4 e 5: correção geométrica, correção atmosférica, filtro passa-alta, realce do contraste, realce linear e realce de cor (resultando uma imagem de composição colorida, que associou ao espaço RGB (*Red/Green/Blue*) as bandas 5 (R), banda 4 (G) e banda 3 (V). E para o sensor CBRS foram aplicados realce do contraste, realce linear e realce de cor (resultando uma imagem de composição colorida, que associou ao espaço RGB (*Red/Green/Blue*) as bandas 2 (R), banda 4 (G) e banda 3 (V). E fusão entre as bandas com oito metros de resolução espacial com pancromática, cujo a resolução espacial é de dois metros.

#### *Mapeamento as áreas urbanizadas*

Para a vetorização das manchas urbanas em tela no SIG *QGIS* 3.18 (QGIS Development Team, 2022). Foi considerada como área urbanizada as ruas pavimentadas ou não pavimentadas, edificações de residências, comércio, indústria, calçadas, estacionamentos, espaços públicos (estádios, praças, parques), fábricas próximas a área urbanizada intensificada, homogênea ou central.

A interpretação de área urbanizada na região central considerou qualquer área pavimentada ou não pavimentada, mas inserida nesta região homogênea. Para as áreas mais afastadas, muito distantes da área central ou de algum aglomerado homogêneo com pavimentação, considerou para a vetorização a presença de alguma pavimentação (QUADRO 2).

Chaves de Interpretação	RGB 543 – LANDSAT 05	RGB 243 – CBR5 4A
 <p><b>Aglomerados Urbanos Centrais:</b> baixa presença de vegetação, com ruas pavimentadas e edificações comerciais e residenciais.</p>	 <p>São áreas homogêneas e rugosas com as cores violeta ou rosa predominante.</p>	 <p>Áreas com padronização linear, que apresentam profundidade e sombreamento. Cores violeta ou rosa são predominantes. Um as edificações tem cor azul.</p>
 <p><b>Aglomerados Urbanos Periféricos:</b> presença mediana de vegetação, com ruas sem pavimentação, terrenos baldios e edificações residenciais. São áreas distantes do aglomerado central ou das áreas homogêneas com pavimentação intensificada.</p>	 <p>São áreas pequenas ou grandes que estão distantes do aglomerado central, e que apresentam as cores violeta, branca, verde e rosa com rugosidade. É possível verificar linhas brancas.</p>	 <p>São áreas sem padronização linear ou poligonal. Possui como cores predominantes o verde e o violeta. São áreas pequenas ou grandes que estão distantes do aglomerado central. As linhas apresentam sombreamento.</p>
 <p><b>Aglomerados com Formas Diferentes:</b> baixa presença de vegetação, com ruas pavimentadas e edificações residenciais e industriais. A forma das áreas industriais é retangular e próxima as áreas homogêneas.</p>	 <p>São áreas rugosas com as cores verde, branco e rosa predominantes. São áreas sem padronização de forma, com rugosidade. A rugosidade rosa tem nível baixo comparado ao verde.</p>	 <p>Áreas com padronização linear, que apresentam profundidade e sombreamento. Cores violeta, azul e verde são predominantes.</p>

Quadro 2 - Chaves de interpretação visual de áreas urbanizadas no município de Campinas, utilizando-se em imagens orbitais *Landsat* e *CBERS-4*.

Fonte: OLIVEIRA, T.D.S., 2022

### *Cálculo da dimensão fractal*

Para o cálculo da estimativa da DF foi utilizado o método contagem de caixas (*box-counting fractal dimension*). Este é um dos métodos mais adequados para uso em SIG, análise fractal, devido a sua formulação matemática mais simples, e sua compatibilidade com a estrutura espacial matricial. Este método calcula a DF a partir da relação entre o número de células (caixas) necessárias para preencher uma área ou objeto e o respectivo tamanho da área ou objeto. (FERREIRA, 2014).

Para se obter a dimensão geométrica de um objeto, a resolução espacial  $r$  é utilizada como a escala, e  $N$  é o número de escalas necessárias.

$$D = 1 - \beta \quad (\text{Lam, 1990})$$

Na equação do método de *box-counting*,  $r$  é o tamanho da célula (pixel) em cada resolução espacial definida como sendo o tamanho do objeto estudo. E  $n(r)$  é a quantidade de pixels (células) necessários para o preenchimento da área na mesma resolução.

Para obter os valores de  $r$  em diferentes resoluções foi necessário converter os arquivos vetoriais das áreas urbanizadas de Campinas em 14 de agosto de 1989 e em 10 de junho de 2021 em arquivos matriciais (*raster*) no *software* livre *QGIS* 3.16.

As resoluções foram definidas de acordo com a resolução espacial das imagens usadas para delimitação do contorno da mancha urbana. Para as imagens *CBRS 4 A* utilizamos a seguinte sequência: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 e 256 metros. E para as do sensor *Landsat* foram: 30, 60, 120, 240, 480, 960, 1.920 e 3.840 metros.

Após, adquirir o número de pixels de cada quadrante foi calculado o logaritmo para  $r$  e para  $n$ . É aplicada a regressão linear dos valores  $\log r$  ( $n$ ) e  $\log (n)$  para plotagem de reta de regressão linear que mostra a relação entre o número pixels ao preenchimento de uma área para cada pixel de tamanho ( $r$ ).

E aplicada a fórmula de (Lamm, 1990), sugerida por Ferreira (2014), que é a equação da reta do gráfico, sendo

$$D = 1 - \beta$$

Para mapear a DF do crescimento direcional foram produzidas inicialmente áreas concêntricas posicionadas no centro urbano de Campinas, com área inicial de 2500 km<sup>2</sup>. Essa medida foi definida de acordo com o tamanho de área urbanizada consolidada em 1989. (SILVA e MATIAS, 2017).

Essas áreas de abrangência foram produzidas pelo algoritmo *buffer*, disponível no SIG QGIS 3.16.16, segundo a metodologia utilizada por Marques e Ferreira (2008).

#### *Dimensão do raio*

Para verificar crescimento da mancha urbana em relação ao centro às margens da cidade (bordas), foi feito cálculo baseado na fórmula apresentada por Gong. et. al (2020). Foi considerado nesse cálculo que a dimensão do raio é a DF, baseado na lei da atenuação da distância. Considerou – se o raio dos círculos concêntricos como as áreas das manchas urbanas  $N(r)$ , temos:

$$\text{Log } N(r) = N_0 + D$$

Onde  $N_0$  representa um coeficiente constante e  $D$  é a DF que representa a taxa relativa de decaimento da densidade de área urbanizada do centro para a borda.

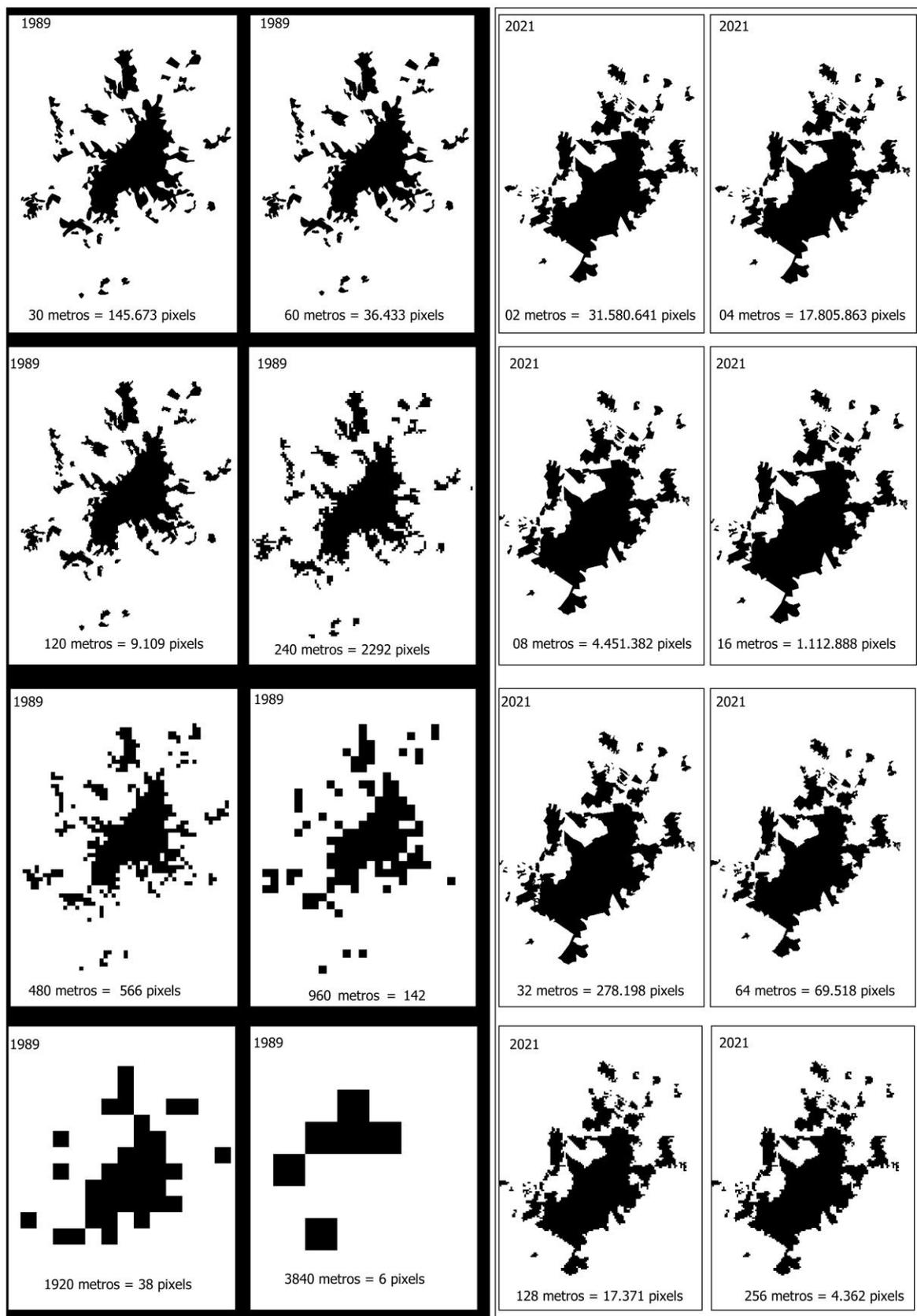
De acordo com Gong. et. al (2020) os resultados calculados que aparecem:  $D > 2$  significa que a densidade da área urbanizada aumenta do centro para a borda;  $D \approx 2$  significa que a densidade da área urbanizada não muda;  $D < 2$  significa que a densidade dos espaços urbanos diminui do centro para a borda.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na Figura 2 a área urbanizada em 1989 no aglomerado de Campinas com resolução de 480 metros é representada por 566 pixels de 900 m<sup>2</sup> cada. Isso, mostra que conforme diminui a resolução espacial, como mostrado na figura 2, também aumenta o tamanho da área da célula do pixel, o que naturalmente, diminui a capacidade da célula de preencher o objeto. No caso de resolução de 3.840 metros

foram necessários 06 pixels, cada pixel corresponde a 14.745.600 m<sup>2</sup>. É interessante observar que resoluções espaciais maiores das imagens de satélite preenchem melhor a mancha urbana. Por exemplo, nas conversões utilizando-se imagens do CBERS 4A, cada pixel de 2 metros de resolução, apresenta 4 m<sup>2</sup> de área, e um pixel de 256 metros de resolução, apresenta 65.536 m<sup>2</sup>.

Figura 2 – Campinas (SP): Aplicação do método de contagem de caixas (*box-counting*) às áreas urbanizadas do aglomerado urbano em 1989 e 2021.



Fonte: OLIVEIRA, T.D.S., 2022

Na Figura 2 a resolução espacial de 240 metros apresentou 2.292 pixels, e a resolução espacial de 256 metros apresentou 4.362 pixels. Isso se deve ao fato de no mapa de 1989 a contagem se deu a partir da digitalização feita sobre uma imagem de 30 metros. A área do aglomerado urbano, a partir dessa vetorização, apresentou uma área de 130.288.995 m<sup>2</sup> (13.028,8995 ha). Já para 2021 a contagem foi realizada a partir de uma imagem com 2 metros de resolução espacial. A área vetorizada foi de 284.797.202 m<sup>2</sup> (28.479,7202 ha).

O método de *box-counting* apresenta, em números, a complexidade do nível de dispersão do crescimento do aglomerado urbano. Para 1989 o cálculo da dimensão fractal D a partir da regressão linear resultou em  $\log r(n) = 4,0164 - 0,4890 n$  e em 2021 o ângulo foi de  $\log r(n) = 4,3365 - 0,5230$ . Portanto, os valores das dimensões fractais para estas duas datas foram, respectivamente, 1,4890 e 1,5230.

Assim, verifica-se que a DF variou de 1,4890 em 1989 para 1,5230 em 2021. Esses resultados indicam que houve aumento na fragmentação da borda e dos vazios urbanos em 2021. Por outro lado, mancha urbana em 1989 era mais compacta e espacialmente contínua. Essa diferença no nível de fragmentação e grande dispersão no ano de 2021 pode ser constatada na Figura 3.

É possível verificar na figura 3 que em 2021 existiam várias áreas urbanizadas desconectadas da mancha urbana mais intensificada, e que ocorreu o aumento significativo de manchas urbanas isoladas. Em 1989 já era uma realidade de Campinas a fragmentação urbana, sendo que são notados na imagem vários fragmentos distantes da área mais central, e ainda se constata que alguns desses fragmentos tiveram aumento da sua área em 2021. Enquanto outros deixaram de existir em 2021, alguns novos foram criados, incrementando o tamanho total da área urbana da cidade. A sinuosidade verificada no valor adquirido do cálculo fractal é averiguado nesses fragmentos em 2021, enquanto em 1989, a sinuosidade se sobressaiu na mancha mais intensificada.

Estes resultados estão relacionados ao processo histórico de expansão de Campinas – SP. As áreas com maior preenchimento estão associadas com maiores investimentos em infraestrutura, comercio, habitação na área central desde o início

da urbanização de Campinas no século XVIII e verticalização nesta mesma região iniciada em 1935. (FERREIRA, 2007).

A década de 1930 foi um período de exacerbação de preços das áreas centrais, e a queda dos valores das terras as margens da cidade e com apoio das autoridades municipais da época que estavam entusiasmados com a imagem a nível nacional de Campinas, que era vista como uma cidade moderna e modelo do progresso contínuo. O poder público não estabelecia exigências técnicas ou cumprimento da legislação na época com interesse pela permanência da imagem de cidade contemporânea, denotando ao um crescimento bastante acelerado da verticalização. (FERREIRA, 2007).

O crescimento urbano de Campinas foi contíguo até a década de 1950 e começou a se tornar difuso com a inserção de novos loteamentos para atender à grande imigração, atraída pelas novas instalações industriais. As áreas mais esparsas podem estar associadas as essas ocorrências na década de 1950, quando iniciou a acentuada predominância de vazios urbanos na expansão de Campinas. (SILVA, 2008).

Em 1970 empreendimentos imobiliários de empresas e as construções de habitações da Companhia de Habitação Popular (COHAB), Campinas potencializou a expansão periférica. Nos anos 1980 e 1990 surgem os condomínios residenciais fechados e o crescimento urbano intensifica-se em direção à periferia. (SILVA, 2008).

De acordo com Célia e Neto (2003, p.26), na década de 1980, ao mesmo tempo que pode considerar Campinas como um polo econômico dinâmico e promissor, por outro lado, deve considerar que “nem todo o espaço urbano e as condições de vida da população são atingidos por este desenvolvimento produzindo uma heterogeneidade dos espaços ocupados.”.

Visto que, de acordo com Célia e Neto (2003), nas décadas de 1970 e 1980 foram inseridas novas importantes rodovias no município, sendo: Rodovia dos Bandeirantes (SP-348), Rodovia Dom Pedro I (SP-065) e Rodovia Santos Dumont (SP-075) e isso pode ter influenciado na inserção de novos loteamentos as bordas

da cidade e de condomínios fechados com casas de alto padrão às margens da cidade, sendo essa expansão registrada neste mesmo período.

Às margens da rodovia Anhanguera (Sul e Oeste) são implantados conjuntos habitacionais, favelas e bairros pobres; na faixa ao longo da rodovia Dom Pedro I surgem condomínios residenciais de classes médias e alta, em direção ao Norte e Leste. (CAIADO e PIRES 2006; SILVA, 2008; KUBOTA, 2012; LEONELLI e CAMPOS, 2018).

Em razão que nesse período houve também a construção do Shopping Iguatemi (próximo à rodovia Dom Pedro I) que atraiu o investimento na construção de condomínios (com casas de alto padrão) voltados para moradores de frequentariam essa opção de lazer, que tem custos de consumo acima da renda da maioria da população. (CAIADO e PIRES, 2002).

Neste intervalo de tempo foi verificado um novo fenômeno, sendo o abandono da área central pelos grupos que possuem renda mais elevada. À medida que eram construídos novos conjuntos habitacionais direcionados para o atendimento dessa demanda mais afortunada financeiramente, era consolidada a cultura de que nos lugares distantes do centro, eram mais seguros (uma cultura baseada de que distantes da maioria da população, constituída por trabalhadores e com baixa renda, sofreriam menos com a insegurança pública) e qualidade de vida, devido à proximidade de vegetação mais densa e melhor infraestrutura. (CAIADO e PIRES, 2002).

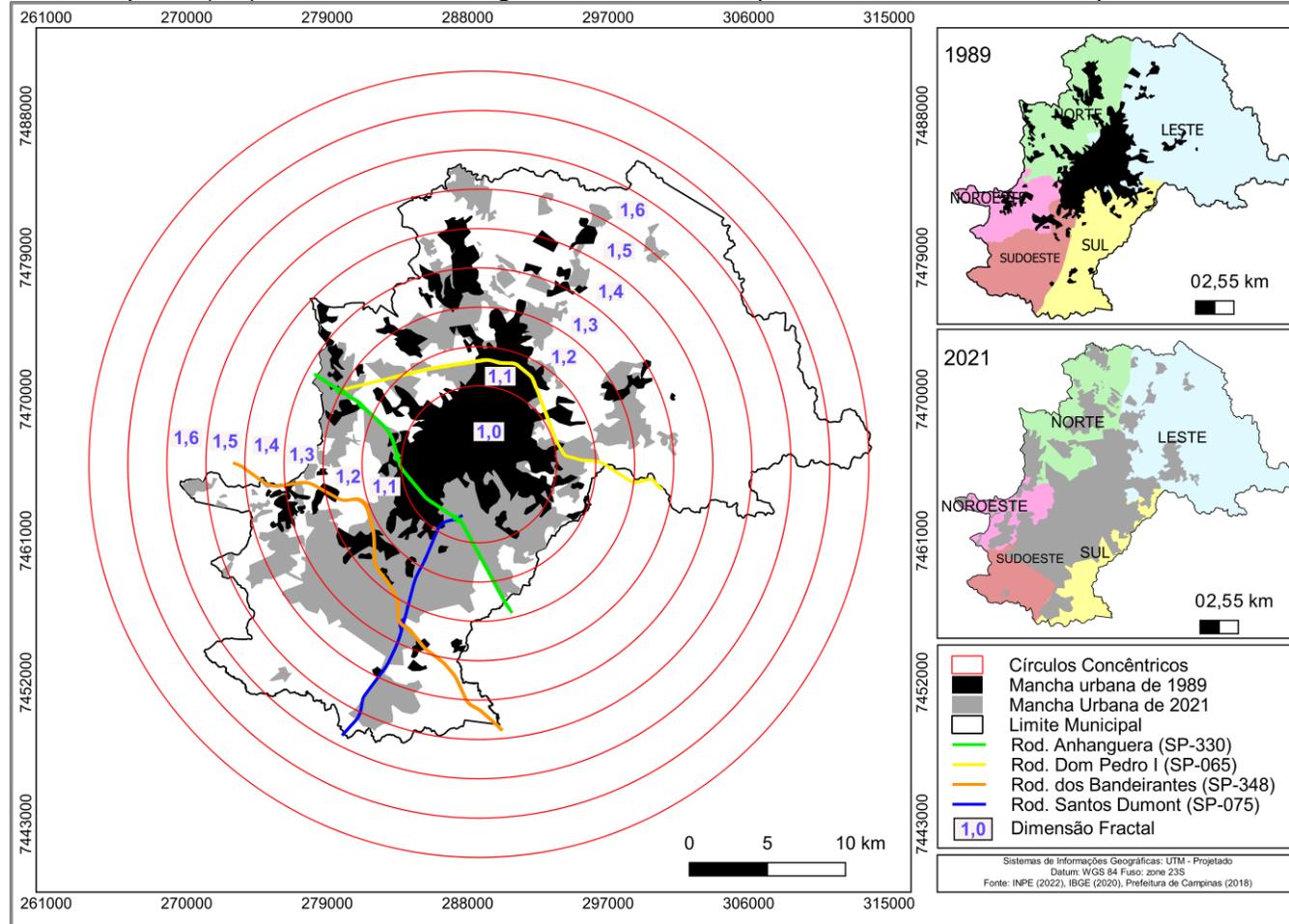
Na Figura 3 é possível verificar essa relação das instalações dos novos condomínios, loteamentos, rodovias e shopping center entre os anos de 1970 e 1990, pois, próximas as rodovias Dom Pedro I e dos Bandeirantes é notável os fragmentos urbanos nos dois anos. No ano de 1989 ao longo da rodovia Dom Pedro I é bastante intensificada a sinuosidade da mancha urbana e a faixa da dimensão fractal é de 1,2. Em 2021 ao longo da rodovia dos Bandeirantes destaca – se um aumento da mancha urbana, e ao mesmo tempo, de fragmentos do espaço urbano, o que corrobora com as ocorrências históricas em relação a esse fenômeno.

A dimensão do raio confirma essas mudanças, em razão que, a compacidade verificada já desde 1989, vai se atenuando até apresentar em 2021 uma redução do

crescimento compacto das áreas urbanizadas em direção às bordas. Essa dimensão do raio pode ser observada no avanço dos fragmentos ao longo dos círculos concêntricos que apresentam diferentes faixas da DF. (FIGURA 3).

Observa que no círculo concêntrico com DF 1,0 é a área com maior densidade de ocupação urbana, e mais compacta. À medida que a DF aumenta ao longo dos círculos concêntricos, aumenta sinuosidade das bordas e o nível de fragmentação do espaço urbano e isso para os dois períodos.

Figura 03 – Campinas (SP): Crescimento do aglomerado urbano a partir da estimativa de DF, período de 1989 a 2021.

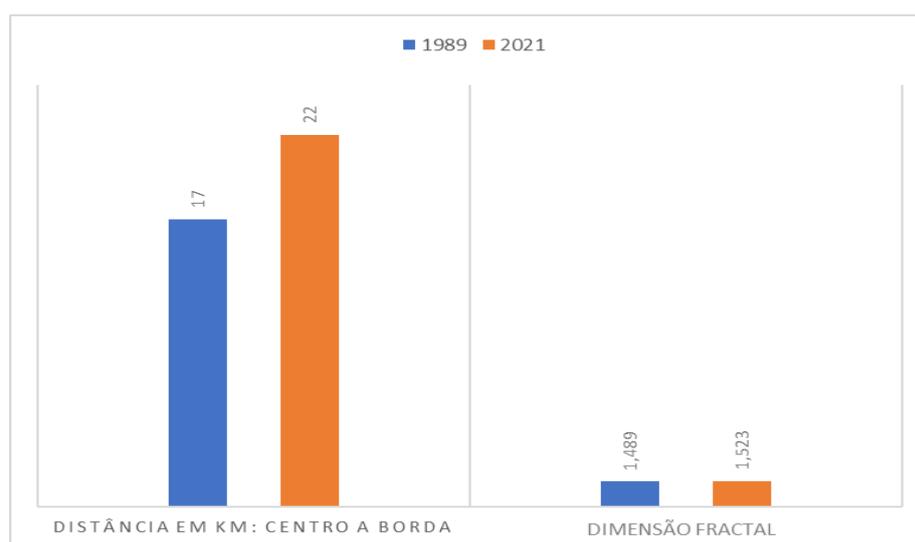


Fonte: OLIVEIRA, T.D.S., 2022

A dimensão do raio resultou para 1989 o valor de 2,0798 e para 2021 2,033, e de acordo com Gong. et. al (2020), valores maiores que 2 significam uma redução da área urbanizada ocupada. Isso quer dizer que há um aumento da fragmentação da área urbanizada. Evidentemente, que ao passar dos anos há o crescimento da mancha urbana, no entanto, esse crescimento apresenta rupturas, que na cidade, são os vazios urbanos.

Os resultados da DF apresentam que ao mesmo tempo existe um crescimento da área urbanizada, mostra precisamente como ocorre esse avanço sob o espaço urbano. O gráfico abaixo mostra a relação do crescimento urbano do centro às bordas da cidade. (FIGURA 4).

Figura 4 – Campinas (SP: Variação espacial da DF da área urbana nos anos de 1989 e 2021



Fonte: OLIVEIRA, T.D.S., 2022.

Em 1989 ao mesmo tempo que Campinas apresentou a DF de 1,4890, sendo um valor significativo, e demonstra tendência de sinuosidade da borda, apresentou um crescimento urbano de 17 km do centro ao fragmento mais distante localizado na borda. Em 2021 a cidade mostrou um crescimento mais acentuado em relação a distância do centro a borda, sendo de 22 km, e essa evolução apresentou também na DF que foi de 1,5230. Isso denota que o crescimento foi de fato expressivo e em relação as margens, e os fractais apresentam as rupturas, a não homogeneidade do espaço urbano. Dessa forma, é possível afirmar que à medida que a DF aumenta,

apresentam na cidade de Campinas áreas mais esparsas. E os locais com menor DF apresentaram maior adensamento e preenchimento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi realizada análise do crescimento do aglomerado urbano de Campinas – SP entre os anos de 1989 e 2021, através do cálculo da dimensão fractal. Para isso, foram utilizadas imagens de satélite, que foram importantes devido a fatores que influenciam na possibilidade de análise espacial e estatística. Sendo a possibilidade de avaliação histórica, iniciada em 1989, com um intervalo de tempo longo, no caso deste estudo, 32 anos. A possibilidade de qualidade visual das imagens, sendo que 2 metros de resolução, permitiu acurácia na interpretação da imagem de satélite e vetorização do limite da mancha urbana de Campinas do ano de 2021.

Além de calcular a estimativa de DF utilizando as imagens de satélite através do método *box-counting*, para a análise do crescimento urbano e entendimento da dinâmica espacial representada com valores da geometria fractal, foi adotada a metodologia de plotagem de círculos concêntricos de 2500 km e calculada a dimensão do raio, baseada na DF. E assim, foi possível mapear as faixas de crescimento espacial da área urbana baseada no fractal, perceber a direção das mudanças, especializar os resultados da DF.

Em 1989 Campinas teve dimensão fractal de 1,4890 e em 2021 esse valor foi de 1,5230, e isso demonstrou que a cidade era mais compacta e seu limite era menos sinuoso em 1989. No ano de 2021 o resultado apresentou maior sinuosidade e menos preenchimento, apresentando várias fragmentações, que cresceram da região de centro até a borda. Esse crescimento fragmentado é estimado pela DF e reforçado pelas faixas de fractais distribuídas em círculos concêntricos. Esse resultado demonstrou várias rupturas em direção às margens da mancha urbana da cidade. O cálculo da dimensão do raio permitiu analisar que o crescimento de Campinas é disperso, mostrando que a compacidade do centro, reduz ao longo do tempo e espaço, o qual está direcionado para a periferia.

A fragmentação urbana de Campinas em 1989 verificada pela DF, pode ser resultado do de uma fase de fortalecimento da consolidação econômica da cidade na década de 1980, mas desta vez baseada na variedade de investimentos financeiros em diversos setores comerciais, industriais e até mesmo do setor agropecuário.

A morfologia urbana em 2021 é resultante de um tecido urbano formado por edificações, lotes, quadras e vias e o crescimento urbano campineiro se deu à medida que houve mudanças ocorridas dos investimentos industriais, imobiliários e da adequação da infraestrutura de transporte e rodoviário. A expansão foi ocorrendo difusamente e o perímetro foi sendo desenhado.

A DF é estimativa que fornece uma vantajosa análise espacial, sendo a dimensão calculada do espaço. Essa dimensão acarretará uma visualização mais detalhada de uma área, permitindo aproximar de informações espaciais, muitas vezes ignoradas ou despercebidas em análises que generalizam a escala de um perímetro de uma cidade. A DF é a variável que pormenoriza a generalização de crescimentos espaciais e geográficos. O que se busca de praticidade e eficiência para planejamento de expansão urbana, esse estudo revela que através da DF possibilita. Pois, essa estimativa mostra o potencial de crescimento espacial de uma cidade.

Como foi visto neste trabalho, estudos que adotaram a DF concluíram que o método é capaz de obter informações mais precisas, devido autossimilaridade e análise multiescalar do fractal. É como se ampliasse os detalhes das bordas de uma cidade, e ainda do conteúdo da sua área, e o que permitiu, verificar o nível de rupturas, e manchas urbanas construídas no aglomerado urbano de Campinas.

Esse nível de detalhamento estaticamente calculado pode ser benéfico para planejamentos de expansão. Cidades como Campinas, podem apresentar – se, sem espaço para crescer, altamente preenchido, e inviável considerar outros limites para expansão, pois, estão considerando uma análise generalizada, baseada na geometria euclidiana, por exemplo.

No entanto, este estudo apresentou espaços entre diversos fragmentos, que se analisados juntamente, com outras informações espaciais, podem ser espaços para futuramente serem ocupados, de forma planejada. A DF pode ser considerada uma estimativa para verificar o quanto uma cidade ainda pode crescer.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

\_\_\_\_\_. The fractal simulation of urban structure. **Environment and Planning**, [S. l.], v. 18, p. 1143–1179, 1986. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/>. Acesso em: maio de 2022.

BATTY, M. The Geography of Scientific Citation. **Environment and Planning A: Economy and Space**, [S. l.], v.35, p. 1771-1780, 2003. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.04.004>

BADARO, R.S.C. **Campinas: O despertar da modernidade**. Campinas: Áreas de Publicações CMU/Unicamp, 1996. 1 v.

BERNADO, R.G.B. Histórico da Ocupação do Solo no Município de Campinas. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – São Paulo: USP. 2001. Disponível: <https://repositorio.usp.br/item/001308637>. Acesso: junho de 2022.

BOLFE, E.L.; MATIAS, F.L.; FERREIRA, M.C. Sistemas de informação geográfica: uma abordagem contextualizada na história. **Geografia**, Rio Claro, v. 33, n. 1, p. 69-88, 2008. Disponível: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/1775>. Acesso: Junho de 2022.

CAIADO, M. C. S; PIRES, M. C. Campinas Metropolitana: transformações na estrutura urbana atual e desafios futuros. In J. M. P. Cunha (Ed.), **Novas metrópoles paulistas: população, vulnerabilidade e segregação**, Campinas, 1. ed., p. 257-304, 2006.

CAIADO, A. S. C. et al. **Município de Campinas**. In: CANO, W. et al. (Coord.). A região metropolitana de Campinas. Campinas: Ed. Unicamp, 2002. p.99-188

CELIA, M. I. B.; DANIELI Neto, M. Aspectos históricos da evolução urbana do município de Campinas (SP) durante os séculos XVIII e XIX. **Leituras de Economia Política**, Campinas, v. 10, p. 105-123, 2003. Disponível: <https://www.eco.unicamp.br/leituras-economia-politica>. Acesso: julho de 2022.

COSTA, P. C. Análise fractal de formas urbanas: estudo sobre a dimensão fractal e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM). **Dissertação** (Mestrado em Engenharia

Elétrica) - São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2014. Disponível: <http://dspace.mackenzie.br/handle/10899/24352>. Acesso: agosto de 2022.

FERREIRA, M.C. **Iniciação À Análise Geoespacial: Teoria, Técnicas E Exemplos Para Geoprocessamento**. Rio Claro: UNESP, 2014. 343p.

FERREIRA, C.S. O processo de verticalização na cidade de Campinas: da gênese à lei 640 de 1951. **Dissertação** (Mestrado em Urbanismo) – Campinas: PUC. 2007.

FIDELIS-MEDEIROS, F.; GRIGIO, ALFREDO-MARCELO. Identificação das Unidades Homogêneas e Padrão da Ocupação Urbana (UHCT) como subsídio ao ordenamento territorial em Mossoró, RN – Brasil. **EURE**, Santiago, v. 45, n. 135, p. 245-270, 2019. DOI. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612019000200245>

FONSECA, R.B; DAVANZO, A.M.Q; NEGREIROS, R.M.C. **Livro Verde: desafios para a gestão da Região Metropolitana de Campinas**. Campinas: Editora da Unicamp, 2002. Disponível: <https://www.eco.unicamp.br/colecao-geral/livro-verde-desafios-para-a-gestao-da-regiao-metropolitana-de-campinas>. Acesso: agosto de 2022.

FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na Geografia aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia, [S. l.]**, v. 17, p. 24-29, 2011. DOI. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0002>

FRANKHAUSER, P. Comparing the morphology of urban patterns in Europe a fractal approach in Borsdorf, A. e Zembri, P. **Report COST Action 10 Urban Civil Engineering**, Bruxelas, p. 79-105, 2004. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/228923370\\_Comparing\\_the\\_morphology\\_of\\_urban\\_patterns\\_in\\_Europ](https://www.researchgate.net/publication/228923370_Comparing_the_morphology_of_urban_patterns_in_Europ) e. Acesso em maio de 2022.

\_\_\_\_\_. The fractal approach. A new tool for the spatial analysis of urban agglomerations. Special Issue on Population, **New Methodological Approaches in the Social Sciences**, [S. l.], v 10, p. 205-40, 1998. Disponível em: [https://www.persee.fr/doc/pop\\_0032-4663\\_1998\\_hos\\_10\\_1\\_6828](https://www.persee.fr/doc/pop_0032-4663_1998_hos_10_1_6828). Acesso em maio de 2022.

\_\_\_\_\_. **La fractalité des structures urbaines**. Paris: Anthropos, 1994.

FUZZO, R. A.; REZENDE, V.; SANTOS, T. S. Fractais: algumas características e propriedades. In: Encontro de produção Científica e Tecnológica, 4, 2009. **Anais...** Campo Mourão – PR: Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão/Núcleo de Pesquisa Campo Multidisciplinar, 2009. Disponível: [http://www.fecilcam.br/nupem/anais\\_iv\\_epct/trabalhos.html](http://www.fecilcam.br/nupem/anais_iv_epct/trabalhos.html). Acesso: ago. 2022.

GONG, Y.; LI, X.; CONG, X; LIU, HE. Research on the Complexity of Forms and Structures of Urban Green Spaces Based on Fractal Models. **Hindawi**, Londres, v.1, p. 1 – 11, 2020. DOI. <https://doi.org/10.1155/2020/4213412>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Malha Municipal Digital da Divisão Político-Administrativa do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Escala 1:250.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). Campinas, São Paulo. São José dos Campos: INPE, 1989. 1 imagem de satélite, color. Satélite LANDSAT 5, instrumento TM. Intervalo de tempo: de 14 ago. 1989 a 26 mai. 2022. Lat. 729840, Long. 8340176. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 26 mai. 2022

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). Campinas, São Paulo. São

José dos Campos: INPE, 2021. 1 imagem de satélite, color. Satélite CBRS 4A, Instrument WPM. Intervalo de tempo: de 11 jun. 2021 a 26 mai. 2022. Lat. 296757, Long. 7403805. Disponível em: <http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>. Acesso em: 26 mai. 2022

JAHANMIRI, F.; PARKER, D.C. An Overview of Fractal Geometry Applied to Urban Planning. **Land - MDPI**, Suíça, v.11, p.475, 2022. DOI. <https://doi.org/10.3390/land11040475>

LONGLEY, P. A.; BATTY, M. Fractal measurement and line generalization. *Computers & Geosciences*. v. 15, n. 2, p. 167-183, 1989. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0098300489900320>. Acesso em maio de 2022

JOYE Y. A review of the presence and use of fractal geometry in architectural design. **Environment and Planning B**, Londres, v. 38, p. 814-828, 2011. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1068/b36032>. Acesso em maio de 2022

KRAFTA, R.; SILVA, E. L. Detecção de padrões da forma urbana: Quadro Geral e um Caso. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Paraná, v.12, 2020. DOI. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.012.e20190209>.

LEONELLI, G. C.; CAMPOS, E. F. Leis expansivas para a expansão urbana: Campinas sem limites. **urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana**, Portugal, v.10, n.1, pp.36-48, 2018. DOI. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.SUPL1.AO03>

KUBOTA, A.M. Análise espaço temporal do uso e ocupação do solo na região sudoeste de Campinas – SP, 1962-2009: Efeitos da Rodovia dos Bandeirantes como barreira física. **Dissertação**. (Mestrado em Geografia), Campinas: UNICAMP, 2012. Disponível: <https://biblioteca.posgraduacaoredentor.com.br/?q=physical+barrier>. Acesso: setembro de 2022.

MANDELROT, B. The variation of some other speculative prices. **The Journal of Business**, [S. l.], v. 40, n. 4, p. 393–413. 1967. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2351623> . Acesso em maio de 2022

\_\_\_\_\_. **The Fractal Geometry of Nature**. New York: W.H Freeman, 1983.

MAN, X; CHEN, Y. Fractal-Based Modeling and Spatial Analysis of Urban Form and Growth: A Case Study of Shenzhen in China. **LAND – MDPI**, Suíça, v. 09, p. 1-15, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2220-9964/9/11/672>. Acesso em maio de 2022.

MARQUES, M. L. Metodologias para a estimativa da dimensão fractal do crescimento de aglomerados urbanos: uma contribuição ao estudo da expansão urbana da região metropolitana de São Paulo entre 1905 e 2001. **Tese** (Doutorado em Geografia) – Rio Claro: UNESP, 2005. Disponível em: [http://www.biblioteca.unesp.br/bibliotecadigital/document/get.php/3459/marques\\_ml\\_dr\\_rcla.pdf](http://www.biblioteca.unesp.br/bibliotecadigital/document/get.php/3459/marques_ml_dr_rcla.pdf)&gt;. Acesso em: 20/11/2006. Acesso em maio de 2022

MENZORI, I.D. Dinâmicas territoriais e métricas espaciais: avaliação de expansão urbana em cidade de porte médio. **Tese** (Doutorado em Engenharia Urbana) – São Carlos: UFSC, 2021. DOI.10.13140/RG.2.2.20075.26400.

NEGRI, B. **Concentração e desconcentração industrial em SP (1880- 1990)**. Campinas: Ed: UNICAMP. 1996.

PALMA, N. Estudos urbanos e geometria fractal. **Revista de Geomorfologia Urbana**, Portugal, v.02, ed.01, p. 15- 24, 2014. Disponível em:

<https://www.revistademorfologiaurbana.org/index.php/rmu/article/view/29>. Acesso: maio de 2022.

PERES, O. M.; POLIDORI, M. C. Especulando sobre a fragmentação da forma urbana: dinâmicas do crescimento e ecologia urbana. In: Proceedings of the 54th World Congress of International Federation for Housing and Planning. 2010, Porto Alegre, **Anais...Noruega: Isocarp**, 2010.

Prefeitura Municipal de Campinas. Perímetro Urbano de Campinas, Lei Municipal Complementar 207 de 20 de dezembro de 2018. Campinas: PMC, 2018. Escala 1:100.000.

Prefeitura Municipal de Campinas. Eixos de logradouros do Município de Campinas. Campinas: PMC, 2018. Escala 1:100.000.

PUMAIN, D. TANNIER, C. Fractals in Urban Geography: A Theoretical Outline and An Empirical Example. **Cybergeo**, [S. l.], n. 307, 2005. DOI. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.3275>

PUREVTSEREN, M. TSEGMID, B. INDRA, M. et.al. The Fractal Geometry of Urban Land Use: The Case of Ulaanbaatar City, Mongolia. **LAND MDPI**, [S. l.], v. 07, n.67, p. 02-14. 2018. Disponível: <https://www.mdpi.com/2073-445X/7/2/67> Acesso em maio de 2022

QGIS: Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Livre e Aberto. Versão 3.18. [S. l.]: QGIS Development Team, 2021. Disponível: [https://qgis.org/pt\\_BR/site/forusers/download.html](https://qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html). Acesso: Janeiro de 2022.

RODRÍGUEZ, C. H. Morfogénesis de la ciudad metropolitana actual: una aproximación a la dimensión fractal de las áreas metropolitanas andaluzas. In: Congreso ISUF-H: Metrópolis en recomposición: perspectivas proyectuales en el Siglo XXI: Forma urbis y territorios metropolitanos, 04, 2020, Barcelona. **Anais ... Barcelona: DUOT, UPC**, 2020, p. 1-16. Disponível: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/328284>. Acesso: Outubro de 2022.

ROSA, P.V.; AGUILERA-BENAVENTE, F.; GARCIA, M.J.S. Clasificación y Análisis de los procesos de cambio en la forma urbana de las áreas metropolitanas españolas: Aplicación de métricas espaciales. **Estudios Geográficos**, Panamá, v. 80, ed. 286, p. 1 – 18, 2019. DOI. <https://orcid.org/0000-0002-1103-5909>

ROXO, R. A Formação Urbana de Campinas (SP): de pouso à margem do caminho do ouro a lugar mundial. **Geosul**, Florianópolis, v. 35, p. 38-63, 2020. DOI. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n74p38>

SALINGAROS, N. A. The sensory value of ornament. **Communication & Cognition**, [S. l.], v. 36, p. 331-351, 2003. Disponível: <https://philarchive.org/rec/SALTSV-2>. Acesso: setembro de 2022.

SANTOS, M. **A natureza do espaço** – Técnica e tempo. Razão e emoção. São Paulo: Hucitec, 1996.

SHEN, L.; PENG, Y.; ZHANG, X.; WU, Y. An alternative model for evaluating sustainable urbanization. **Cities**, [S. l.], v. 29, p. 32 – 39, 2012. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.06.008>

SILVA, Paula F. **A Expansão urbana de Campinas através de Condomínios e loteamentos fechados (1974-2005)**. 2008. 163 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Carlos: IAU USP, 2008. Disponível: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18142/tde-19082008-135926/pt-br.php>. Acesso: julho de 2022.

TANNIER, C; PUMAIN, D. Fractals in Urban Geography: a Theoretical Outline and an Empirical Example. **European Journal of Geography. Cybergeo, Systemes, Modelisation, Geoestatiques**, [S. l.], v. 307, p. 1 – 60 , 2005. DOI. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.3275>

TERZI, F.; KAYA, H.S. Analyzing Urban Sprawl Patterns Through Fractal Geometry: The Case Of Istanbul Metropolitan Area. **Working Papers Series**, Londres, v.144, n. 08, p. 1 – 23, 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/39065168\\_Analyzing\\_urban\\_sprawl\\_patterns\\_through\\_fractal\\_geometry\\_the\\_case\\_of\\_istanbul\\_metropolitan\\_area](https://www.researchgate.net/publication/39065168_Analyzing_urban_sprawl_patterns_through_fractal_geometry_the_case_of_istanbul_metropolitan_area). Acesso: Maio de 2022.

THOMAS, I.; FRANKHAUSER, P.; BIERNACKI, C. The morphology of built-up land-scapes in Wallonia (Belgium): a classification using fractal indices. **LandscUrban Plan**, [S. l.], v.84, n. 2, p. 99–115, 2008. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.07.002>

TRENTIN, G; FERREIRA, M.C. Análise direcional da expansão urbana de cidades de Porte médio: uma aplicação da dimensão fractal. **RA e GA: O espaço geográfico em análise**, Curitiba, v.33, 198-224, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/36958>. Acesso: Junho de 2022.

SILVA, C.R.V.; MATIAS, L.F. Vetores de expansão urbana: análise da cidade de Campinas (SP). In: Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP. 25, 2017, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp. Disponível em: <https://proceedings.science/unicamp-pibic/pibic-2017/papers/vetores-de-expansao-urbana--analise-da-cidade-de-campinas--sp->&gt;. Acesso em: jun. 2022. Acesso em maio de 2022

WENG, Q. Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends. **Remote Sensing of Environment**, Indiana, n. 117, p. 34–49, 2012. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.030>

Weng, Q., Quattrochi, D.A. Thermal remote sensing of urban areas: an introduction to the special issue. **Remote Sensing of Environment**, [S. l.], v. 104, p.119-122, 2006. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/238376798\\_Thermal\\_remote\\_sensing\\_of\\_urban\\_areas\\_An\\_introduction\\_to\\_the\\_special\\_issue](https://www.researchgate.net/publication/238376798_Thermal_remote_sensing_of_urban_areas_An_introduction_to_the_special_issue). Acesso: Junho de 2022.

Yu, X.; Zhao, Z. Fractal Characteristic Evolution of Coastal Settlement Land Use: A Case of Xiamen, China. **Land**, [S. l.], v. 11, ed. 50, p. 1-12. 2021. DOI. <https://doi.org/10.3390/land11010050>

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia**, Pernambuco, v. 7, n. 2, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/download/18073/9359/75658>. Acesso em: mar. 2022.