

IV enanparq

Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo
Porto Alegre, 25 a 29 de Julho de 2016

A MORFOLOGIA URBANA DESCRITA PELO COMPORTAMENTO AGREGADO DA MEDIDA DE CENTRALIDADE POR PROXIMIDADE

SESSÃO TEMÁTICA: MORFOLOGIA URBANA

Daniel Trindade Paim
Universidade Federal de Pelotas
danieltripaim@yahoo.com.br

A MORFOLOGIA URBANA DESCRITA PELO COMPORTAMENTO AGREGADO DA MEDIDA DE CENTRALIDADE POR PROXIMIDADE

RESUMO

O trabalho verifica se a estrutura urbana pode ser descrita pelo padrão de distribuição estatístico da medida de Centralidade por Proximidade, também conhecida como medida de acessibilidade e amplamente utilizada nos estudos urbanos. Particularmente, analisam-se as relações da medida de acessibilidade com a compactação/fragmentação da forma urbana e a irregularidade da rede da cidade. Para se obter uma amostra consistente capaz de auxiliar na compreensão das implicações do padrão de distribuição estatística da medida, ao se utilizar em estudos urbanos, são selecionadas 29 cidades de porte semelhante entre 200 a 350 mil habitantes, com padrões morfológicos de vias e de conformação da mancha urbana bastante distintos. A partir dessa descrição do sistema de espaços urbanos, baseada em grafos e representada pelo critério de centro de vias, é verificada a correlação da medida de Centralidade por Proximidade com a compactidade da forma urbana, assim como com o nível de irregularidade da rede espacial. Os resultados indicam que a distribuição estatística da medida é fortemente influenciada pela conformação da área urbanizada, tanto sob o ponto de vista da compactidade da forma urbana, quanto pela maior ou menor presença de vazios urbanos. A irregularidade da rede, que reflete o nível de hierarquização do traçado viário em termos de conexões, também tem uma correlação muito significativa com o padrão distributivo da medida. Dessa forma, os dados e análises realizadas demonstram que os melhores índices da medida de acessibilidade resultam de cidades mais compactas e com uma rede urbana mais irregular. Os resultados com essa amostra de cidades sugerem que, o comportamento agregado da medida de Centralidade por Proximidade é um bom indicador de características mais globais da estrutura morfológica urbana.

Palavras-chave: Compactidade. Irregularidade. Acessibilidade.

THE URBAN MORPHOLOGY DESCRIBED BY THE AGGREGATED BEHAVIOUR OF THE MEASURE OF CLOSENESS CENTRALITY

ABSTRACT

This study verifies if the urban structure can be describes by the standard statistical distribution of measure of the Closeness Centrality, also known as a measure accessibility and widely used in urban studies. In particular, the analysis of the acessibility measure of relations with compactness/fragmentation of urban form and the irregularity of the city network is made. To obtain a consistent sample capable of assisting in the understanding of the implications statistical distribution of measure, to be used in urban studies, are selected from 29 cities of similar size between 200 to 350 thousand inhabitants, with morphological patterns of road and conformation of the urban area quite distinct. From this description of urban spaces system, based on graphs and represented by road centerlines criterion, the correlation of measure of the Closeness Centrality with the compactness of the urban area is checked, as well as the level of irregularity of the space network. The results showed that the statistical distribution of the measure is strongly influenced by the conformation of the urban area, both from the point of view of the compactness of urban form, as the greater or lesser presence of urban voids. The irregularity of the network, reflecting the hierarchical level of the road layout in terms of connections, also has a significant correlation with the distributional pattern of the measure. Thus, the data and analyzes show that the best measure of accessibility indices result of more compact cities and a more irregular urban network. The results with the cities of sample suggest that aggregate behavior of the measure of Closeness Centrality can be good indicators of more global characteristics of urban morphological structure.

Keywords: Compactness. Irregularity. Accessibility.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho insere-se na área da morfologia urbana, mais precisamente na área dos estudos configuracionais urbanos, que entende as cidades como sistemas e investiga os aspectos estruturais das relações mantidas entre espaços urbanos, ou desses com as edificações.

Dentro desse contexto, as análises realizadas por meio da representação do espaço urbano com base em um grafo, em geral, empregam um conjunto restrito de medidas para descrever a estrutura urbana a partir das características de cada componente dentro do todo. Tal descrição se caracteriza pelo modo em como os valores da medida distribuem-se ao longo do sistema, sendo o comportamento do sistema compreendido através de uma análise visual ou por meio de correlações de ranking dos componentes com aspectos não morfológicos do sistema urbano.

Em outras áreas de estudo, as quais também utilizam os grafos para entender o comportamento de sistemas através de descrições da estrutura configuracional, são utilizados procedimentos que procuram descrever o sistema como um todo ao se considerar o comportamento agregado das partes (WATTS e STROGATZ, 1998; BARABÁSI e ALBERT, 1999; GASTNER e NEWMAN, 2006). Tais procedimentos têm se mostrado úteis em estabelecer classes gerais de comportamento em sistemas complexos, além de empregar técnicas estatísticas com a definição de valores, medidas ou índices que representam o comportamento agregado dos componentes do sistema.

Esta pesquisa pretende descobrir se esse tipo de procedimento também é capaz de caracterizar aspectos gerais dos sistemas urbanos ao se analisar o comportamento agregado da medida de Centralidade por Proximidade, muito utilizada nos estudos urbanos e também conhecida por Acessibilidade. Mais particularmente, pretende verificar se o comportamento agregado dessa medida, enquanto descritora do sistema urbano como um todo, consegue refletir aspectos gerais da forma urbana, como a compacidade da forma da cidade e a irregularidade da rede urbana.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MEDIDA DE CENTRALIDADE POR PROXIMIDADE

A medida de Centralidade por Proximidade é uma das medidas de diferenciação espacial, as quais definem critérios de ordenação para os espaços a partir de sua diferenciação e se relacionam com as características e fenômenos urbanos de interesse. De certa maneira, essa medida define o quão facilmente um espaço urbano pode ser alcançado, a partir de

qualquer outro na rede, partindo desse princípio, os espaços privilegiados são aqueles que estão mais próximos aos demais topologicamente, isto é, o espaço que estiver, em média, mais perto de todos os outros possui uma maior "acessibilidade" dentro do sistema.

Tal medida parte do conceito de que as propriedades dos vértices descrevem as qualidades dos vértices em função das características da rede. Para essa medida, é interessante o padrão distributivo apresentado pela rede em termos estatísticos e espaciais, logo, não se atribui nenhuma variação de ponderação de valores aos espaços, sendo apenas a questão topológica do espaço considerada.

A equação um (1) a seguir demonstra a medida de Acessibilidade ou Centralidade por Proximidade (A_i), sendo o cálculo da acessibilidade o inverso da distância topológica entre i e j , sendo $i \neq j$. Conforme Faria (2010), os valores absolutos da medida apresentam algumas dificuldades para realizar certas comparações no comportamento de grafos com número de componentes diferentes, portanto, a medida tem uma versão normalizada com base no valor máximo que um vértice pode possuir em um grafo completo de mesma ordem. A acessibilidade normalizada é descrita pela equação dois (2) seguinte.

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

Equação 1: Medida de Acessibilidade

$$A_{ni} = \frac{\sum_{j \in G} \frac{1}{d_{ij}}}{N-1}$$

Equação 2: Acessibilidade normalizada

Onde j é todo o vértice da rede diferente do vértice i e d_{ij} é a distância topológica entre i e j , N o número de vértices do grafo.

O propósito da normalização é minimizar os problemas causados pelo uso de unidades e dispersões distintas entre as variáveis e tem como objetivo ajustar as escalas de valores dos atributos para o mesmo intervalo, por exemplo: -1 a 1 , 0 a 1 , etc. Além de facilitar a comparação de dados dessa medida com os dados de outras medidas.

As medidas de diferenciação espacial, de maneira geral, podem apresentar diversos padrões de distribuição estatística para os sistemas urbanos, podendo depender do critério de representação espacial, como também da própria natureza da medida. Para a medida de Centralidade por Proximidade, independente das características do sistema representado, o padrão estatístico é aproximadamente uma distribuição Gaussiana, também conhecida por distribuição de Gauss ou distribuição Normal.

A distribuição Normal é uma distribuição de frequências onde a maioria dos valores das informações se concentra em torno da média e diminuem simétrica e gradativamente no sentido dos extremos, podendo ser descrita por dois parâmetros: a média (μ) que determina o centro de distribuição, e desvio padrão (σ) definido pela raiz quadrada positiva da variância e expresso pela mesma unidade de medida dos dados. Por isso, o valor de tendência da rede é descrito pela média, enquanto que o nível de concentração junto a essa média é representado pelo desvio padrão, sendo os valores o indicativo de uma maior concentração.

2.2 DISCRETIZAÇÃO DO ESPAÇO URBANO

A discretização do espaço urbano é referente ao processo de divisão do espaço urbano em unidades finitas e delimitáveis. Como o espaço é infinito e contínuo, portanto, para se fazer uma análise morfológica é preciso definir com clareza as porções finitas desse espaço.

A morfologia tradicional define essas divisões como lotes, ou quadras, e o espaço público como ruas. Entretanto, para a modelagem computacional torna-se necessária a definição de critérios mais rígidos e específicos, adequados ao objeto estudado e replicáveis a quaisquer cidades. Conforme Faria (2010), nos estudos intraurbanos podem ser identificados três critérios gerais de discretização do espaço urbano:

- a) a manutenção da natureza geográfica do sistema: o espaço urbano é, em sua essência, uma estrutura imersa em um plano e, portanto, pode ser representado por um grafo, mesmo não estando limitado a bidimensionalidade da superfície terrestre. No quesito da planaridade apenas um forma pode ser representada no sistema urbano, aquela onde as intersecções e extremidades das vias são descritas como vértices e os trechos entre intersecções são definidos como arestas. Uma variação deste modo de representação são as representações semi-planares onde as eventuais não-planaridades do sistema, tais como pontes, viadutos ou túneis são incorporados também na forma não planar no grafo, de maneira a reproduzir a dimensionalidade do espaço sendo representado;
- b) a descrição por unidades morfológicas mínimas: descritas como trechos de vias, os quais são as unidades de espaço definidas como o trecho do espaço definidas como o trecho de espaço público contido entre intersecções de vias, onde existe a possibilidade de mudar de direção no sistema urbano;
- c) a descrição por unidades morfológicas máximas: podem ser linhas de máxima continuidade ou linhas axiais. As primeiras são um agregado de linhas axiais que representam um caminho na sua máxima dimensão linear, respeitando um limite de

angularidade pré-definido. As segundas são definidas como a menor quantidade das maiores linhas retas capazes de cobrir todo o sistema de espaços abertos.

Adotado neste trabalho, tem-se os centros de via, que são uma variante das linhas axiais, também cobrem todo o sistema de espaços abertos, utilizando-se da menor quantidade das maiores linhas retas, porém diferentemente dos mapas axiais representam todas as ruas, suas intersecções, rótulas e outros caminhos, tendo como base os centros de cada via e seguindo sua angulação, desse modo, representam todo o sistema viário de uma cidade e facilitam a representação espacial a ser estudada.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA FORMA URBANA: COMPACIDADE DA FORMA E IRREGULARIDADE DA REDE

a) Compacidade da Forma Urbana

A compacidade da forma urbana é determinada pela distribuição geográfica da conformação do território da cidade, pois as cidades podem estar espalhadas no território de maneira mais ou menos contínua, estando mais concentradas e/ou aproximadas em relação a outras cidades mais dispersas (HILLIER, 2002). A compacidade da forma urbana está relacionada com alguma relação entre a área ocupada com urbanização e seu perímetro, essa relação é alterada pelas discontinuidades na ocupação do território, definindo as cidades como mais compactas ou fragmentadas pela forma em que elas se distribuem no território.

Burgess (2003) e Jenks et al. (1996) acreditam que as cidades compactas agredam menos o ambiente, pois diminuem as distâncias intraurbanas, dessa forma, propiciando o deslocamento a pé ou com veículos não poluentes, além de reduzir os custos de trajetos que envolvem os transportes.

Por outro lado, Polidori e Krafta (2003) citam que cidades compactas tendem a suprimir o fluxo ecológico impedindo, assim, a continuidade do ambiente natural em muitos casos. Para Segal e Verbakel (2008) a cidade fragmentada tende a acompanhar o ambiente natural e/ou topografia, pois apresenta um crescimento urbano com uma distribuição espacial mais dispersa em um padrão heterogêneo.

A fragmentação urbana é considerada por muitos uma deficiência, principalmente com relação aos fluxos urbanos, pois aumentam as distâncias internas da cidade causando maiores custos para deslocamentos. No entanto, Polidori e Krafta (2003) não consideram a fragmentação urbana nem um problema nem uma qualidade, porém como um processo dinâmico que tem garantido a continuidade do espaço urbano ao longo dos anos. Além disso, as cidades fragmentadas parecem se adaptar melhor aos processos de expansão e

renovação causados pelo crescimento urbano, pois interagem melhor com o ambiente natural ao consumir de forma mais seletiva os recursos naturais.

b) Irregularidade da Rede Urbana

Um grafo é chamado de regular quando todos os seus vértices obtiverem o mesmo *grau do vértice*, que é caracterizado pelo número de arestas incidentes em cada vértice, ou similarmente é o número de vértices adjacentes a ele. O grafo é dito irregular quando não existe o mesmo *grau do vértice* em todos os vértices do sistema.

As primeiras abordagens que discutem sobre a irregularidade dos grafos estão mais centradas em definir os grafos como "mais ou menos irregulares" através de um determinado critério e não são voltadas para medir a irregularidade dos grafos através da definição de valores. Inicialmente, o conceito que obteve mais atenção foi o de grafo altamente irregular, representado por um grafo cujos vértices possuem todos os graus dos vértices diferentes (ALAVI et al., 1987).

Nas últimas décadas, surgiram trabalhos que propõem definições de medidas de irregularidade, embora ainda hoje não se tenha clareza de qual método é mais adequado para medir a irregularidade dos grafos. Dentre esses estudos, caracterizou-se como mais adequado para medir a irregularidade da rede urbana o método de Nikiforov (2006) por ser uma das medidas mais recentes e de fácil aplicabilidade. Essa medida mede a irregularidade de um grafo por meio da variação do número de conexões que cada vértice do sistema tem em relação à média da rede.

3. METODOLOGIA

3.1 SELEÇÃO DA AMOSTRA DAS CIDADES

Com o intuito de diminuir a influência exercida pelo tamanho da cidade nas avaliações do comportamento da medida foram selecionadas cidades de porte semelhante, pois conforme estudos de Hillier (2002) e de Medeiros (2006) é possível perceber que determinadas características da forma urbana influenciam em como a medida de Integração se "comporta", dessa maneira, podendo afetar os resultados.

A escolha das cidades brasileiras teve como base o censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). Dentre as cidades brasileiras, foram selecionadas todas as que possuem população entre 200.000 e 350.000 habitantes e, após, retiradas da pesquisa aquelas que estão em regiões metropolitanas ou conurbações, uma vez que estas estão

fisicamente unidas a outra(s) cidade(s), tornando inviável a representação separada da estrutura urbana e, por sua vez, prejudicando o comportamento de cada do sistema.

Ao final da seleção, são mantidas 29 cidades, listadas a seguir: Anápolis - GO; Arapiraca - AL; Bauru - SP; Boa Vista - RR; Camaçari - BA; Caruaru - PE; Cascavel - PR; Divinópolis - MG; Foz do Iguaçu - PR; Franca - SP; Governador Valadares - MG; Guarujá - SP; Imperatriz - MA; Itabuna - BA; Limeira - SP; Marabá - PA; Marília - SP; Mossoró - RN; Palmas - TO; Pelotas - RS; Petrolina - PE; Ponta Grossa - PR; Rio Branco - AC; Santa Maria - RS; Santarém - PA; São Carlos - SP; Sete Lagoas - MG; Uberaba - MG e Vitória da Conquista - BA.

Para a representação das cidades utilizou-se imagens de satélite georreferenciadas, sendo essas imagens datadas do final de 2013 até meados de 2014, isto é, caracterizando o estado de cada cidade num dado momento no tempo. Com base nessas imagens são definidos os perímetros das áreas ocupadas por cada cidade, seus vazios urbanos e a representação de seu sistema de vias de circulação. Como também são definidos os indicadores quantitativos capazes de ordenar as cidades em mais ou menos compactas e irregulares.

3.2 DEFINIÇÃO DOS PERÍMETROS E VAZIOS URBANOS

Os perímetros das áreas ocupadas por cada cidade foram definidos com base nos seguintes critérios:

- a) os núcleos urbanos afastados que possuem mais de 150 edificações ou mais de 10 quarteirões, independentemente da distância, são acrescidos ao perímetro do núcleo urbano principal, assim como as vias que dão acesso a esses núcleos;
- b) os núcleos urbanos afastados que possuem de 50 a 150 edificações ou de cinco a 10 quarteirões, somente são somados ao perímetro, quando não ultrapassam a distância de dois quilômetros e 500 metros do núcleo urbano principal;
- c) o perímetro acompanha os eixos de via que saem dos núcleos urbanos até 500 metros, caso não se perpetue nenhuma das duas situações descritas acima. A exceção ocorre quando esses eixos de via se conectam com outras partes distantes da cidade;
- d) todas as ruas com construções são demarcadas, bem como vias particulares rurais com edificações adjacentes. Contudo, as vias particulares rurais são desconsideradas quando não atendem nenhum dos critérios anteriores;

Para efeitos deste estudo são considerados como vazios urbanos as áreas desocupadas, rodeadas de vias e/ou áreas efetivamente urbanizadas, toda vez que essas áreas ultrapassam 500 metros em uma de suas dimensões.

Como exemplo tem-se a figura um (1) a seguir:

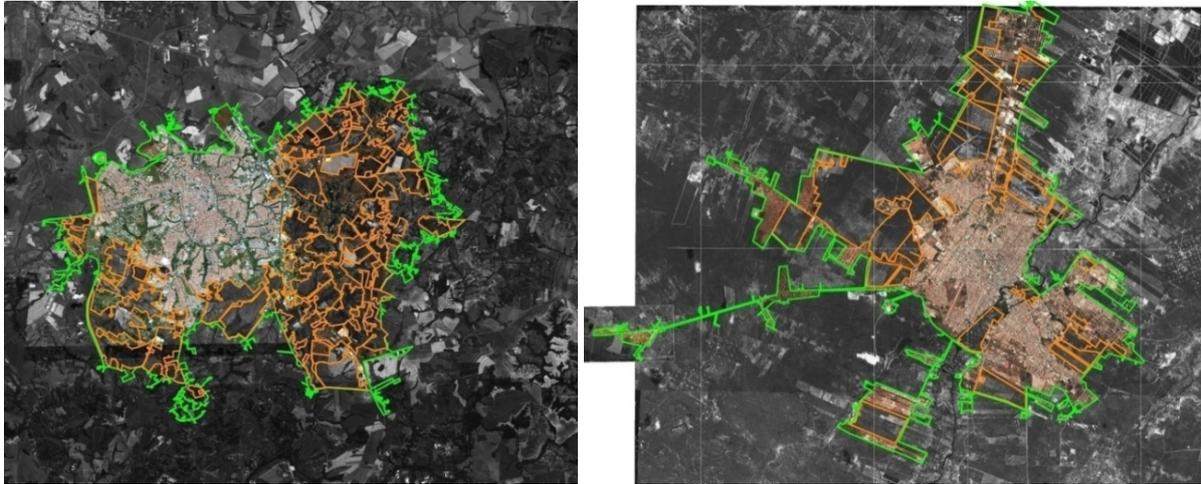


Figura 1 – Delimitação do perímetro das áreas ocupadas por cada cidade em verde e marcação dos vazios urbanos em laranja: a) Marília - SP e b) Mossoró - RN. Fonte: Paim, 2015, p. 58.

3.3 DEFINIÇÃO DOS MAPAS URBANOS

Os desenhos dos sistemas de vias de circulação por segmentos de retas são realizados usando como critério os centros de via, em vez dos critérios empregados nas linhas axiais, de modo a facilitar o modo de representação do sistema urbano dessas 29 cidades. Assim, são desenhadas todas as ruas, bem como suas intersecções, rótulas e outros caminhos.

Os critérios utilizados nas representações estão destacados a seguir:

- a) nas vias que possuem canteiro central, os leitos carroçáveis são desenhados separadamente, ou seja, por linhas duplas;
- b) todos os eixos são representados por segmentos de retas, mesmo as linhas curvas;
- c) quando houver cruzamentos de vias (como túneis, viadutos e outros) que não se conectam na realidade e, em menos de 300 metros, houver uma ou mais conexões, as linhas cruzadas são mantidas, porque existe uma conexão real nas imediações de modo a simplificar a representação do sistema sem distorcer em excesso os resultados globais;
- d) quando não houver em menos de 300 metros essas conexões são feitas adaptações no sistema de modo a manter as conexões existentes e não desfazer o cruzamento daquelas que na realidade não estão conectadas, ou seja, estão apenas sobrepostas;

e) os calçadões que possuem importância na malha viária são desenhados, enquanto que os largos, as praças e os calçadões de orla de praia (paralelos a vias) não são representados, pois funcionam mais como espaços convexos, de maneira a pouco acrescentar às ruas já existentes características em termos de movimentação;

f) todo o sistema viário contido dentro do perímetro urbano é representado;

g) as vias particulares urbanas ou rurais são desconsideradas quando não possuem edificações adjacentes e quando fora do perímetro urbano, porém são mantidas todas as ruas em conjuntos habitacionais, loteamentos e condomínios fechados e abertos.

Pode-se visualizar o sistema de vias de circulação de duas das cidades da amostra na figura dois (2) a seguir:



Figura 2 – Mapas axiais: a) cidade de Anápolis - GO e b) Limeira - SP. Fonte: Paim, 2015, p. 247.

3.4 COMPACIDADE DA FORMA URBANA

Para definir o grau de compacidade da forma urbana são adotados três indicadores, eles são: Indicador de Continuidade, Índice de Compacidade e Medida de Compacidade Urbana.

O Indicador de Continuidade define a compacidade por meio da comparação do perímetro do assentamento urbano ($2P_u$) (juntamente com os vazios urbanos) com o perímetro do polígono convexo mínimo ($2P_{conv}$) que o contém. A medida varia de 0 a 1, sendo o limite superior um indicativo de que a cidade coincide com seu polígono convexo mínimo, sem reentrâncias ou vazios internos, já o limite inferior significa, hipoteticamente, uma máxima

fragmentação. Logo, quanto maior o valor do indicador, menos fragmentado é o assentamento urbano (KRAFTA, 2014).

Expresso pela equação três (3) a seguir:

$$I_{cont}(U) = \frac{2P_{front}}{2p_{uA}}$$

Equação 3: Indicador de Continuidade.

O segundo indicador é o Índice de Compacidade, definido pela relação do perímetro da área ocupada pelo elemento em evidência e pelo perímetro de um círculo de mesma área (CHRISTOFOLETTI, 1980). Dessa maneira, quanto mais próximo de um círculo for a forma do elemento, que é o formato geométrico mais compacto, mais próximo da unidade é o índice de compacidade, que é uma medida adimensional e que varia independente do tamanho, isto é, varia apenas de acordo com a forma. A equação quatro (4) segue a seguir:

$$K_c \cong 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Equação 4: Índice de Compacidade.

A terceira medida é uma adaptação do segundo indicador, criada com o intuito contemplar a presença de vazios urbanos não contemplados pelo indicador anterior. Por isso, sua definição também relaciona o perímetro da área ocupada pelo elemento de estudo com o perímetro de círculo de mesma área, porém os valores dos perímetros dos vazios urbanos são somados ao valor do perímetro externo da forma urbana e as áreas desses vazios são subtraídas da área da forma urbana. Nessa medida, semelhante à anterior, cidades mais compactas são aquelas que possuem o valor mais próximo de um (PAIM, 2015). A seguir, tem-se a equação da Medida de Compacidade Urbana:

$$Mc = 0,282 \frac{(P + \sum P_{vu})}{\sqrt{(A - \sum A_{vu})}}$$

Equação 5: Medida de Compacidade Urbana.

3.5 IRREGULARIDADE DA REDE URBANA

A medida de irregularidade da rede urbana é definida pelo método de Nikiforov (2006), que mede o grau de irregularidade de um grafo através da variação do número de conexões que cada vértice do sistema tem em relação à média da rede.

A medida de Nikiforov (2006) é definida como a *medida de desvio dos graus* e é representada pela soma do valor absoluto das diferenças entre o grau dos vértices e a média dos graus do sistema G. Descrita pela equação seis (6) seguinte:

$$s(G) = \sum_i |d_i - \bar{d}|$$

Equação 6: Medida de Irregularidade da rede urbana.

Onde d_i se refere ao Grau do Vértice do vértice i e \bar{d} é a média do Grau do Vértice do vértice G, sendo $\bar{d} = \frac{2m}{n}$ a média dos graus de G. Sendo m o número de arestas e n o número de vértices. Essa fórmula está expressa em módulo, por isso, seu valor é sempre absoluto, ou seja, se for positivo, é o próprio número; contudo, se for negativo, é o seu número simétrico positivo.

Esse tipo de medida é pouco utilizado nos estudos urbanos, uma vez que consegue descrever a irregularidade da rede de espaços urbanos através das diferenças de conexões entre os componentes do sistema, assim, não consegue capturar efetivamente a regularidade morfológica do traçado urbano numa representação por centros de via. De certa forma, essa medida consegue refletir indiretamente as variações de comprimento dos centros de vias juntamente com suas variações de granulometria dos quarteirões.

Na tabela um (1) podem ser visualizados os valores das medidas de compacidade juntamente com os valores da medida de irregularidade da rede urbana para todas as 29 cidades em análise.

Cidades	Indicador de Continuidade	Índice de Compacidade	Medida de Compacidade Urbana	Irregularidade da rede Urbana
Anápolis - GO	0,11848	5,0287	14,4344	1,884318
Arapiraca - AL	0,14218	2,4320	11,4942	1,522021
Bauru - SP	0,13721	6,5651	13,0697	2,060724
Boa Vista - RR	0,28604	3,2754	5,1389	3,155695
Camaçari - BA	0,09934	4,9156	25,2662	1,133147
Caruaru - PE	0,14882	6,1890	11,4504	1,733271
Cascavel - PR	0,28719	3,6796	4,9862	2,982678
Divinópolis - MG	0,08898	7,6081	24,5244	1,758466
Foz do Iguaçu - PR	0,14889	4,5456	11,0665	1,920693
Franca - SP	0,14215	6,1702	13,0613	2,044190
Governador Valadares - MG	0,26549	9,9635	16,3702	1,479622
Guarujá - SP	0,14616	7,4810	15,7936	1,840535
Imperatriz - MA	0,19860	5,3093	9,0286	1,891222
Itabuna - BA	0,13711	7,9728	15,8961	1,268376
Limeira - SP	0,09713	4,8809	16,4788	1,493607
Marabá - PA	0,21497	14,4523	16,4664	1,642024
Marília - SP	0,17927	9,3316	13,0118	1,856119
Mossoró - RN	0,19676	5,1840	10,3703	2,322294
Palmas - TO	0,10577	6,4669	18,3564	1,506301
Pelotas - RS	0,19527	3,7403	11,0554	2,038728
Petrolina - PE	0,12604	5,4204	15,6702	1,794278
Ponta Grossa - PR	0,15991	6,1545	11,0572	2,185643
Rio Branco - AC	0,09694	8,5795	20,4106	1,344347
Santa Maria - RS	0,13715	5,8403	15,2903	1,509814
Santarém - PA	0,26572	4,5389	8,0392	2,608856
São Carlos - SP	0,13708	5,2996	16,3565	1,619487
Sete Lagoas - MG	0,10220	6,7071	23,6600	1,494063
Uberaba - MG	0,11733	6,8851	13,9926	1,861525
Vitória da Conquista - BA	0,13719	3,3452	14,7707	1,673148

Tabela 1: Indicador de Continuidade, Índice de Compacidade, Medida de Compacidade Urbana e Medida de Irregularidade da Rede Urbana de todas as cidades em análise. Fonte: Paim, 2015, p. 65 e 68.

4. RESULTADOS

O Comportamento estatístico da medida de Centralidade por Proximidade é avaliado quanto as suas relações com as características de fragmentação/compactação da forma urbana e a irregularidade da rede do sistema urbano observado. Em suma, essas relações são determinadas pelas comparações entre os três indicadores da compacidade da forma urbana e a medida de irregularidade da rede urbana com a média e o com o desvio padrão da medida de Centralidade por Proximidade, pois como essa apresenta uma distribuição estatística aproximadamente Gaussiana, a média e o desvio padrão são seus descritores.

A correlação obtida entre essas variáveis é a linear, a qual ocorre quando a interpolação dos pontos do diagrama de dispersão se aproxima de uma linha reta, tal correlação é determinada pelo coeficiente linear de Pearson (r), que mede o grau de associação linear entre as variáveis. Nesse coeficiente os valores variam de 1 a -1, logo, quanto mais próximos desses extremos, maior é o grau de intensidade de correlação entre as variáveis (SICSÚ e DANA, 2012).

Além disso, para determinar a qualidade de ajuste da regressão linear é utilizado o coeficiente de determinação (R^2), que é capaz de avaliar a dispersão dos dados em relação à reta. Esse coeficiente indica, em porcentagem, qual é a precisão da regressão linear à reta do modelo de ajuste (SHARPE et al., 2011).

Ainda é possível determinar a probabilidade de acerto na associação entre as variáveis, definida pelo parâmetro que estima o intervalo de confiança. Quando os valores desse intervalo forem menores que 0,01, significa que há 99% de confiabilidade de que a associação entre os dados provavelmente não ocorra ao acaso, logo, quanto maior for o valor estimado pelo parâmetro, menos confiável será a probabilidade de correlação entre as variáveis (SICSÚ e DANA, 2012).

4.1 RELAÇÕES DA MEDIDA DE CENTRALIDADE POR PROXIMIDADE COM A COMPACIDADE DA FORMA URBANA

A primeira análise é feita entre a média da medida de Centralidade por Proximidade e os três indicadores da compacidade da forma urbana. Os resultados obtidos apontam para uma correlação linear entre duas das três variáveis, conforme figura três (3) e figura quatro (4):

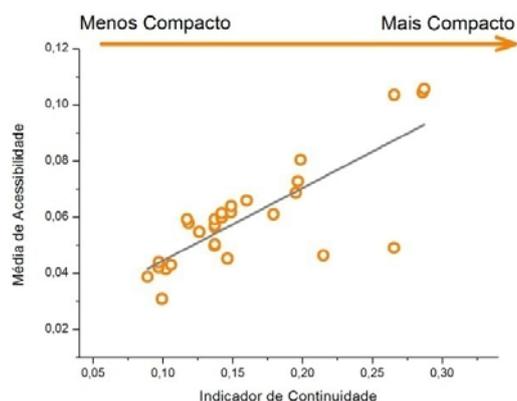


Figura 3: Gráfico de correlação entre a média da medida de Centralidade por Proximidade e o Indicador de Continuidade. Fonte: Paim, 2015, p. 105.

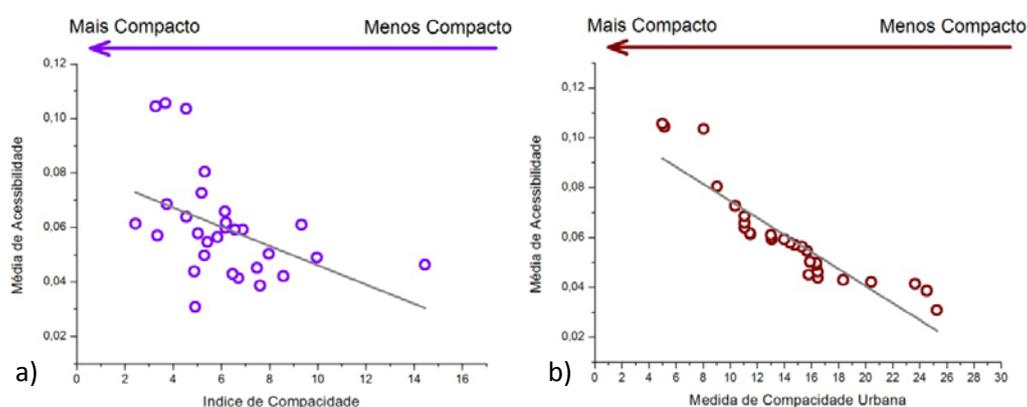


Figura 4: Gráfico de correlação entre a média da medida de Centralidade por Proximidade e: a) o Índice de Compacidade e b) a Medida de Compacidade Urbana. Fonte: Paim, 2015, p. 105.

Os valores do coeficiente linear de Pearson (r) para o Indicador de Continuidade, o Índice de Compacidade e a Medida de Compacidade Urbana são, respectivamente: $+0,7923$; $-0,4505$ e $-0,9026$. Seguindo nessa mesma ordem, os intervalos de confiança são $0,01$; $0,05$ e $0,01$ e sua regressão linear é de $62,8\%$; $20,3\%$ e $81,5\%$.

As correlações mais fortes e significativas são as relações obtidas entre a medida de Centralidade por Proximidade com o Indicador de Continuidade e com a Medida de Compacidade Urbana, indicando que os melhores encaixes obtidos são com esses dois indicadores de compacidade, os quais consideram os vazios urbanos. Assim, sugerindo que, dentro das dimensões empregadas neste trabalho, a presença de vazios urbanos é capaz de influenciar no modo como a Centralidade por Proximidade se distribui no sistema. Por isso, quanto mais compacta ou menos fragmentada for a cidade, maior a média da medida de Centralidade por Proximidade, isto é, o sistema como um todo é mais "acessível". Assim, pode-se colocar que a descrição agregada da medida de Centralidade por

Proximidade, por meio de sua média, é capaz de refletir o nível de compacidade da forma urbana.

A segunda análise é realizada com base na relação entre os valores do desvio padrão da Centralidade por Proximidade e os três indicadores de compacidade, essa análise tem como objetivo verificar se a variável compacidade também é capaz de interferir na maior ou menor homogeneização dos valores da Centralidade por Proximidade. Os resultados obtidos também apontam para uma correlação linear entre duas das três variáveis, conforme figura cinco (5) e figura seis (6):

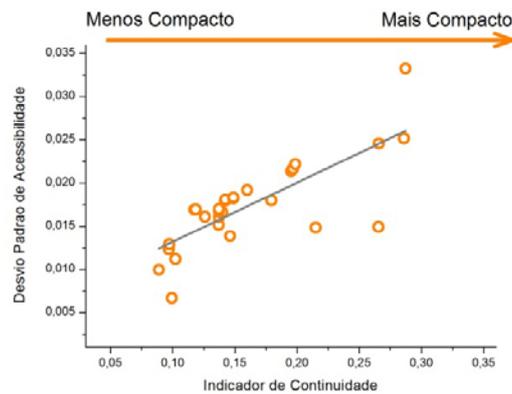


Figura 5: Gráfico de correlação entre a média da medida de Centralidade por Proximidade e o Indicador de Continuidade. Fonte: Paim, 2015, p. 107.

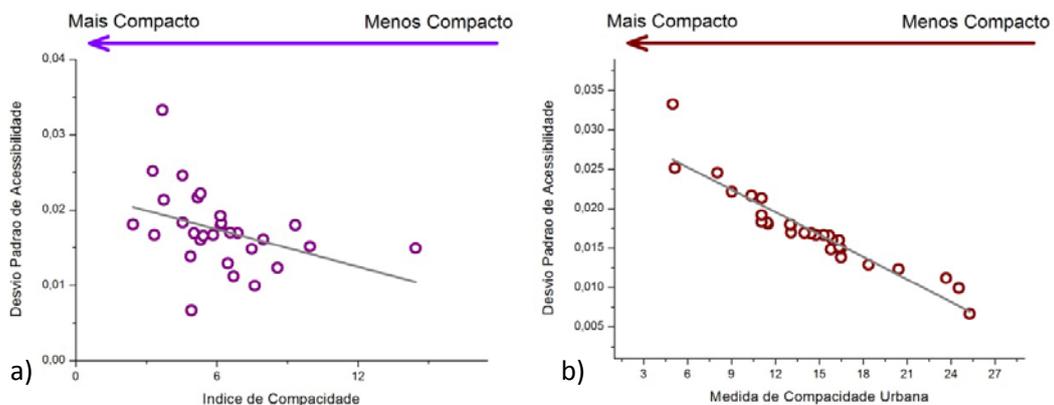


Figura 6: Gráfico de correlação entre o desvio padrão da medida de Centralidade por Proximidade e: a) o Índice de Compacidade e b) a Medida de Compacidade Urbana. Fonte: Paim, 2015, p. 108.

Os valores do coeficiente linear de Pearson (r) para o Indicador de Continuidade, o Índice de Compacidade e a Medida de Compacidade Urbana são, respectivamente: $+0,7714$; $-0,3936$ e $-0,9365$. Seguindo nessa mesma ordem, os intervalos de confiança são $0,01$; $0,05$ e $0,01$ e sua regressão linear é de $59,5\%$; $15,5\%$ e $86,9\%$.

Tais correlações também indicam que os melhores encaixes obtidos são com dois dos três indicadores de compacidade, os quais consideram os vazios urbanos, pois as correlações mais fortes e significativas acontecem ao relacionar a medida de Centralidade por Proximidade com o Indicador de Continuidade e com a Medida de Compacidade Urbana. Por conseguinte, novamente verifica-se a influência dos vazios urbanos na maneira em como a forma da cidade influencia na distribuição estatística da medida de Centralidade por Proximidade.

4.2 RELAÇÕES DA MEDIDA DE CENTRALIDADE POR PROXIMIDADE COM A IRREGULARIDADE DA REDE URBANA

A análise da relação da medida de Centralidade por Proximidade e o nível de irregularidade da rede urbana (pelo método de Nikiforov) obteve uma correlação efetiva tanto com a média, quanto com o desvio padrão da Centralidade por Proximidade, nesse aspecto, os resultados indicam uma correlação linear. Conforme figura sete (7):

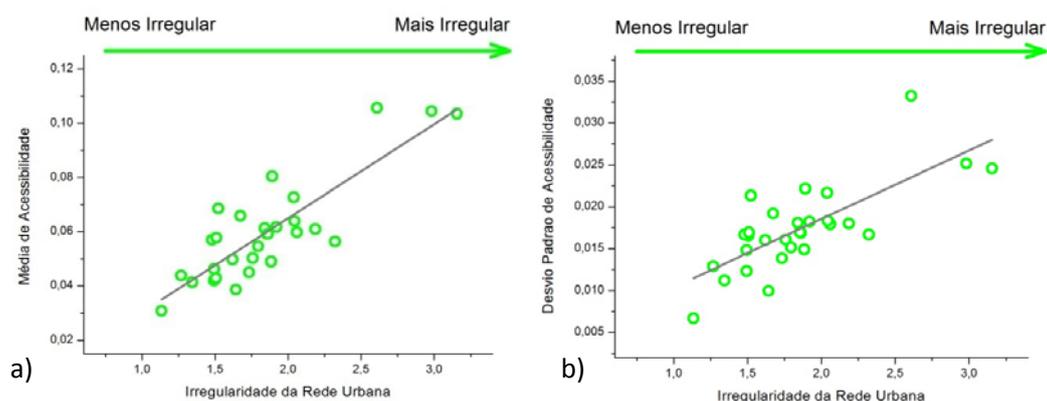


Figura 7: Gráfico de correlação entre a medida de Irregularidade da Rede Urbana e: a) a média da medida de Centralidade por Proximidade e b) o desvio padrão da medida de Centralidade por Proximidade. Fonte: Paim, 2015, p. 116-7.

Os valores do coeficiente linear de Pearson (r) para a Irregularidade da rede Urbana com a média da medida de Centralidade por Proximidade é de +0,8515, enquanto que a relação com o desvio padrão é de +0,7474. Os intervalos de confiança dos dois gráficos são de 0,01 (99% significativos) e a regressão linear das retas é de, respectivamente: 72,5% e 55,9%.

Em ambos os casos, obteve-se bons encaixes, sugerindo que a irregularidade da rede urbana pode influenciar no comportamento da medida de Centralidade por Proximidade, no sentido de que quanto mais irregular for a rede da cidade, maior é a média e o desvio padrão da Centralidade por Proximidade.

A medida de irregularidade capta diferenças de conectividades, de maneira que quanto mais irregular a rede da cidade, maiores são as diferenças entre os graus dos vértices, ou seja, a

cidade possui grande quantidade de ruas com diferentes números de conexões. Mais precisamente, essa medida mede a realidade da estrutura configuracional urbana, em termos de conexões, de modo a demonstrar a existência de uma correlação razoável da medida com cidades que possuem extensas vias.

Quanto à morfologia, parte das cidades consideradas mais irregulares parece ter um traçado da malha viária mais regular, entretanto não é possível medir esse tipo de aspecto em um grafo sem levar em consideração outros elementos da rede. Por isso, a descrição morfológica das cidades representadas por centros de via merece um estudo mais aprofundado, pois até o momento não se tem outra medida capaz de medir a irregularidade.

5. CONCLUSÃO

A compreensão do comportamento agregado da medida de Centralidade por Proximidade e suas relações com aspectos da morfologia urbana ampliam a visão do significado dessa medida e trazem novas possibilidades referentes à análise configuracional urbana, um exemplo disso, é a confirmação do pressuposto inicial de que essa medida, enquanto descritora do sistema como um todo, pode definir classes gerais de configurações urbanas, além de caracterizar o sistema urbano.

Os dados e as análises estatísticas realizadas sugerem que existem relações entre o comportamento agregado da medida de Centralidade por Proximidade e o nível de fragmentação/compactação da forma urbana e a irregularidade da rede urbana.

Dois dos três indicadores de compacidade utilizados demonstram uma relação direta da forma urbana com a média e o desvio padrão da medida de Centralidade por Proximidade. Além disso, também se evidencia a influência dos vazios urbanos no comportamento da medida, pois os dois indicadores (Indicador de Continuidade e Medida de Compacidade Urbana) que obtiveram a maior correlação agregam os vazios urbanos em seus parâmetros. Dessa maneira, quanto mais compacta for a cidade, maiores serão os valores da média e do desvio padrão da medida de Centralidade por Proximidade.

Também é possível supor a influência da medida de irregularidade da rede urbana sobre o comportamento agregado da medida de Centralidade por Proximidade. Cabe ressaltar que, a medida de irregularidade não capta efetivamente a regularidade morfológica do traçado urbano em uma representação por centros de via, pois as cidades que parecem ter um traçado viário mais regular são aquelas que possuem os maiores valores de irregularidade da rede. De certa maneira, ela capta indiretamente as variações de comprimento dos centros de via associadas com variações de granulometria dos quarteirões; demonstrando, assim, que quanto maior é o valor da irregularidade da rede, maior é a média e o desvio padrão junto à média da medida de Centralidade por Proximidade.

Portanto, a medida de Centralidade por Proximidade parece ter uma correlação significativa com a forma da cidade, de tal maneira que os melhores índices da medida são consequência de uma rede urbana mais irregular e de uma forma urbana mais compacta, além de ficar evidente que os vazios urbanos influenciam diretamente na definição de compacidade da forma urbana.

Também parece adequado considerar que a metodologia utilizada é capaz de identificar as relações existentes entre a medida e a forma da compacidade urbana e a irregularidade da rede da cidade, como também destaca-se uma nova abordagem para esse tipo de análise, com modelos baseados em grafos e representados pelo critério de centros de via. Os resultados encontrados estão efetivamente ligados a esse modo de representação, podendo não ser válidos para outro meio representativo a ser adotado. Além disso, são utilizadas cidades de porte semelhante, dentro de um determinado padrão, significando que os resultados obtidos não abrangem todo o tipo de cidade, é claro, tais considerações podem vir a ser comprovadas futuramente com cidades de outro porte.

Além disso, esta pesquisa aprimora as análises de modelos baseados em grafos pelo critério de centros de via e são definidos parâmetros específicos para sua representação, além de estabelecer indicadores quantitativos para a compacidade da forma urbana e a irregularidade da rede da cidade, de modo a evidenciar sua utilização e desempenho dentro dos padrões estudados nesta pesquisa.

Por fim, traz-se uma melhor compreensão sobre o comportamento agregado da medida de acessibilidade quando relacionada a determinados aspectos espaciais urbanos, aprimorando os procedimentos de análise estatística e melhor compreendendo as implicações do padrão de distribuição dessa medida. Além de perceber novas implicações acerca da medida ao se analisar seu comportamento estatístico quando comparada a aspectos relativos aos espaços urbanos, podendo ser de grande importância para a elaboração de trabalhos futuros dentro da abrangência deste tipo de estudo e, ainda, auxiliando no processo de planejamento de urbanistas e estudiosos do assunto, preocupados em como melhorar a acessibilidade global e a conectividade entre os espaços urbanos.

BIBLIOGRAFIA

Alavi, Yousef; Chartrand, G.; Chung, F. R. K.; Erdős, Paul; Graham, R. L.; Oellermann, Ortrud R. Highly Irregular Graphs. In: *Journal of Graph Theory*, v. 11, n. 2, p. 235-49.1987.

Barabási, Arbert László, Albert, Réka. Emergence of scaling in random networks. In: *Science*, 286, p. 509-512. 1999.

Burgess, Rod. The Compact City Debate: a global perspective. In: Jenks, Mike; Burgess, Rod. *Compact Cities: Sustainable Urban Forms for Developing Countries*, p. 9-24. Taylor & Francis e-Library. 2003.

Christofoletti, Antônio. *Geomorfologia*. 2.ed. Editora Edgard Blücher Ltda., p. 188. São Paulo. 1980.

Faria, Ana Paula Neto de. *Análise configuracional da forma urbana e sua estrutura cognitiva*. Tese de Doutorado. 321f. Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010.

Gastner, M. T.; Newman, M. E. J. The spatial structure of networks. In: *The European Physical Journal B*, v. 49, p. 247-252. 2006.

Hillier, Bill. A Theory of the City as Object: or, spatial laws mediate the social construction of urban space. In: *Urban Design International*, v. 7. 2002.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística / IBGE. *Censo de 2010*. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em 23 de fev.2014.

Jenks, Mark; Burton, E.; Williams, K. Compact Cities and Sustainability: An Introduction. In: Jenks, Mark; Burton, E.; Williams, K. *The Compact City: A Sustainable Urban Form?*, p. 1-6. Oxford Brookes University, Oxford, UK. Taylor & Francis e-Library. 1996.

Krafta, Rômulo. *Notas de aula de Morfologia Urbana*. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 2014.

Mereiros, Valério Augusto Soares de. *Urbis Brasiliae ou sobre cidades do Brasil: inserindo assentamentos urbanos do país em investigações configuracionais comparativas*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. 2006.

Nikiforov, Vladimir. Eigen values and degree deviation in graphs. In: *Linear Algebra and its Applications*, 414, p. 347-60. 2006.

Paim, Daniel Trindade. *Comportamento agregado da medida de Acessibilidade na descrição da morfologia urbana*. Dissertação de Mestrado. 257f. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas. 2015.

Polidori, Maurício Couto; Krafta, Rômulo. *Crescimento urbano - fragmentação e sustentabilidade*. Anais X Encontro Nacional da ANPUR. Belo Horizonte. ANPUR. 2003.

Segal, Rafi; Verbakel, Els. *Urbanism Without Density*. Architectural Design Magazine - Cities of Dispersal. v. 78, n. 1. 2008.

Sicsú, Abraham Laredo; Dana, Samy. *Estatística aplicada: análise exploratória de dados*. São Paulo, Brasil: Editora Saraiva. 2012.

Sharpe, Norean R.; Veaux, Richard D. De; Velleman, Paul F. *Estatística aplicada: administração, economia e negócios*. Traduzido por Lori Viali. Porto Alegre: Bookman, 2011.

Watts, Duncan J., Strogatz, Steven H. Collective dynamics of "small-world" networks. In: *Nature*, n. 393. p. 440-442. 1998.