



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades



Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

JOÃO ANTONIO CAMARGO MATIOLLI

**RELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS ESPACIAIS DE CIDADES E
A RESILIÊNCIA NA MOBILIDADE URBANA**

Bauru
2020



JOÃO ANTONIO CAMARGO MATIOLLI

**RELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS ESPACIAIS DE CIDADES E
A RESILIÊNCIA NA MOBILIDADE URBANA**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Garcia
Manzato



Bauru
2020

M433r

Matiolli, João Antonio Camargo

Relações entre características espaciais de cidades e a resiliência na mobilidade urbana / João Antonio Camargo Matiolli. -- Bauru, 2020
64 p. : tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Engenharia, Bauru

1. Resiliência na mobilidade urbana. 2. Modos não motorizados de transporte. 3. Características espaciais das cidades. 4. Forma Urbana.
I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JOÃO ANTONIO CAMARGO MATIOLLI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 19 dias do mês de março do ano de 2020, às 08:30 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da FEB, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. GUSTAVO GARCIA MANZATO - Orientador(a) do(a) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental / FEB/UNESP/Bauru, Prof. Dr. ANTÔNIO NÉLSON RODRIGUES DA SILVA do(a) Departamento de Engenharia de Transportes / Escola de Engenharia de São Carlos / USP, Prof^a. Dr^a. RENATA CARDOSO MAGAGNIN do(a) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo / FAAC/UNESP/Bauru, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de JOÃO ANTONIO CAMARGO MATIOLLI, intitulada **RELAÇÕES ENTRE CARACTERÍSTICAS ESPACIAIS DE CIDADES E A RESILIÊNCIA NA MOBILIDADE URBANA**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. GUSTAVO GARCIA MANZATO



Prof. Dr. ANTÔNIO NÉLSON RODRIGUES DA SILVA



Prof^a. Dr^a. RENATA CARDOSO MAGAGNIN



Dedico este trabalho aos meus pais, Geraldo e Rosilene, meus melhores orientadores na vida. Sem eles nada seria possível.

AGRADECIMENTOS

A todos os professores que influenciaram na minha trajetória. Em especial ao Prof. Dr. Gustavo Garcia Manzato, meu orientador, por toda a dedicação e paciência que teve comigo durante a minha vida acadêmica, desde a época da iniciação científica até a conclusão do mestrado.

Aos meus pais, por todo o apoio e investimento na minha educação.

Aos meus familiares e amigos próximos que sempre me incentivaram a buscar meus objetivos.

À minha namorada Giovanna, que sempre me apoiou nos momentos de dificuldade e me deu forças para seguir até o final.

Aos membros da banca, o Prof. Dr. Antônio Nélon Rodrigues da Silva e a Prof.^a Dr.^a Renata Cardoso Magagnin pelas avaliações e sugestões que contribuíram fortemente na evolução deste trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro concedido nos primeiros meses de trabalho.

À FAPESP (Processo 2018/10735-1) pelo apoio financeiro concedido nos meses posteriores deste trabalho e também pela contribuição e apoio financeiro desde a época da minha iniciação científica.

Resumo

O trabalho apresentado teve como objetivo principal avaliar as relações entre características espaciais das cidades e a resiliência em relação à mobilidade urbana, considerando os diferentes portes de municípios, em um estudo aplicado para o estado de São Paulo. Para atingir tal objetivo, foi proposto o desenvolvimento de um método de avaliação da resiliência na mobilidade urbana considerando viagens não motorizadas (caminhada e bicicleta), utilizando como inovação a Grade Estatística do IBGE. Em geral, para o modo a pé foi observado que cerca de 46% dos municípios analisados seriam totalmente resilientes, sendo que esta proporção é composta pelos municípios de menor porte. Já os municípios que apresentaram uma baixa resiliência compreendem aproximadamente 11% do total de municípios e são caracterizados por aqueles de maior porte e mais populosos do estado. Para o modo bicicleta a situação é diferente, nota-se que apenas os municípios de São Paulo e Ilhabela apresentam baixa resiliência. Além disso, é observado que 91% dos municípios são totalmente resilientes em relação a esse modo de deslocamento. A partir dos resultados do método, buscou-se relacionar essa resiliência com métricas espaciais das cidades por meio de índices de forma urbana, a saber: Densidade, Concentração, Agrupamento e Centralidade. Dessa maneira, concluiu-se que a Densidade Domiciliar é o parâmetro que mais se destaca, uma vez que quanto maior o porte do município, maior foi o valor observado para essa métrica. Já para as outras métricas (Concentração, Agrupamento e Centralidade), foi observado o oposto, ou seja, foram obtidos os maiores valores para os municípios de menor porte e, conseqüentemente, se mostraram mais compactos. Por fim, a combinação da resiliência na mobilidade com as características espaciais das cidades foi desenvolvida por meio de uma codificação em que ambos os atributos variaram em uma escala de 1 a 5, sendo 1 o valor mais desejável e 5 o valor menos desejável. O melhor cenário, portanto, seria proporcionado pelo valor 11 (ler “um-um”) e o pior cenário seria indicado pelo valor 55 (ler “cinco-cinco”). Além disso, a correlação de Pearson entre os dados de resiliência na mobilidade e de métricas espaciais mostrou que para os municípios de pequeno e médio portes a métrica que obteve a maior relação foi a Centralidade, enquanto que para os municípios de grande porte a métrica que mais se adequou foi a Densidade Domiciliar, sendo que para os municípios metropolitanos a métrica que se enquadrou melhor foi o Agrupamento. Assim, conforme o porte da cidade existe uma métrica que melhor se adequa com os resultados de resiliência na mobilidade.

Palavras-chave: modos não motorizados de transporte, resiliência na mobilidade urbana, forma urbana, métricas espaciais.

Abstract

The objective of this work was to evaluate the relationship between spatial characteristics of cities and the resilience in urban mobility, considering the different sizes of the municipalities, in a study applied to the state of São Paulo. To achieve this objective, we proposed the development of a method for assessing the resilience in urban mobility considering non-motorized trips (walking and cycling), using the Statistical Grid of the Brazilian Institute of Geography and Statistics as an innovation. In general, for walking, we observed that around 46% of the municipalities would be totally resilient, and this proportion corresponds to the smaller municipalities. On the other hand, the municipalities that show a lower resilience comprise approximately 11% of the total and are characterized by the largest and most populous municipalities in the state. For cycling the situation is different. We noted that only the municipalities of São Paulo and Ilhabela present a low resilience rate. In addition, we observed that 91% of the municipalities are totally resilient to this travel mode. In turn, we sought to establish a relationship between this resilience with spatial metrics of the cities through urban form indexes: Density, Concentration, Clustering and Centrality. Thus, we concluded that the household density is the parameter that stands out the most, since the larger the size of the municipality, the higher the value for this metric. For the other metrics (Concentration, Clustering and Centrality), the opposite was observed, that is, the highest values were obtained for smaller municipalities and, consequently, considered more compact. Finally, the combination between the resilience in urban mobility and spatial characteristics of cities was developed through a classification code in which both attributes varied on a scale of 1 to 5, with 1 being the most desirable value and 5 the least desirable. The best scenario would be identified by the value 11 (read “one-one”) and the worst scenario would be indicated by the value 55 (read “five-five”). In addition, Pearson's correlation between resilience in urban mobility data and spatial metrics data showed that, for small and medium-sized municipalities, the metric with the highest value was Centrality, while for large municipalities, the metric that best suited was household density, although for the metropolitan municipalities the metric that best suited was the Clustering. Thus, according to the size of the city, there is a metric that best suits the results of resilience in urban mobility.

Keywords: non-motorized modes of transport, resilience in urban mobility, urban form, spatial metrics.

Índice de Figuras

Figura 1: Constraste entre as diferentes características espaciais das cidades (espalhamento x compactação), adaptado de Dall'Asta (2014).....	11
Figura 2: Grade Estatística sobreposta aos municípios do estado de São Paulo, mostrando o detalhe das células de 1x1 km nas áreas rurais e as células de 200 x 200 m nas áreas urbanas, utilizando como exemplo o município de Borá (figuras sem escala).	18
Figura 3: Município de Borá e o detalhe de suas células urbanas utilizadas para o cálculo da resiliência (sem escala).	20
Figura 4: Unidades espaciais de análise utilizadas para o cálculo das métricas espaciais, tomando como exemplo o município de Borá (sem escala).	27
Figura 5: Resumo dos possíveis cenários para a relação forma urbana x resiliência na mobilidade, com ênfase para os casos de interesse.	32
Figura 6: Resultados da resiliência na mobilidade para o modo de locomoção caminhada (DMP - 5 km), divididos pelos portes dos municípios.	34
Figura 7: Resultados da resiliência na mobilidade para o modo de locomoção bicicleta (DMP - 12 km), divididos pelos portes dos municípios.	35
Figura 8: Resumo dos resultados das métricas espaciais adotadas, divididas pelo porte dos municípios (sem escala).....	39
Figura 9: Relação entre característica espacial (Centralidade) e a resiliência na mobilidade (caminhada e bicicleta), destacando os casos de interesse, para as cidades classificadas como P1.	41
Figura 10: Relação entre característica espacial (Centralidade) e a resiliência na mobilidade (caminhada e bicicleta), destacando os casos de interesse, para as cidades classificadas como P2.	41
Figura 11: Relação entre característica espacial (Centralidade) e a resiliência na mobilidade (caminhada e bicicleta), destacando os casos de interesse, para as cidades classificadas como MED.	42
Figura 12: Relação entre característica espacial (Densidade Domiciliar) e a resiliência na mobilidade (caminhada e bicicleta), destacando os casos de interesse, para as cidades classificadas como G.	43
Figura 13: Relação entre característica espacial (Agrupamento) e a resiliência na mobilidade (caminhada e bicicleta), destacando os casos de interesse, para as cidades classificadas como MET.....	44

Figura 14: Resultados para a métrica Densidade Domiciliar, de acordo com o porte dos municípios.	54
Figura 15: Resultados para a métrica Concentração, de acordo com o porte dos municípios.	55
Figura 16: Resultados para a métrica Agrupamento, de acordo com o porte dos municípios.	56
Figura 17: Resultados para a métrica Centralidade, de acordo com o porte dos municípios.	57
Figura 18: Município de Borá e o detalhe de suas células urbanas de 1 x 1 km (vermelho) formando a base m (sem escala).	58
Figura 19: Município de Borá e o detalhe de suas células urbanas de 200 x 200 m (verde) formando a base s e as células de 1 x 1 km (vermelho) formando a base m (sem escala)... ..	60
Figura 20: Município de Borá e seu CBD (<i>Central Business District</i>), determinado pelo centroide da área urbana do município (base u), além dos centroides (vermelho) das células 1 x 1 km (base m) – sem escala.	63

Índice de Tabelas

Tabela 1: Distâncias máximas possíveis de deslocamento (DMPs) adotadas pelos autores	9
Tabela 2: Contribuições da cidade compacta para a sustentabilidade urbana	13
Tabela 3: Parâmetros utilizados para classificação dos artigos	15
Tabela 4: Classificação dos principais artigos citados	16
Tabela 5: Obtenção da distância média percorrida para se chegar à célula de número 1 ...	21
Tabela 6: Obtenção do índice de acessibilidade E para o município de Borá	22
Tabela 7: Síntese do método	23
Tabela 8: Exemplo de cálculo da resiliência urbana para o município de Borá	23
Tabela 9: Resumo da classificação proposta para a resiliência dos municípios	24
Tabela 10: Resumo da pesquisa de Galster et al. (2001) adaptada de Gonçalves (2011) ...	26
Tabela 11: Divisão dos municípios do estado de São Paulo conforme porte	31
Tabela 12: Valores das maiores correlações de Pearson, separadas pelo porte dos municípios	40
Tabela 13: Valores das variáveis utilizadas para o cálculo da Densidade Domiciliar, conforme células 1 x 1 km (base <i>m</i>)	59
Tabela 14: Valores das variáveis utilizadas para o cálculo da Concentração, conforme células 1 x 1 km (base <i>m</i>)	59
Tabela 15: Resumo da obtenção da densidade de uso do solo para a base <i>m</i> ($D(i)m$).	60
Tabela 16: Resumo da obtenção da densidade de uso do solo para a base <i>s</i> ($D(i)s$)	61
Tabela 17: Resumo da agregação das células 200 x 200 m em relação às células 1 x 1 km correspondentes	62
Tabela 18: Agregação das células 1 x 1 km correspondentes	62
Tabela 19: Valores das variáveis utilizadas para o cálculo da Centralidade, conforme células 1 x 1 km (base <i>m</i>)	64

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	APRESENTAÇÃO DO TEMA.....	1
1.2	OBJETIVO.....	2
1.3	ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	QUESTÃO DO PETRÓLEO E EXPANSÃO URBANA	4
2.2	RESILIÊNCIA NA MOBILIDADE, MODOS NÃO MOTORIZADOS E FORMA URBANA	5
2.3	REVISÃO ESTRUTURADA.....	14
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1	BASES DE DADOS UTILIZADAS E ÁREA DE ESTUDO	17
3.2	RESILIÊNCIA URBANA.....	18
3.2.1	<i>Cálculo da resiliência urbana para os modos não motorizados</i>	<i>18</i>
3.2.2	<i>Exemplo de aplicação do método proposto</i>	<i>20</i>
3.3	CARACTERÍSTICAS ESPACIAIS DAS CIDADES	25
3.3.1	<i>Densidade Domiciliar.....</i>	<i>27</i>
3.3.2	<i>Concentração</i>	<i>28</i>
3.3.3	<i>Agrupamento</i>	<i>29</i>
3.3.4	<i>Centralidade</i>	<i>30</i>
3.4	RELAÇÃO ENTRE RESILIÊNCIA E FORMA URBANA.....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	RESILIÊNCIA URBANA.....	33
4.2	CARACTERÍSTICAS ESPACIAIS DAS CIDADES	38
4.3	RELAÇÃO ENTRE CARCATERÍSTICAS ESPACIAIS DAS CIDADES E RESILIÊNCIA NA MOBILIDADE	40
5	CONCLUSÕES	45
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
	APÊNDICE A – MAPAS DA FIGURA 8	54
	APÊNDICE B – EXEMPLO APLICADO PARA AS MÉTRICAS ESPACIAIS	58

1 INTRODUÇÃO

A seção a seguir aborda uma breve apresentação do tema, com o intuito de introduzir o leitor sobre o assunto, seguido do objetivo principal, que foi o norteador da pesquisa e, por fim, há um item que descreve a estrutura do presente documento.

1.1 Apresentação do tema

A greve dos caminhoneiros que atingiu o Brasil em maio de 2018 durou dez dias e mostrou claramente como as cidades são dependentes dos meios de transporte motorizados. Tal evento reafirma o fato de que as viagens exigem grande consumo dos combustíveis fósseis, ainda que os modelos atuais de planejamento de transporte aparentemente não incluam os impactos da oferta restrita de combustível na demanda de viagens. A falta de combustível fez com que muitas pessoas não conseguissem se locomover, acarretando dificuldades no funcionamento normal das atividades, sobretudo as atividades urbanas. Essa restrição repentina do fornecimento de combustível alertou sobre a dependência mundial do petróleo, que é uma fonte de energia não renovável, ou seja, a oferta desse insumo tende a decrescer com os anos.

Nesse sentido, Fernandes et al. (2017, p. 148) definem a resiliência como “*a capacidade de um sistema de persistir, se adaptar e se transformar, quando exposto a ameaças internas ou externas*”. Mais especificamente, neste mesmo trabalho, os autores introduzem a questão da resiliência na mobilidade, com o intuito de “*compreender a mobilidade urbana frente a ameaças, como aumento inesperado do preço do combustível ou redução da disponibilidade de recursos energéticos*”.

Diante do exposto, nota-se que a maioria das pesquisas relacionadas ao tema da resiliência na mobilidade aborda a utilização do transporte ativo ou não motorizado (caminhada e ciclismo) como a saída mais eficaz para lidar com essas eventuais ameaças que possam impactar no cotidiano dos indivíduos. Sendo assim, a introdução e o incentivo à utilização desses meios não motorizados promovem benefícios não só na parte da mobilidade, mas também no âmbito econômico, social e ambiental (DANIERE, 1999; MACIEL *et al.*, 2012; JONES; NOVO DE AZEVEDO, 2013; REIS *et. al.*, 2013).

Outro fator que contribui para essa vulnerabilidade do setor de transportes é o processo de expansão urbana. Segundo Gonçalves (2011), esse processo teve início na

década de 1940 nos Estados Unidos, quando famílias de classe média transferiram suas residências para as áreas suburbanas. Em geral, essas ocupações eram dispostas principalmente ao longo dos eixos de transporte, ocasionando um aumento nas distâncias de viagem e, conseqüentemente, da utilização de veículos particulares. No Brasil, o processo ocorreu de maneira semelhante, mas existe uma predominância de ocupações de famílias de baixa renda nas áreas mais afastadas.

A partir do exposto, buscou-se estabelecer uma relação entre o espalhamento urbano e o desenvolvimento sustentável e resiliente de uma determinada região, uma vez que o ordenamento territorial impacta diretamente em parâmetros como: consumo energético, impactos ambientais e climáticos e custos de manutenção dos sistemas urbanos. Sendo assim, surge o questionamento do que seria mais desejável: uma cidade mais centralizada e compacta ou uma mais espalhada, com vários núcleos regionais?

Dessa maneira, em princípio, a dispersão urbana deveria ser evitada, sobretudo em países menos desenvolvidos e mais carentes de recursos financeiros, como é o caso do Brasil. Logo, a forma urbana compacta é vista como uma saída viável, pois além de possibilitar alternativas sustentáveis para as cidades, consegue proporcionar o acesso à área urbana de uma forma mais justa para todos os seus cidadãos.

Por outro lado, conforme será mostrado posteriormente, através de uma revisão estruturada da literatura, nota-se que o tema da resiliência urbana em relação à mobilidade e sua articulação com a questão do espalhamento urbano ainda é pouco explorado. Assim, esse tema compõe uma discussão relevante na agenda atual, especialmente ao tratar da escassez de combustíveis. Portanto, com o intuito de somar ao debate sobre o referido assunto, este trabalho visa estabelecer uma relação entre características espaciais das cidades e a resiliência na mobilidade urbana, conforme o porte dos municípios, desenvolvendo um estudo aplicado para o estado de São Paulo.

1.2 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é avaliar as relações entre características espaciais das cidades e a resiliência na mobilidade urbana, considerando os diferentes portes dos municípios, em um estudo aplicado para o estado de São Paulo.

Para se atingir o objetivo geral, existem objetivos específicos como o desenvolvimento de um método de avaliação da resiliência na mobilidade urbana,

considerando viagens não motorizadas (caminhada e bicicleta) e a quantificação do espalhamento urbano dos municípios, com o auxílio de métricas espaciais.

1.3 Estrutura do documento

O trabalho está estruturado da seguinte forma: na próxima seção será apresentada a revisão bibliográfica juntamente com uma tabela resumo da literatura consultada, realizada para identificar tendências de pesquisa sobre o assunto e também possíveis lacunas que ainda não foram abordadas, além de auxiliar na justificativa do trabalho. Posteriormente, o método proposto para o cálculo da resiliência urbana será descrito de forma detalhada, assim como o cálculo das métricas de espalhamento urbano e também a forma de avaliação da relação espalhamento urbano x resiliência na mobilidade. Na sequência, serão apresentados os resultados e as conclusões para os municípios do estado de São Paulo e por fim as referências bibliográficas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seção a seguir é pautada em quatro assuntos relevantes para a pesquisa, respectivamente: questão do petróleo, resiliência urbana, modos não motorizados de deslocamento e forma urbana. No final do capítulo é apresentada uma revisão estruturada sobre os assuntos descritos acima, considerando os principais trabalhos consultados para a redação deste documento.

2.1 Questão do petróleo e expansão urbana

Historicamente, a utilização de combustíveis fósseis como fonte de energia e a crescente popularização e utilização do automóvel particular permitiu a realização de maiores deslocamentos em menor tempo. Esse fato contribuiu para a expansão dos perímetros das cidades e acarretou no denominado espalhamento urbano, que tem como consequências a criação de bairros com baixa densidade populacional e usos restritos do solo (BANISTER, 2008).

Essa tendência de expansão, que teve início nos Estados Unidos durante a década de 1940, foi adotada também por países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Inicialmente, ocorreu a expansão de bairros periféricos e de baixa renda, porém atualmente observa-se a adoção de empreendimentos de alto padrão em regiões mais afastadas dos grandes centros, principalmente por meio de condomínios residenciais fechados (GAKENHEIMER, 1999).

Nesse contexto, é evidente relacionar que o espalhamento urbano e a dependência do uso do transporte motorizado, em especial do automóvel, são causa e consequência um do outro (FREUND, 2014). Tal relação gera desdobramentos de extrema importância para o planejamento urbano: a diminuição do uso de modos ativos ou não motorizados de transporte, mesmo em pequenas distâncias, e o aumento na demanda de combustíveis fósseis como fonte de energia, em especial o petróleo.

Cabe ressaltar que esse insumo, de utilização global, não é renovável e sua oferta tende a decrescer com o passar do tempo. Ou seja, ela atingirá um “pico” de oferta até chegar ao seu esgotamento. Tal questão foi abordada por Krumdieck, Page e Dantas (2010), que trabalharam em um modelo de avaliação probabilística da futura oferta mundial de petróleo.

Logo, essa grande demanda mundial pelo petróleo gera uma dependência preocupante, a qual pode ser claramente exemplificada pela greve dos caminhoneiros que atingiu o Brasil em maio de 2018. Tal situação durou dez dias e acarretou na falta de combustível, fazendo com que muitas pessoas não conseguissem se locomover, prejudicando o funcionamento normal das atividades, sobretudo as atividades urbanas.

O referido evento corrobora o fato de que os modelos atuais de planejamento de transporte aparentemente não incluem os impactos da oferta restrita de combustível na demanda de viagens. Sendo assim, alguns autores (ADAMS; BEKKEM; TOLEDO-DURÁN, 2012; AKBARI; NURUL HABIB, 2014; KRUMDIECK; PAGE; DANTAS, 2010; MARTINS; RODRIGUES DA SILVA, 2017; PELTAN et al., 2017; PHILIPS; WATLING; TIMMS, 2013; RENDALL et al., 2011; STEELE; GLEESON, 2010) desenvolveram pesquisas que visam quantificar as áreas urbanas e sua capacidade de adaptação, ou mais especificamente, sua resiliência, caso eventos parecidos ocorram.

2.2 Resiliência na mobilidade, modos não motorizados e forma urbana

Fernandes et al. (2017, p. 148) definem a resiliência como “*a capacidade de um sistema de persistir, adaptar e se transformar, quando exposto a ameaças internas ou externas*”. Já Ahern (2011, p. 2) define como “*capacidade do sistema de responder a mudanças ou distúrbios sem mudar seu estado básico*”. Ou seja, uma cidade resiliente é uma cidade “*a prova de falhas*” (AHERN, 2011), sustentável. O autor aborda um conjunto de estratégias destinadas a desenvolver a capacidade de resiliência urbana, pautadas em parâmetros como: multifuncionalidade, modularização, diversidade, conectividade e planejamento adaptativo.

Mais especificamente, Fernandes et al. (2017) reforçam o fato de que as pesquisas que tratam do tema resiliência urbana estão relacionadas a desastres naturais ou conflitos geopolíticos, sendo que dificilmente se encontram abordagens relacionadas a sistemas de mobilidade e transportes. Dessa maneira, os autores introduzem a questão da resiliência na mobilidade, com o intuito de “*compreender a mobilidade urbana frente a ameaças, como o aumento inesperado do preço do combustível ou a redução da disponibilidade de recursos energéticos*.” (FERNANDES et al., 2017, p. 148)

Nessa linha de pesquisa, Krumdieck, Page e Dantas (2010) apresentam um método para avaliar o risco inerente às atividades devido a uma oferta de combustível variável, a partir do pressuposto que as demandas de viagens são classificadas em três níveis:

- *Opcionais*: viagens que mesmo eliminadas não influenciam fortemente o cotidiano das pessoas, como por exemplo, viagens de lazer;
- *Necessárias*: representam viagens que se forem eliminadas, causam desconforto no cotidiano, trazendo prejuízos relevantes. Como exemplo, podemos citar as viagens ao supermercado;
- *Essenciais*: viagens que se fossem eliminadas, os indivíduos teriam graves problemas e afetaria o funcionamento normal das atividades, como por exemplo, ir ao trabalho ou à escola.

Portanto, segundo os autores, tal variação na oferta de combustível produz um impacto na sociedade, que é classificado em: baixo (a disparidade de fornecimento não restringe as viagens); médio (as viagens opcionais são eliminadas); alto (as viagens necessárias são eliminadas) e muito alto (viagens essenciais são eliminadas).

O método de análise de risco proposto por Krumdieck, Page e Dantas (2010) foi aplicado para a área urbana de Christchurch (Nova Zelândia). Para o ano de 2041, os resultados revelaram que as pessoas que vivem em formas urbanas dispersas, de baixa densidade, com pouquíssimos destinos acessíveis por transporte público, bicicleta ou caminhada, correm um risco maior de sofrer com variações na oferta de combustível, do que aquelas que vivem em áreas de forma urbana mais compacta, que apresente diversidades de uso e ocupação do solo e um sistema de transporte integrado, com facilidade de acesso aos centros comerciais e geradores de postos de trabalho.

Utilizando a mesma região de estudo, Rendall et al. (2011) introduziram o conceito de acessibilidade em modo ativo (*Active Mode Accessibility - AMA*), definido como a proporção de atividades que podem ser realizadas por modos ativos, a partir dos dados demográficos da população. Os resultados compararam a região de Christchurch, que apresentou uma AMA de 100%, uma vez que a cidade tem uma alta densidade de destinos e usos mistos do solo, com a cidade satélite de Rolleston, que apresentou uma AMA de 59%, principalmente por causa da falta de instalações escolares e uma diversidade insuficiente de destinos para algumas atividades.

Já Peltan et al. (2017) focam sua pesquisa na pressão de adaptação causada por uma mudança repentina no fornecimento de combustível, como um grande aumento de preço ou uma interrupção no suprimento, sendo que tal pressão é quantificada através do consumo

de energia. Dessa forma, em cada passo da simulação, o viajante, devido a pressão para adaptação, muda seu meio de locomoção, visando atingir um estado de deslocamento com menor pressão. A simulação termina com todos os passageiros usando modos de transporte ativos (caminhada, bicicleta) ou parando o deslocamento. Os resultados comprovam que o consumo de energia e a vulnerabilidade têm uma forte relação com a dimensão espacial, revelando diferenças substanciais entre os centros (baixo consumo energético), os subúrbios¹ (alto consumo energético) e as periferias (baixo consumo energético).

Aplicando um método diferente, porém obtendo resultados com distribuições espaciais semelhantes, Akbari e Nurul Habib (2014) procuraram compreender como os impactos socioeconômicos do aumento dos preços dos combustíveis podem ser distribuídos na área urbana da Grande Toronto (Canadá). Os autores utilizaram o índice de vulnerabilidade para o aumento de despesas com gasolina (*vulnerability index for petrol expense rises* - VIPER), incorporando dados de pesquisa de viagens para melhor representar a dependência do transporte motorizado. Os resultados desta pesquisa revelam um padrão na distribuição da vulnerabilidade do petróleo que descreve uma configuração de três anéis: expandindo para fora a vulnerabilidade mais baixa do petróleo no centro urbano (1º anel), seguida pela maior vulnerabilidade nas áreas suburbanas¹ da cidade (2º anel) e uma transição para uma menor vulnerabilidade do petróleo nas áreas periféricas e mais afastadas (3º anel).

Já Philips, Watling e Timms (2013) propõem um método para avaliar a resiliência na "manhã seguinte" ao choque, quando o número de maneiras pelas quais as pessoas podem se adaptar é provavelmente limitado. Dessa forma, modos ativos ou não-motorizados são vistos como a chave para a resiliência, sendo que o resultado é um indicador, definido como a proporção da população de uma área que poderia manter seu deslocamento atual mudando para modos ativos. Tal indicador aborda fatores como a capacidade e tempo máximo disponível pelo usuário para caminhada e utilização da bicicleta, assim como características do meio urbano em que estão inseridos, como localização das origens e destinos, relevo local e infraestrutura disponível.

No Brasil, Martins e Rodrigues da Silva (2017) aplicaram um método para avaliação da resiliência na mobilidade urbana utilizando o município de São Carlos (SP) como estudo de caso. O método utiliza os dados da pesquisa de Origem e Destino e dos diários de viagens dos anos de 2007 e 2008, enquanto considera apenas os modos não

¹ Nos Estados Unidos e no Canadá, um subúrbio é um núcleo urbano localizado nos arredores de um núcleo metropolitano central, onde geralmente vivem famílias de classe média ou alta.

motorizados (caminhada e bicicleta) como disponíveis. Através da simulação de distâncias máximas possíveis (DMP) para esses modos, os autores obtiveram uma variação de cerca de 40% a 100% no nível de resiliência do município, conforme os diferentes cenários simulados.

Diante do exposto, nota-se que na imensa maioria dos trabalhos consultados sobre o tema da resiliência na mobilidade, considerando uma oferta restrita de combustível, os autores citam a utilização do transporte ativo ou não motorizado (caminhada e ciclismo) como a saída mais eficaz para lidar com o problema. Contudo, o incentivo à utilização de tais meios não deve ficar restrito apenas a situações extremas, mas deve ser discutido e implantado gradativamente no meio urbano, uma vez que é considerado um parâmetro fundamental para atingir um padrão de mobilidade sustentável (DANIERE, 1999).

Sendo assim, a introdução e o incentivo à utilização desses meios não motorizados promovem benefícios não só na parte da mobilidade, mas também no âmbito econômico, social e ambiental. Maciel et al. (2012) estimaram, para o Brasil, os potenciais ganhos com a redução do transporte motorizado individual até o ano 2020. Os autores concluíram que, em um cenário conservacionista, priorizando políticas públicas de baixo custo e baixa tecnologia (que incluem a operação de sistemas *Bus Rapid Transit*, caminhada, ciclovias e tarifas de congestionamento, por exemplo), seria possível economizar mais de US\$ 56 bilhões em custos externos de transporte e infraestrutura. Além disso, essas políticas públicas podem economizar mais de 35 milhões de toneladas equivalentes de petróleo no consumo de energia e evitar a emissão de 37.500 toneladas de gases de efeito estufa para a atmosfera.

Ainda nesse panorama nacional, Jones e Novo de Azevedo (2013) analisaram o atual estado sociocultural e político do ciclismo no país, com foco para a cidade de Pelotas, no sul do estado do Rio Grande do Sul. Os autores afirmam que ainda existe certa resistência à utilização desse meio de transporte no Brasil, sendo que os homens adultos de baixa renda compõem a maioria dos usuários (estima-se 85%), enquanto que entre os grupos de média e alta renda a utilização é restrita às atividades esportivas e de lazer, em parques e trilhas recreativas ou em eventos esportivos específicos.

Já Reis et al. (2013) estudaram a frequência de utilização do ciclismo e caminhada como meio de deslocamento e sua associação com fatores pessoais em adultos de três capitais brasileiras (Curitiba, Recife e Vitória). Os resultados mostraram que a utilização média da bicicleta para transporte foi de 13,4% (associado ao sexo masculino, mais jovem

e sem ensino superior) enquanto que 26,6% optaram pela caminhada (associada à ausência de ensino superior).

Cabe ressaltar que a adoção do modo ativo depende de inúmeros fatores, porém o mais relevante e abordado pelos autores é a distância que os indivíduos consideram viáveis para percorrer, tanto pela caminhada, quanto pelo ciclismo. Philips, Watling e Timms (2018) propuseram um método para estimar a capacidade de fazer viagens de bicicleta, considerando especificamente a capacidade física individual (*individual physical capability* - IPC) de todos os indivíduos de uma determinada região. O estudo foi realizado em Leeds (Reino Unido) e o resultado do IPC foi 4,5 km com um desvio de 0,5 km, ou seja, dentro da faixa de 4 a 5 km.

Com relação à caminhada, Saghapour et al. (2017) apresentaram um índice denominado *walking access index* (WAI) para medir a acessibilidade na área metropolitana de Melbourne, na Austrália. No trabalho, os autores dividiram as distâncias das viagens em desejáveis (aquelas que satisfazem metade dos usuários), sendo que o valor utilizado foi de 1 km, e máximas (aquelas em que uma porcentagem significativa de pessoas consideraria inviável viajar regularmente), com o valor utilizado de 2 km.

Assumindo valores de deslocamentos maiores, Krumdieck et al. (2010) adotaram 2 km para o modo a pé e 15 km para o modo de bicicleta, enquanto Martins e Rodrigues da Silva (2017) variaram para o modo a pé de 0 a 4 km e para o modo de bicicleta de 0 a 11 km.

As distâncias utilizadas podem ser sintetizadas na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Distâncias máximas possíveis de deslocamento (DMPs) adotadas pelos autores

Autores	Distância (km)	
	Caminhada	Bicicleta
Krumdieck et al. (2010)	2	15
Martins e Rodrigues da Silva (2017)	0 a 4	0 a 11
Philips, Watling e Timms (2018)	-	4 a 5
Saghapour et al. (2017)	2	-

Com frequência, outros fatores também são considerados, sendo que Philips, Watling e Timms (2018) citaram para a bicicleta:

- *Condição física do indivíduo*: estabelece uma relação direta com a energia e velocidade para pedalar;
- *Disponibilidade e características da bicicleta*: tanto a posse desse meio de transporte quanto suas características específicas (peso, resistência ao vento, dentre outras);
- *Relevo*: presença de subidas ou descidas afeta a percepção de esforço dos indivíduos e influencia diretamente na escolha do meio de locomoção;
- *Clima*: fenômenos que afetam a região, como chuvas, ventos e temperaturas extremas também afetam a escolha do meio que será utilizado.

Rodríguez e Joo (2004) analisaram a relação entre a opção pela caminhada como modo de viagem e os atributos do ambiente físico local na Universidade da Carolina do Norte, em Chapel Hill (Estados Unidos). Uma pesquisa envolvendo estudantes e funcionários da instituição revelou que o relevo e a disponibilidade de calçadas são os fatores mais fortemente associados à atratividade desse modo de deslocamento na região.

Outro fator que exerce influência na escolha do modo ativo de locomoção é a forma urbana, como mostrou Mcmillan (2007) para o estado da Califórnia (Estados Unidos). A magnitude dessa influência e também fatores de forma não-urbanos afetam a escolha do modo de deslocamento das crianças para a escola. Os resultados mostram que a forma urbana é importante, porém não é o único fator que influencia o comportamento da viagem escolar. Outros fatores podem ser iguais ou até mesmo mais importantes, tais como percepções de segurança na vizinhança e no trânsito, além da existência de normas sociais e/ou culturais.

Já Cervero et al. (2009) pesquisaram como as ciclofaixas, juntamente com outros atributos (densidades urbanas, usos mistos do solo, acessibilidade e proximidade ao trânsito), estão associadas ao comportamento de caminhada e ciclismo em Bogotá (Colômbia). Os autores concluíram que a infraestrutura viária e sua conectividade é mais relevante do que outros atributos do solo, como densidade e variedade de usos.

Diante do apresentado, pode-se estabelecer uma forte relação entre a resiliência na mobilidade, a escolha pela utilização dos meios não motorizados e a infraestrutura e forma urbana de uma região. Sendo assim, muito se tem pesquisado nos últimos anos sobre a relação do espalhamento do espaço urbano e suas relações com o desenvolvimento

sustentável e resiliente de uma cidade (RUEDA, 2002; KNAAP; SONG; NEDOVIC-BUDIC, 2007; BATTY, 2008; HABIBI; ASADI, 2011; SALVATI; RONTOS; MORELLI, 2015; RICE; HANCOCK, 2016; PHILP; TAYLOR, 2017), uma vez que existe uma influência direta no consumo energético, impactos ambientais, climáticos e custos de manutenção do sistema urbano.

Nesse contexto, conforme a Figura 1, surge um grande debate entre o que seria mais adequado: uma cidade espalhada, com pequena densidade e usos restritos do solo ou cidades compactas, com maiores densidades, centros mais desenvolvidos e com usos mistos ou variados do espaço?

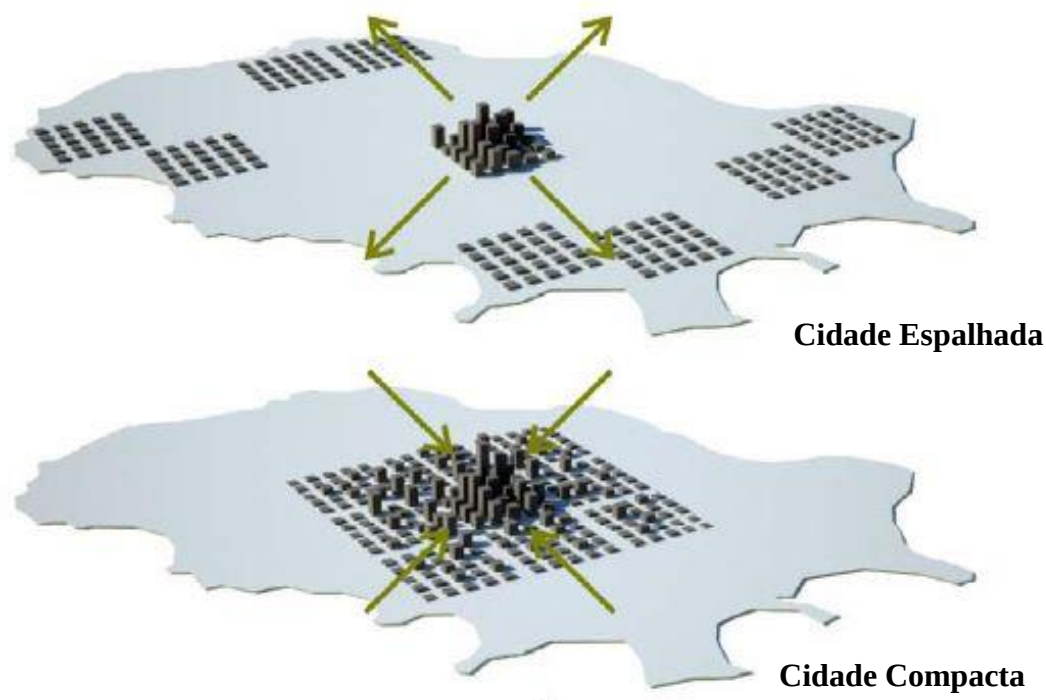


Figura 1: Constraste entre as diferentes características espaciais das cidades (espalhamento x compactação), adaptado de Dall’Asta (2014).

Habibi e Asadi (2011, p. 134) definem espalhamento urbano como sendo o “desenvolvimento de baixa densidade para além da borda dos serviços e dos empregos, que separa os locais onde as pessoas vivem dos locais de compras, trabalhos, recreação e educação, portanto, necessitam de carros para se mover entre as zonas”. Ainda segundo os mesmos autores, após um processo de mensuração desse espalhamento, baseado nas métricas propostas por Galster et. al. (2001), concluíram que a expansão gera uma

necessidade de investir em infraestruturas adicionais, gera mais viagens, diminui a utilização do solo para agricultura e reduz as interações sociais.

Para Rueda (2002, p. 6), as cidades compactas “*apresentariam uma continuidade formal, seriam multifuncionais, heterogêneas e apresentariam diversidade em toda a sua extensão*”, podendo dessa maneira impactar na economia de solo, energia e recursos materiais, auxiliando na preservação dos sistemas agrícolas e naturais.

Ewing e Hamidi (2015) debatem os dois casos de ordenamento espacial (espalhamento x compactação), citando pesquisas e os argumentos nelas presentes, porém os autores acabam defendendo a compactidade como uma forma mais viável de organização.

Já Cervero e Radisch (1996) vão além, ou seja, eles comparam os deslocamentos e as divisões modais entre dois bairros na área da Baía de São Francisco (Estados Unidos), sendo que o bairro mais compacto e de uso misto apresentou em torno de 10% a mais de viagens não voltadas para o trabalho sendo feitas por modos a pé ou de bicicleta.

A relação entre forma urbana e a saúde dos indivíduos foi estudada por McCan e Ewing (2003), que observaram o fato de que as pessoas que vivem em cidades mais espalhadas se deslocam menos a pé, estão acima do peso e tendem a desenvolver mais doenças crônicas relacionadas ao sedentarismo. Convém salientar que mesmo destinando parte de seu tempo para as atividades físicas, as pessoas que viviam em áreas mais espalhadas tinham mais problemas com o peso, provavelmente pelo fato de que atividades cotidianas, como andar até o trabalho ou pedalar até a escola eram menos praticadas.

Diante do exposto, segundo a *Organisation for Economic Co-Operation and Development* (OECD – GREEN GROWTH STUDIES, 2012) pode-se resumir os benefícios da cidade compacta e sua contribuição para a sustentabilidade urbana conforme a Tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Contribuições da cidade compacta para a sustentabilidade urbana

BENEFÍCIOS	
Ambientais	Distâncias de deslocamento mais curtas e menor dependência do uso do automóvel, auxiliando na redução do consumo de energia e emissão de CO ₂ .
	Conservação de áreas agrícolas e da biodiversidade no entorno das cidades.
	Maiores oportunidades para as ligações rural-urbano. A área de cultivo mais próxima estimula o consumo de alimentos produzidos localmente, reduzindo a necessidade de transporte.
Econômicos	Aumento da eficiência dos investimentos em infraestrutura e redução dos custos de manutenção (transporte, energia, abastecimento de água e gestão de resíduos).
	Facilidade de acesso a uma diversidade de serviços locais e postos de trabalho.
	Gera novas necessidades por soluções mais sustentáveis, que promovem o desenvolvimento e inovações tecnológicas, estimulando assim o crescimento econômico.
Sociais	Menores distâncias significam menores custos de transporte, facilitando a mobilidade da população de baixa renda.
	Serviços locais e postos de trabalhos mais próximos contribuem para uma melhor qualidade de vida.
Fonte: Traduzido e adaptado de OECD – GREEN GROWTH STUDIES (2012)	

Em virtude do exposto, a dispersão urbana deveria ser evitada, sobretudo em países menos desenvolvidos e mais carentes de recursos financeiros, como é o caso do Brasil. Logo, a forma urbana compacta é vista como uma saída viável, pois além de possibilitar alternativas sustentáveis para as cidades, consegue proporcionar o acesso à área urbana de uma forma mais justa para todos os seus cidadãos.

Portanto, surge a necessidade de propor metodologias de quantificação e análise do processo de espalhamento urbano. Bereitschaft e Debbage (2014) identificaram inúmeras técnicas quantitativas utilizadas para avaliar a forma urbana, que dependeram de dados demográficos, uso do solo / cobertura do solo (LULC, do inglês: *land use / land cover*), ou um híbrido de ambos.

Em uma abordagem demográfica, a densidade populacional ou densidade de domicílios são as variáveis mais utilizadas para avaliar a morfologia urbana (LOPEZ; HYNES, 2003; SUTTON, 2003; TSAI, 2015). Já os métodos baseados em sistemas de classificação do uso e cobertura do solo (LULC) geralmente abordam o uso de métricas espaciais ou paisagísticas (DEBBAGE; BEREITSCHAFT; SHEPHERD, 2017).

Por fim, as técnicas híbridas também foram desenvolvidas, mais comumente na forma de índices compostos que combinam dados de uso da terra e informações demográficas (COSTA, 2008; GALSTER et al., 2001; EWING; PENDALL; CHEN, 2003; SONG; KNAAP, 2004; JAEGER; SCHWICK, 2014).

Independentemente do método adotado para a quantificação do espalhamento urbano, a análise posterior dos resultados auxilia os responsáveis pelo planejamento urbano no processo de monitoramento e melhoria das políticas de ordenamento do território e consequentemente no quesito de sustentabilidade das cidades.

2.3 Revisão Estruturada

Com base no que foi apresentado, essa revisão bibliográfica pode dividir o presente trabalho em quatro tópicos principais, que seriam: a questão da dependência dos combustíveis fósseis e sua tendência de diminuição na oferta, a resiliência na mobilidade urbana, a utilização de modos não motorizados de deslocamento e a análise das características espaciais, ou seja, da forma urbana das cidades.

Por meio do método proposto por De Camargo Fiorini e Jabbour (2017), apresenta-se uma versão sintetizada de uma revisão estruturada sobre o assunto, abordando os artigos utilizados no texto acima e suas contribuições para o estado da arte do assunto em questão. A Tabela 3 introduz os parâmetros utilizados para a classificação. Já na Tabela 4 estão os artigos e suas classificações, relacionado-os com os parâmetros fornecidos pela Tabela 3.

Em resumo, conforme mostra a literatura internacional, nota-se que o tema de resiliência no transporte e mobilidade urbana ainda foi pouco explorado, sendo que a maioria das pesquisas encontradas está focada em países desenvolvidos, onde a expansão urbana ocorreu de forma distinta daquela encontrada no Brasil, tendo como única exceção o trabalho de Martins e Rodrigues da Silva (2017). Entretanto, o tema compõe uma discussão relevante na agenda atual, especialmente ao se tratar da escassez do combustível e da inserção de meios ativos no deslocamento das pessoas, visando relacionar os resultados obtidos com as características espaciais das cidades e seus respectivos portes.

Tabela 3: Parâmetros utilizados para classificação dos artigos

Classificação	Significado	Categorias
1	Contexto	A - País Desenvolvido
		B - País em Desenvolvimento
		C - Não Definido
2	Foco / Setor Analisado	A- Resiliência Urbana
		B - Forma Urbana
		C - Mobilidade Urbana
		D - Sustentabilidade
		E - Meios de transporte não motorizados
		F - Dependência de combustíveis fósseis
		G - Acessibilidade
3	Abordagem do Assunto	A - Quantitativa
		B - Qualitativa
		C - Conceitual ou Teórica
		D - Revisão da Literatura (Review)
4	Contribuição	A - Infraestrutura Urbana
		B - Planejamento de Transportes
		C - Ambiental
		D - Econômica
		E - Social

Tabela 4: Classificação dos principais artigos citados

Referência	Categorias																			
	1			2							3				4					
	A	B	C	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	A	B	C	D	E	
Adams et. al. (2012)	*			*							*						*			
Ahern (2011)			*	*			*						*		*	*	*	*	*	
Akbari e Habib (2014)	*									*	*				*	*	*	*	*	
Banister (2008)			*			*							*				*			
Cervero e Radisch (1996)	*				*	*		*			*		*		*					
Cervero et. al. (2009)		*			*	*	*	*				*	*	*	*	*				
Costa (2008)		*				*	*	*			*		*				*			
Dall’Asta (2014)			*		*	*	*					*	*		*				*	
Daniere (1999)			*				*	*					*			*	*			
Ewing e Hamidi (2015)	*				*									*	*					
Fernandes et. al. (2017)			*	*			*		*				*				*	*	*	
Freund (2014)			*					*	*				*		*	*	*	*	*	
Gakenheimer (1999)		*				*						*	*				*		*	
Galster et. al. (2001)	*				*						*		*		*					
Habibi e Asadi (2011)			*		*		*					*	*	*	*		*	*	*	
Jones e Azevedo (2013)		*				*		*				*	*			*			*	
Krumdieck et. al. (2010)	*			*	*					*	*	*	*		*	*			*	
Maciel et. al. (2012)		*				*	*				*	*			*	*	*	*	*	
Martins e Silva (2017)		*		*		*		*			*				*	*	*			
McMillan (2007)	*				*			*			*	*				*			*	
Peltan et. al. (2017)	*				*				*		*				*	*	*	*	*	
Philips et. al. (2013)			*	*				*	*			*	*			*			*	
Philips (2018)	*					*		*			*				*	*			*	
Philp e Taylor (2017)			*			*	*	*	*			*	*				*	*	*	
Reis et. al. (2013)		*						*			*				*				*	
Rendall et. al. (2011)	*			*	*			*	*		*				*	*				
Rodríguez e Joo (2004)	*			*		*		*			*					*			*	
Rueda (2002)			*		*							*	*	*	*	*		*	*	
Saghapour et. al (2017)	*					*		*		*	*				*				*	
Steele e Gleeson (2010)	*			*					*			*	*					*	*	
SOMA	13	7	10	9	11	13	9	15	8	1	15	12	18	3	18	19	11	10	20	

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção apresenta a proposta para avaliação da resiliência na mobilidade urbana, considerando meios de locomoção não motorizados (caminhada e bicicleta). A primeira parte aborda a região de estudo e as bases de dados utilizadas. Já a segunda parte trata do cálculo da resiliência urbana para modos não motorizados, enquanto a terceira parte aborda o cálculo de métricas espaciais, pautadas no trabalho de Galster et. al. (2001). Por fim, é descrito o procedimento utilizado para analisar as relações entre características espaciais e a resiliência na forma urbana.

3.1 Bases de dados utilizadas e área de estudo

No estudo em questão, a principal base de dados utilizada foi a Grade Estatística, com base no censo do IBGE de 2010. A Grade Estatística divide o território brasileiro em células de 200 x 200 m nas áreas urbanas e em células de 1 x 1 km nas áreas rurais, permitindo a recuperação de informações acerca da população (total e por sexo) e do número de domicílios para diversos recortes espaciais, independentes das unidades político-administrativas. A área de estudo compreendeu todos os municípios localizados no estado de São Paulo.

Além da Grade Estatística, foi utilizada uma base geográfica com a subdivisão administrativa dos municípios. Essa base serviu para efetuar a agregação dos dados relativos de cada célula em dados totais para os municípios de análise. A fonte de obtenção dessa base de municípios também foi o IBGE. A Figura 2 ilustra a base de dados da grade sobreposta à base de dados contendo os limites dos municípios, mostrando com detalhes a resolução da grade.

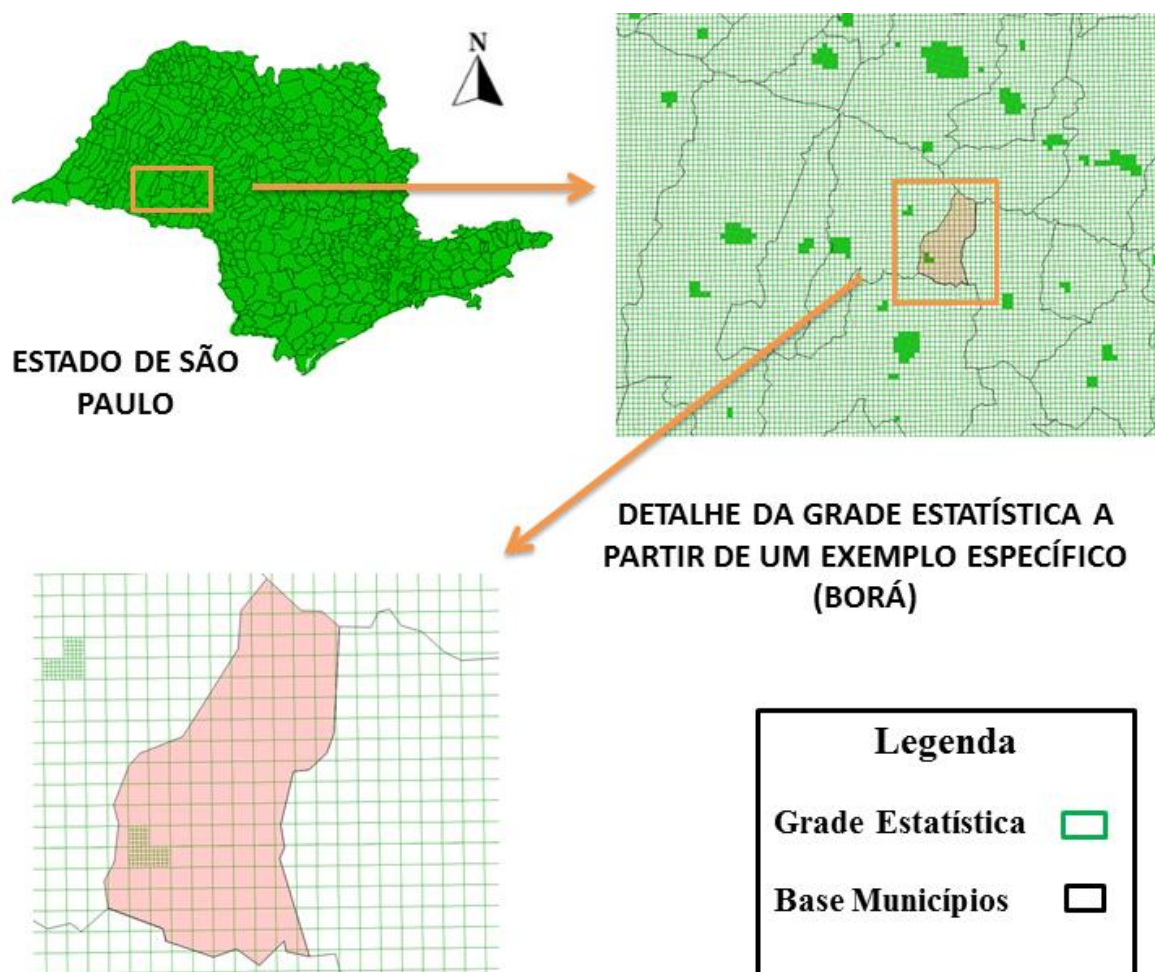


Figura 2: Grade Estatística sobreposta aos municípios do estado de São Paulo, mostrando o detalhe das células de 1x1 km nas áreas rurais e as células de 200 x 200 m nas áreas urbanas, utilizando como exemplo o município de Borá (figuras sem escala).

3.2 Resiliência Urbana

A seção a seguir é dividida em duas partes: a primeira detalha o procedimento para o cálculo da resiliência urbana para os meios não motorizados (caminhada e bicicleta), enquanto a segunda parte mostra a aplicação desse método, através de um exemplo para o município de Borá.

3.2.1 Cálculo da resiliência urbana para os modos não motorizados

O método proposto avalia a possibilidade de a pessoa percorrer certas distâncias apenas caminhando ou de bicicleta. Com base em Martins e Rodrigues da Silva (2017, p. 78), pode-se assumir que existe uma distância máxima possível (DMP) limitando as

peessoas a percorrerem distâncias maiores do que tais valores, considerando-se tanto o modo a pé como o modo bicicleta. Ainda segundo esses autores, “*a única condição ao estipular as DMPs é que o modo a pé deverá ter uma distância menor ou igual ao modo bicicleta, nunca maior*”.

Utilizando-se a Grade Estatística, foram calculadas as distâncias, baseadas na malha viária, entre os pares origem-destino dos centroides das células da grade, com o auxílio de um SIG (Sistema de Informação Geográfica), sendo que neste trabalho foi utilizado o *software* Maptitude. Esses valores foram, entretanto, limitados a uma DMP de 5 e 12 km para caminhada e bicicleta, respectivamente. A adoção desses valores foi feita com base na literatura, conforme está detalhado na Tabela 1. Cabe ressaltar que para o modo a pé, as células utilizadas foram as de 200 x 200 m, enquanto para o modo bicicleta as células urbanas foram agregadas no formato 1 x 1 km para efetuar os cálculos. Isso foi feito para viabilizar a capacidade de processamento computacional necessária para os pares origem-destino referentes à bicicleta, uma vez que há mais dados a serem computados quando se considera uma distância limite de 12 km.

Na sequência, os valores de distâncias medidos entre os pares origem-destino dos centroides das células foram agregados por município. Essa agregação foi efetuada com base na média aritmética dos referidos valores, seguindo a ideia de um indicador de acessibilidade global proposto por Allen et al. (1993), como ilustra a Equação 1. Na proposta do estudo, a acessibilidade pode ser definida como “*uma medida de esforço para superar a separação espacial entre dois pontos dentro de uma área*” (ALLEN et al., 1993, p. 444). Portanto, este termo pode ser resumido na disponibilidade que as pessoas têm para utilizarem algum sistema de transportes, que neste caso são os modos não-motorizados.

$$E = \frac{1}{N} \sum_i^N \frac{1}{N-1} \sum_j^N D_{ij}, \text{ para } i \neq j \quad (1)$$

em que E : índice de acessibilidade global [km];

D_{ij} : distância entre os pares origem (i) e destino (j) dos centroides [km];

N : número de células existentes no município.

Foram calculados, portanto, os valores de E para os respectivos municípios da área de estudo, tanto para o deslocamento através da caminhada quanto através da bicicleta. Com esses valores, foi possível obter uma área circular hipotética que um município

poderia ser atendido apenas por modos não motorizados. Calculando-se a proporção entre essa área e a área urbanizada do município, obteve-se a medida de resiliência urbana, conforme a proposta deste estudo.

3.2.2 Exemplo de aplicação do método proposto

Para exemplificar o método foi utilizado o município de Borá e suas 75 células urbanas, como mostra a Figura 3. Cabe ressaltar que para esse exemplo, a DMP adotada foi de 5 km.

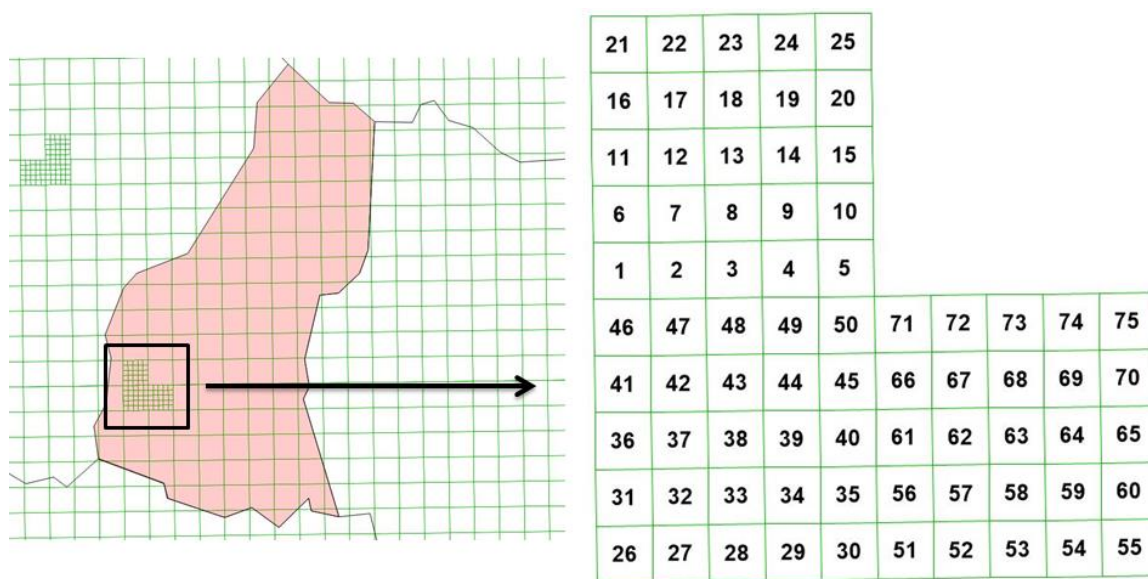


Figura 3: Município de Borá e o detalhe de suas células urbanas utilizadas para o cálculo da resiliência (sem escala).

Com o auxílio do SIG, através do comando de medir a distância entre os centroides das células, foi possível obter uma tabela geral para o município, que contém a distância de todos os pares origem-destino possíveis.

Após a obtenção dessa tabela foi necessário agregar os dados através de seu destino, com o intuito de obter uma distância média de deslocamento para se chegar a cada célula do município. Na Tabela 5 a seguir é demonstrado como obter a distância média percorrida pelos indivíduos para se chegar à célula de número 1, mostrada na Figura 3.

Tabela 5: Obtenção da distância média percorrida para se chegar à célula de número 1

Origem (i)	Destino (j)	Distância [km]	Origem (i)	Destino (j)	Distância [km]
2	1	0,03	44	1	0,84
3	1	0,37	45	1	0,83
4	1	0,54	46	1	0,83
5	1	0,73	47	1	0,48
6	1	0,25	48	1	0,51
7	1	0,18	49	1	0,74
8	1	0,40	50	1	0,87
9	1	0,45	51	1	1,67
10	1	0,79	52	1	1,83
11	1	0,41	53	1	2,11
12	1	0,38	54	1	2,28
13	1	0,30	55	1	2,40
14	1	0,45	56	1	1,60
15	1	1,25	57	1	1,87
16	1	0,60	58	1	2,07
17	1	0,59	59	1	2,26
18	1	0,57	60	1	2,45
19	1	0,45	61	1	1,54
20	1	1,45	62	1	1,88
21	1	0,78	63	1	2,16
22	1	0,80	64	1	2,34
23	1	0,82	65	1	2,53
24	1	0,85	66	1	0,85
25	1	1,65	67	1	1,93
26	1	1,33	68	1	2,24
27	1	1,21	69	1	2,42
28	1	1,08	70	1	2,61
29	1	1,19	71	1	0,87
30	1	1,49	72	1	0,98
31	1	1,16	73	1	1,01
32	1	1,05	74	1	2,51
33	1	1,00	75	1	2,66
34	1	1,22	Soma - Distâncias		88,06
37	1	0,85	Média Destino		88,06/74
38	1	0,81	Média Destino		1,19
39	1	0,81			
40	1	1,38			
41	1	0,75			
42	1	0,65			
43	1	0,61			

Tal procedimento é realizado para todas as células do município, tendo cada célula uma distância média de destino. Após esse procedimento, é obtida uma média desses destinos, que seria uma média geral da distância de deslocamento dentro do município como

um todo, sendo que tal medida é denominada como índice de acessibilidade E, baseado na pesquisa de Allen et al. (1993) e exemplificada pela equação número 1. A Tabela 6 detalha essa etapa do método para o município de Borá.

Tabela 6: Obtenção do índice de acessibilidade E para o município de Borá

Destino (i)	Média Destinos ($\overline{D}_i$) [km]	Destino (i)	Média Destinos ($\overline{D}_i$) [km]	Destino (j)	Média Destinos ($\overline{D}_j$) [km]
1	1,19	27	1,41	53	1,56
2	1,18	28	1,05	54	1,72
3	1,13	29	1,09	55	1,84
4	1,26	30	1,20	56	1,24
5	1,42	31	1,36	57	1,37
6	1,35	32	1,26	58	1,52
7	1,29	33	1,03	59	1,67
8	1,49	34	1,10	60	1,81
9	1,57	35	1,16	61	1,21
10	1,47	36	1,24	62	1,38
11	1,47	37	1,21	63	1,57
12	1,44	38	0,99	64	1,72
13	1,40	39	1,15	65	1,88
14	1,57	40	1,14	66	1,24
15	1,87	41	1,13	67	1,40
16	1,62	42	1,03	68	1,63
17	1,61	43	0,98	69	1,79
18	1,60	44	1,17	70	1,95
19	1,57	45	1,17	71	1,27
20	2,08	46	1,21	72	1,63
21	1,77	47	1,05	73	1,66
22	1,79	48	1,05	74	1,87
23	1,81	49	1,18	75	2,00
24	1,83	50	1,27	Soma - Médias 108,00	
25	2,28	51	1,28	Índice E 108,00/75	
26	1,53	52	1,35	Índice E 1,44	

Sendo assim, a Tabela 7 apresenta uma síntese do método até a obtenção do índice de acessibilidade E.

Tabela 7: Síntese do método

Origem (<i>i</i>)	Destino (<i>j</i>)	Distância [km]	Média Destinos ($\overline{D_j}$) [km]	Média Município (<i>E</i>) [km]
2	1	0,03	1,19	1,44
3	1	0,37		
.	.	.		
.	.	.		
.	.	.		
74	1	2,51		
75	1	2,66		
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
1	75	2,54	2,00	
2	75	2,52		
.	.	.		
.	.	.		
.	.	.		
73	75	3,18		
74	75	0.15		

Por fim, a Tabela 8 apresenta os procedimentos para a obtenção da medida de resiliência urbana, calculada por meio da proporção entre a área circular hipotética (com raio igual a *E*) e a área urbanizada do município.

Tabela 8: Exemplo de cálculo da resiliência urbana para o município de Borá

Município	E (raio) [km]	Área da Circunferência ($\pi.E^2$) [km ²]	Área Urbanizada [km ²]	Resiliência (A_{CIRC}/A_{URB}) [%]
Borá	1,44	6,51	3,01	216,3

No exemplo em questão, a área da circunferência obtida é maior que a área urbanizada do município, portanto a resiliência resultou maior que 100%, ou seja, o município é totalmente resiliente considerando uma DMP de 5 km. Sendo assim, os valores maiores que 100%, neste trabalho, serão enquadrados na classe de resiliência 100%, ou seja, municípios totalmente resilientes.

Assim, para este trabalho, foi proposto uma classificação da resiliência em cinco níveis, indicados por cores, sendo que o último nível buscou enfatizar os municípios que são totalmente resilientes (resiliência 100% ou maior). A Tabela 9 resume a classificação utilizada.

Tabela 9: Resumo da classificação proposta para a resiliência dos municípios

Intervalo de resiliência	Cor
Menor ou igual a 25%	
26% - 50%	
51% - 75%	
76% - 99%	
Maior ou igual a 100%	

3.3 Características espaciais das cidades

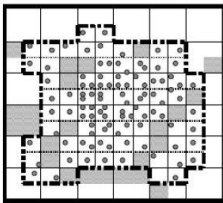
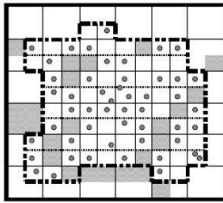
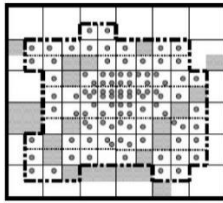
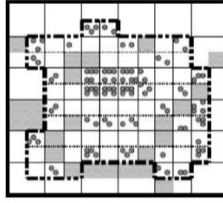
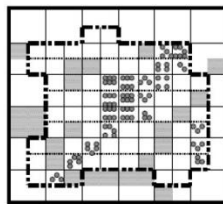
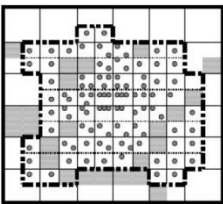
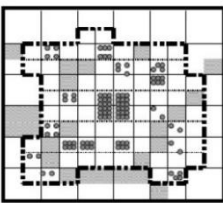
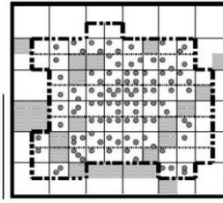
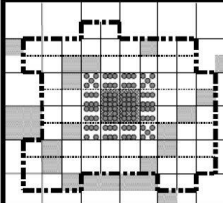
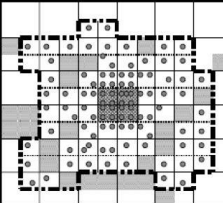
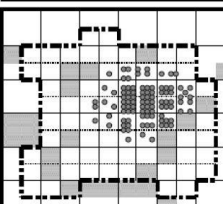
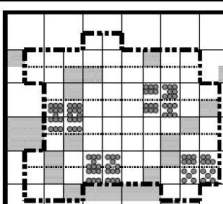
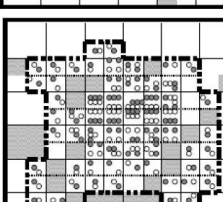
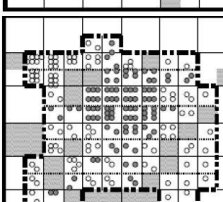
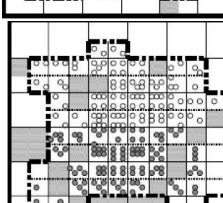
A análise da resiliência aborda também como as características espaciais das cidades (ou forma urbana) influenciam na mobilidade e na consequente sustentabilidade dos municípios. Para isso, alguns indicadores de espalhamento urbano são considerados, fundamentados no trabalho de Galster et al. (2001). Este trabalho pode ser tratado como um marco no processo de mensuração da área urbana, uma vez que explora outras dimensões da dispersão urbana, não apenas a densidade populacional. Mais precisamente, Galster et al. (2001) propõem a utilização de oito métricas espaciais para quantificar o espalhamento urbano, sendo elas: Densidade, Continuidade, Concentração, Agrupamento, Centralidade, Nuclearidade, Proximidade e Diversidade. A Tabela 10 apresenta um resumo dos indicadores propostos por Galster et al. (2001), adaptado de Gonçalves (2011).

Tomando como base essas definições e em virtude da base utilizada não conter dados relativos a outros usos do solo (comercial, industrial, lazer, dentre outros), as análises foram realizadas apenas com dados residenciais. Portanto, das métricas propostas por Galster et al. (2001), apenas quatro delas foram utilizadas (densidade domiciliar, agrupamento, concentração e centralidade), todas com o objetivo de quantificar o espalhamento urbano das cidades do estado de São Paulo.

Na sequência, é apresentada a forma de operacionalização de cada métrica. Cabe destacar que quanto maior for o valor obtido para cada métrica abordada, esperam-se níveis de espalhamento mais baixos, ou seja, que representam cidades mais compactas.

Por fim, enfatiza-se que as unidades espaciais de análise (*s*, *m* e *u*) propostas por Galster et al. (2001) foram adaptadas, em virtude da base utilizada (Grade Estatística do IBGE) neste trabalho. Portanto, a Figura 4 detalha tais unidades, mostrando o município de Borá, sendo que um exemplo aplicado para cada métrica está disponível no Apêndice B.

Tabela 10: Resumo da pesquisa de Galster et al. (2001) adaptada de Gonçalves (2011)

Métrica	Definição	Representação Gráfica			
Densidade	Número de unidades residenciais por medida (km ²) de área disponível para urbanização	alta densidade		baixa densidade	
Continuidade	Grau de continuidade da área disponível para urbanização	alta contin.		baixa contin.	
Concentração	Grau de concentração da urbanização	alta concent.		baixa concent.	
Agrupamento	Grau de agrupamento das áreas urbanizadas	alto agrupam.		baixo agrupam.	
Centralidade	Proporção de áreas residenciais localizadas próximas ao CBD	alta centralid.		baixa centralid.	
Nuclearidade	Grau em que uma área se caracteriza por múltiplos núcleos	alta nucl.		baixa nucl.	
Diversidade	Diversidade (mistura) de usos do solo	alta diversid.		baixa diversid.	
Proximidade	Grau de proximidade entre diferentes usos do solo	alta proxim.		baixa proxim.	

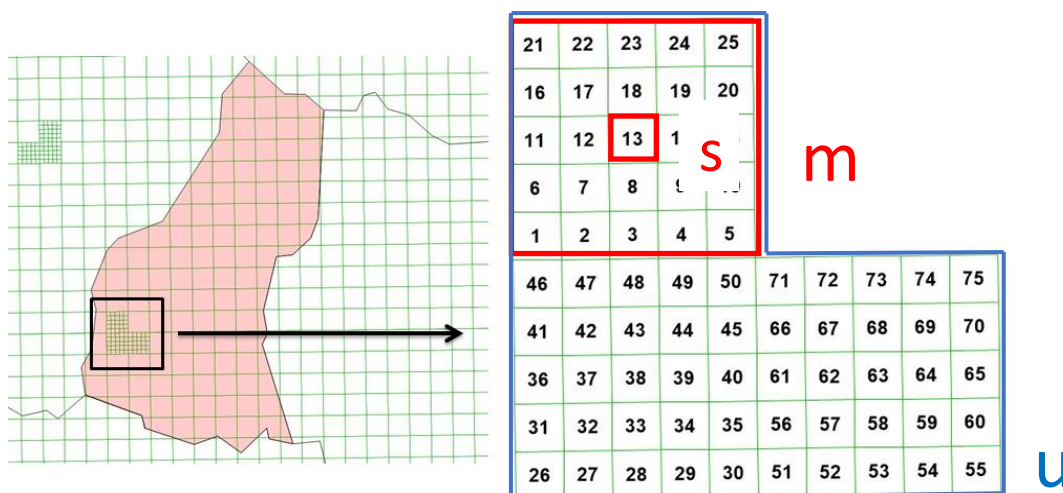
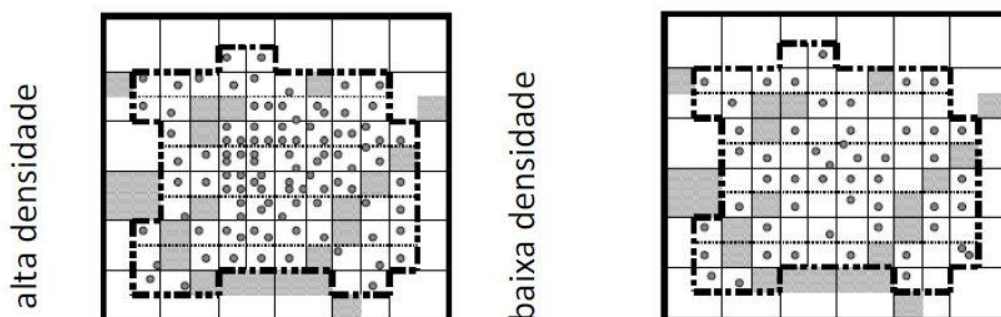


Figura 4: Unidades espaciais de análise utilizadas para o cálculo das métricas espaciais, tomando como exemplo o município de Borá (sem escala).

3.3.1 *Densidade Domiciliar*

Definição: Número de unidades residenciais por medida (km²) de área disponível para urbanização (domicílios/km²).



Unidade de Análise: Células 1 x 1 km (células *m* da Figura 4).

Operacionalização:

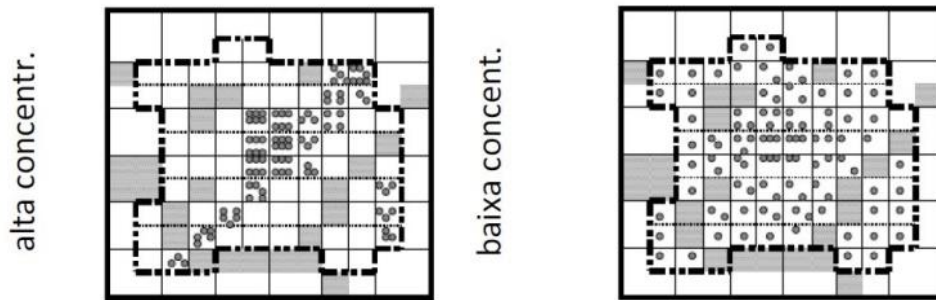
$$D(i)u = T(i)u/Au \quad (2)$$

Onde,

- $T(i)u$ – o número total de observações (domicílios) de acordo com o uso do solo i (residencial), dentro de u .
- Au – área total de u , sendo neste caso a área urbana dos municípios delimitada pela Grade Estatística do IBGE.
- u – área urbana do município delimitada pela Grade Estatística do IBGE.

3.3.2 **Concentração**

Definição: Mede o grau de concentração dos domicílios em determinada região, podendo o resultado variar de zero até um. O índice utilizado neste caso é o Índice Delta, descrito pela equação 3.



Unidade de Análise: Células 1 x 1 km (células m da Figura 4).

Operacionalização:

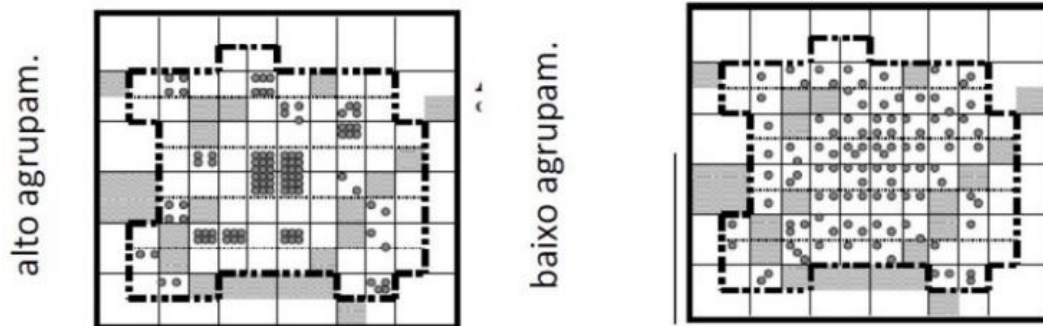
$$DELTA(i)u = \left(\frac{1}{2} \right) \sum_{m=1}^M \left| \left[\frac{T(i)m}{T(i)u} \right] - \left[\frac{Am}{Au} \right] \right| \quad (3)$$

Onde,

- $T(i)m$ – o número total de observações (domicílios) de acordo com o uso do solo i (residencial) dentro de m .
- $T(i)u$ – o número total de observações (domicílios) de acordo com o uso do solo i (residencial), dentro de u .
- m – a escala espacial média utilizada na análise, que nesta pesquisa serão as células 1 x 1 km, sendo cada uma delas designada por um número (1, 2, 3, ..., M).
- M – número total de células m dentro da área urbana u .
- u – área urbana do município delimitada pela Grade Estatística do IBGE.

3.3.3 Agrupamento

Definição: Mede o grau de agrupamento dos domicílios dentro de uma área estabelecida, neste caso analisando as células de 200 x 200 m dentro daquelas de 1 x 1 km.



Unidade de Análise: Células 200 x 200 m (células *s* da Figura 4) e 1 x 1 km (células *m* da Figura 4).

Operacionalização:

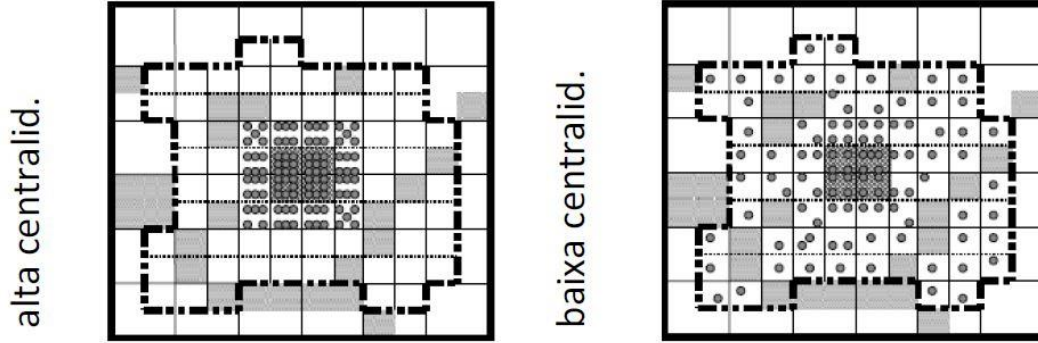
$$CLUS(i)_u = \frac{[\sum_{m=1}^M (\sum_{s=1}^{25} [D(i)s - D(i)m]^2 / 25)^{0,5} / M]}{[\sum_{m=1}^M D(i)m / M]} \quad (4)$$

Onde,

- $D(i)m$ – densidade do uso do solo *i* (residencial) dentro da área *m* ($T(i)m / A_m$).
- $D(i)s$ – densidade do uso do solo *i* (residencial) dentro da área *s* ($T(i)s / A_s$).
- *m* – a escala espacial média utilizada na análise, que nesta pesquisa serão as células 1 x 1 km, sendo cada uma delas designada por um número (1, 2, 3, ..., *M*).
- *M* – número total de células *m* dentro da área urbana *u*.
- *s* – a menor escala espacial utilizada na análise, que nesta pesquisa serão as células 200 x 200 m, sendo cada uma delas designada por um número (1, 2, 3, ..., *S*).
- *S* – número total de células *s* dentro da área urbana *u*.

3.3.4 Centralidade

Definição: Mede a distância de um determinado uso do solo até o CBD (*central business district*) do município, que neste trabalho foi adotado como o centroide da área urbanizada do município (u), delimitada pela Grade Estatística do IBGE.



Unidade de Análise: Células 1 x 1 km (células m da Figura 4).

Operacionalização:

$$CBDDIST = \frac{T(i)u Au^{0,5}}{\sum_{m=1}^M F(CBD, m)T(i)m} \quad (5)$$

Onde,

- $T(i)u$ – o número total de observações (domicílios) de acordo com o uso do solo i (residencial), dentro de u .
- $T(i)m$ – o número total de observações (domicílios) de acordo com o uso do solo i (residencial) dentro de m (que também está dentro de u).
- m – a escala espacial média utilizada na análise, que nesta pesquisa serão as células 1 x 1 km, sendo cada uma delas designada por um número (1, 2, 3, ..., M).
- M – número total de células m dentro da área urbana u .
- Au – área total de u , sendo neste caso a área urbana dos municípios delimitada pela Grade Estatística do IBGE.
- $F[CBD, m]$ – distância entre o CBD e o centroide da célula m .

3.4 Relação entre resiliência e forma urbana

A partir do exposto, a relação entre resiliência e forma urbana dos municípios foi analisada conforme o porte dos mesmos, tendo sido utilizada a divisão proposta pela Secretaria de Desenvolvimento Social do estado de São Paulo², que está resumida na tabela 11:

Tabela 11: Divisão dos municípios do estado de São Paulo conforme porte

Porte	Sigla	Nº de Habitantes	Nº de Municípios
Pequeno 1	P1	Até 20.000	401
Pequeno 2	P2	20.001 a 50.000	120
Médio	MED	50.001 a 100.000	49
Grande	G	100.001 a 900.000	72
Metrópole	MET	Acima de 900.000	3

O método proposto de avaliação da relação entre resiliência na mobilidade e forma urbana dos municípios utilizou uma escala de 1 a 5, para ambos os atributos, sendo o valor 1 representativo da situação que é a mais desejável, ou seja, cidades resilientes e compactas, enquanto que o valor 5 representaria a situação inversa, ou seja, cidades com baixa resiliência e espalhadas.

Sendo assim, para a resiliência na mobilidade urbana, o valor 1 representa os municípios que apresentam 100% ou mais de resiliência, enquanto o valor 5 representa municípios que apresentam resiliência menor ou igual a 25%.

Já as métricas espaciais foram classificadas em percentis, ou seja, em cinco classes que representam 20% dos municípios. Portanto, o valor 1 representa os 20% de municípios com os maiores valores da métrica, ou seja, aqueles que segundo Galster et. al. (2001) apresentariam as formas mais compactas. O inverso ocorre para aqueles municípios classificados com o valor 5, ou seja, são os 20% que apresentam as menores métricas, portanto, seriam os que apresentariam maior grau de espalhamento urbano.

Dessa maneira, para avaliar a relação entre resiliência e forma urbana, os municípios receberam uma codificação que varia de 11 (ler “um-um”) até 55 (ler “cinco-cinco”), sendo que os casos de maior interesse estão destacados por cores, conforme a Figura 5. Tal Figura ilustra todas as combinações possíveis para os parâmetros analisados,

² Existem outras classificações que diferem desta que foi utilizada, como por exemplo, a adotada pelo Ministério das Cidades.

sendo que o primeiro número representa a classe relativa à forma urbana e o segundo representa a classe relativa à resiliência na mobilidade.

Portanto, o caso 55, destacado pela célula em vermelho, representa cidades que apresentam baixos valores para as métricas espaciais e resiliência menor ou igual a 25%, ou seja, espalhadas e pouco resilientes. Já o caso 11 (célula verde) representa cidades que apresentam os maiores valores para as métricas espaciais (típico de cidades compactas) e resiliência 100% ou mais.

As células em amarelo representam casos contraditórios, como por exemplo, as cidades classificadas como 51 apresentam métricas espaciais de valor baixo, porém são totalmente resilientes com relação à mobilidade urbana, portanto seriam cidades espalhadas com resiliência na mobilidade elevada. O inverso ocorre para municípios classificados como 15, representando cidades com métricas espaciais elevadas (típico de cidades compactas), porém com resiliência baixa (menor ou igual a 25%).

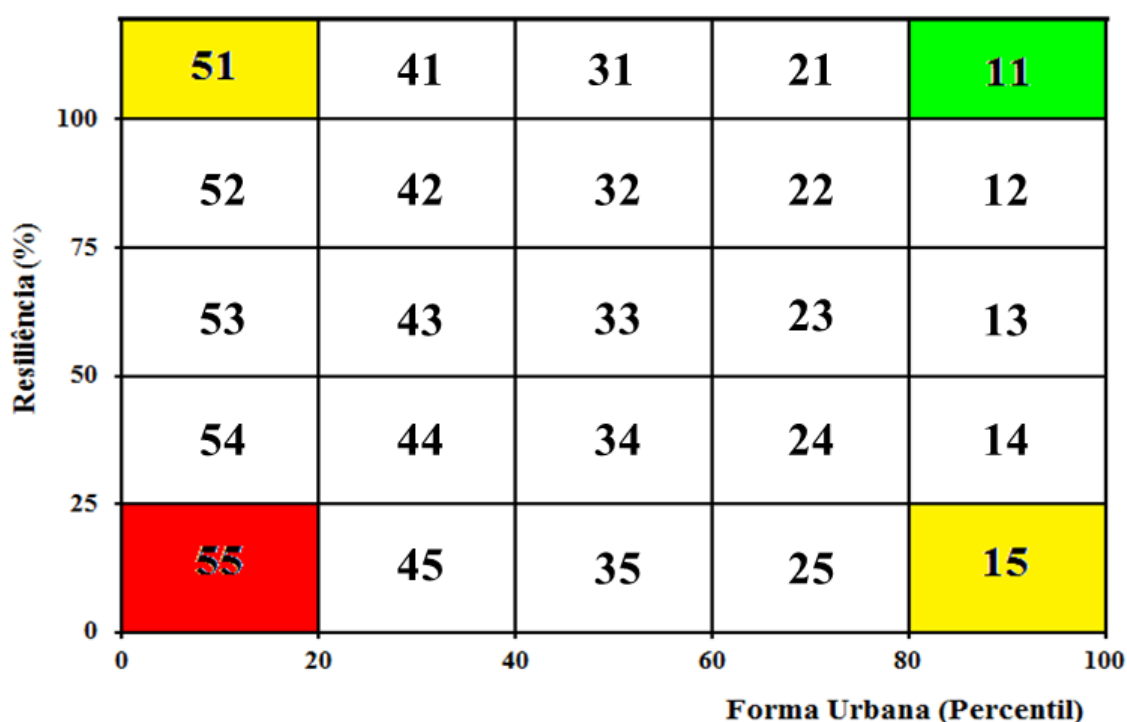


Figura 5: Resumo dos possíveis cenários para a relação forma urbana x resiliência na mobilidade, com ênfase para os casos de interesse.

Por fim, convém ressaltar que essa análise será aplicada posteriormente (seção 4.3) para a métrica que melhor se adequar a cada porte de municípios. Para quantificar essa compatibilidade será utilizada a correlação de Pearson entre os resultados das métricas espaciais e os resultados da resiliência na mobilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção inicialmente serão apresentados os resultados referentes à resiliência na mobilidade para os modos não-motorizados, considerando as DMPs de 5 e 12 km para caminhada e bicicleta, respectivamente. Na sequência, serão apresentados os resultados das métricas espaciais propostas por Galster et al. (2001), seguidos pela avaliação das relações entre os dois parâmetros analisados anteriormente, considerando os diferentes portes dos municípios.

4.1 Resiliência Urbana

A partir do que foi descrito no item 3.2, o nível de resiliência foi determinado através de uma relação de áreas, ou seja, a área obtida por meio de uma circunferência hipotética cujo raio é a média das distâncias entre os pares origem-destino dentro do município, dividida pela área urbanizada do município. Isso foi determinado tanto para o modo caminhada (DMP igual 5 km), Figura 6, como para bicicleta (DMP igual a 12 km), Figura 7. Cabe ressaltar que valores maiores que 100% foram obtidos, ou seja, a medida de resiliência para modos não motorizados foi maior do que a área urbanizada do município. Nesses casos, tais valores foram dispostos nos mapas como municípios com resiliência maior ou igual a 100%.

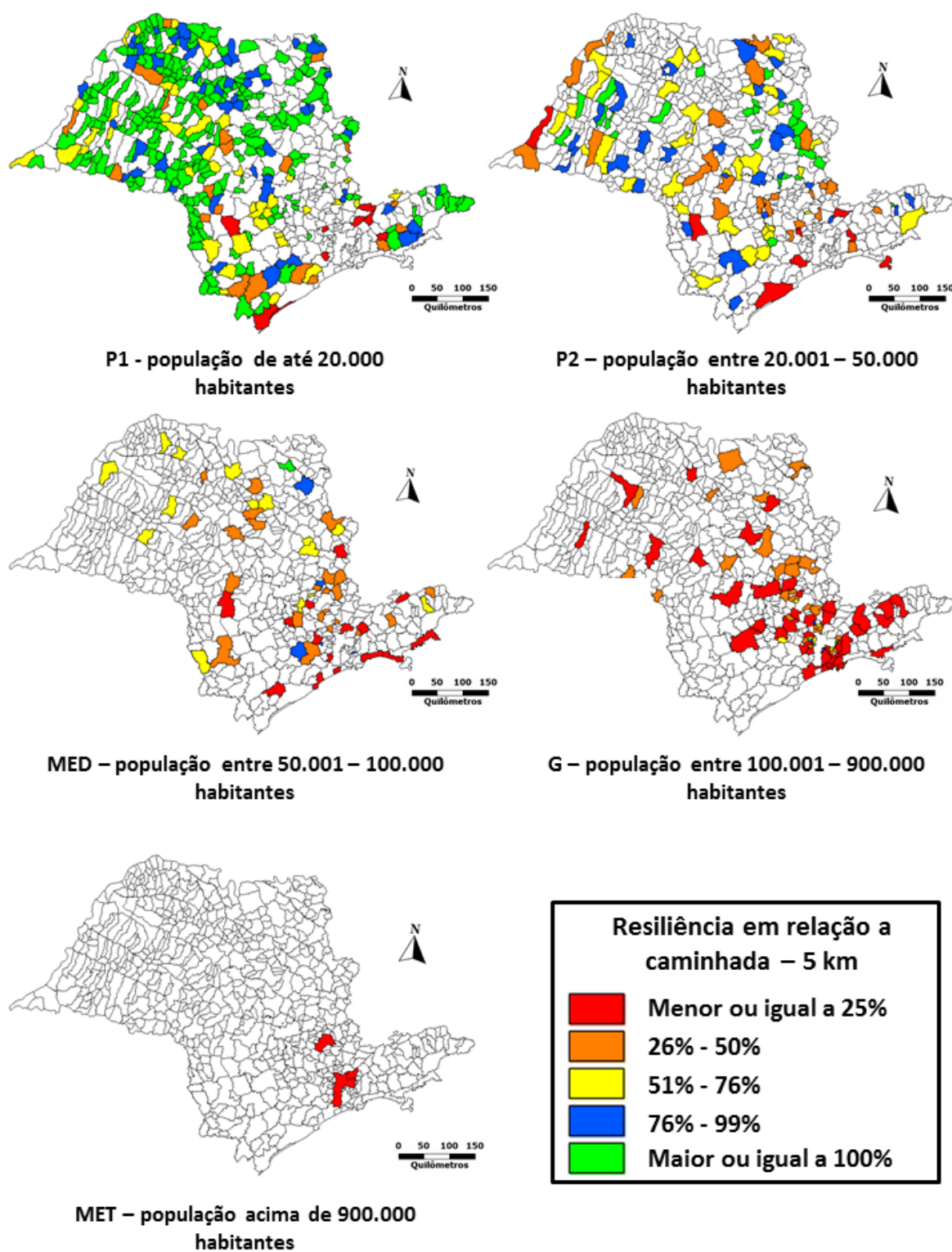


Figura 6: Resultados da resiliência na mobilidade para o modo de locomoção caminhada (DMP - 5 km), divididos pelos portes dos municípios.

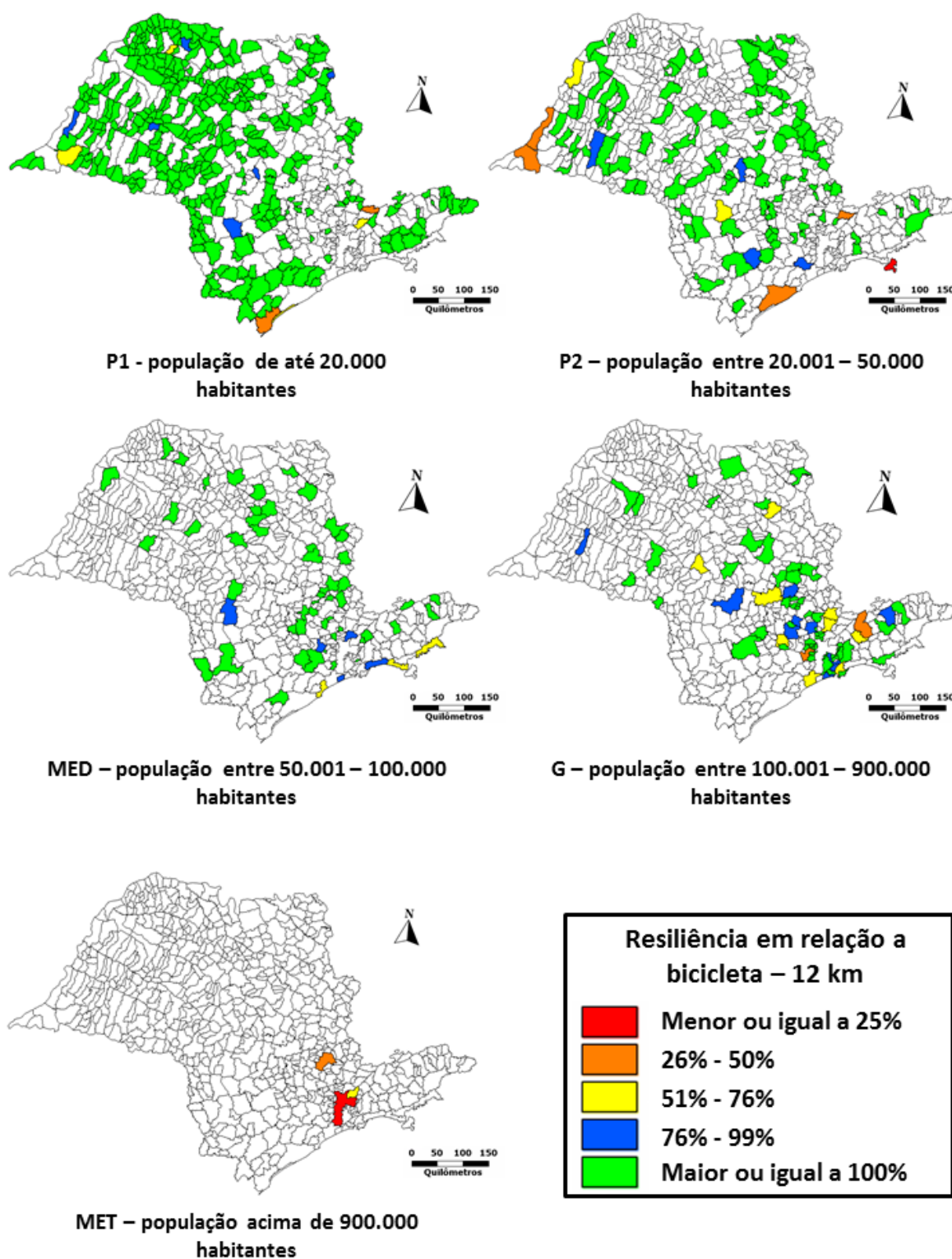


Figura 7: Resultados da resiliência na mobilidade para o modo de locomoção bicicleta (DMP - 12 km), divididos pelos portes dos municípios.

Para o modo caminhada (Figura 6), observa-se que 73 municípios (aproximadamente 11% dos que compõem o estado) apresentam resiliência menor ou igual a 25%, os quais estão representados em vermelho. Cabe observar que a maioria dos

municípios que se enquadram nessa classe são aqueles de maior porte e mais populosos do estado (Grandes – G e Metrôpoles – MET), como os que abrangem a Capital (São Paulo) e sua Região Metropolitana, além de outras Regiões Metropolitanas e municípios do interior, que apresentam grande relevância regional.

Esse resultado é esperado, uma vez que essas cidades maiores tendem a ser mais espalhadas, com uma maior diversificação e oferta de serviços em mais de uma região da cidade. Com isso, o deslocamento dos indivíduos tende a superar a DMP estabelecida, o que caracteriza a baixa resiliência desses municípios, conforme avaliação proposta.

Os municípios restantes, que são de menor porte (Pequeno 1 – P1, Pequeno 2 – P2 e Médios – MED), geralmente apresentam área urbana reduzida, o que resulta em menores distâncias a serem percorridas e, conseqüentemente, menores do que a DMP de 5 km estabelecida. Observa-se, por exemplo, uma quantidade elevada de municípios (46% do estado) totalmente resilientes, representados pela cor verde, sendo composto em sua maioria pelos municípios de pequeno e médio porte, conforme citado acima.

Para o modo bicicleta (Figura 7) a situação é diferente. Observa-se que apenas São Paulo (MET) e Ilhabela (P2), representados pela cor vermelha, apresentam resiliência menor ou igual a 25%. Ou seja, a média da área coberta pelos deslocamentos por bicicleta é bastante inferior à área urbana dos municípios. Por outro lado, apenas 8% dos municípios se enquadram em um nível de resiliência entre 26% e 99% (municípios representados pelas cores laranja, amarelo e azul), sendo a maioria deles municípios considerados pólos regionais, ou seja, municípios de grande porte e metrôpoles (G e MET).

Finalmente, seguindo essas análises, observa-se predominância (91%) de municípios representados pela cor verde, os quais são totalmente resilientes para o deslocamento por bicicleta, sendo esse grupo composto tanto por municípios de pequeno porte (P1 e P2), como de médio (MED) e grande (G) porte, principalmente por causa da maior distância de cobertura adotada para tal modo e também pelo pequeno porte da maioria dos municípios que compõe o estado de São Paulo.

Por outro lado, nota-se que a escolha das DMPs tanto para a caminhada como para a bicicleta foi pautada nos trabalhos já publicados. Contudo, muitas vezes esses valores podem não representar a realidade de uma região, pois não levou em conta outras características importantes como clima, relevo e fatores populacionais (idade, saúde, renda e até mesmo nível de escolaridade dos moradores da região), muitas vezes devido a falta de disponibilidade desses dados no país. Caso houvesse essa disponibilidade, como

abordaram Philips, Watling e Timms (2018) para a bicicleta e Saghapour et al. (2017) para a caminhada, as DMPs adotadas se enquadrariam melhor para a região de análise.

Em uma outra comparação, cabe enfatizar que no trabalho de Martins e Rodrigues da Silva (2017), a cidade de São Carlos se mostrou 100% resiliente para DMPs de 2 km (caminhada) e 11km (bicicleta), enquanto que de acordo com o presente método a mesma cidade se mostrou 25,6 % resiliente para uma DMP de 5km (caminhada) e 100% resiliente para uma DMP de 12 km (bicicleta). A grande diferença se dá pelas bases utilizadas, uma vez que os autores acima citados utilizaram Pesquisas de Origem e Destinos do município em questão, enquanto o método proposto neste trabalho utiliza as distâncias entre centroides de células urbanas da Grade Estatística do IBGE.

4.2 Características espaciais das cidades

A segunda parte deste trabalho, exposta a partir do item 3.3, busca compreender as características espaciais das cidades que compõem o estado de São Paulo, através da utilização de quatro métricas espaciais (Densidade Domiciliar, Concentração, Agrupamento e Centralidade), baseadas na pesquisa de Galster et al. (2001), sendo que os resultados estão sintetizados na Figura 8.

Assim, para Densidade Domiciliar - D(i)u observa-se que os municípios de pequeno porte (P1 e P2) apresentam os menores valores da métrica, enquanto que os de grande porte (G e MET) apresentam os maiores valores, ou seja, segundo a proposta de Galster et. al. (2001), essas cidades de grande porte seriam aquelas que apresentariam a forma urbana mais compacta e consequentemente a mais desejável do ponto de vista da sustentabilidade.

Já com relação à Concentração – Delta (i)u, observa-se que as Metrópoles (MET) e os municípios de grande porte (G) apresentam valores baixos para a métrica, enquanto que os maiores valores se concentram naqueles que são classificados com P2 e MED, enquanto os municípios classificados como P1 apresentam uma heterogeneidade com relação à métrica. Portanto, nota-se que tal métrica não apresenta um padrão relevante em se tratando do porte dos municípios, mas que neste caso tanto municípios de pequeno, médio e grande porte podem ser considerados compactos de acordo com os resultados para tal métrica, segundo o proposto por Galster et al. (2001).

Em se tratando do Agrupamento – CLUS(i)u dos municípios, nota-se um evidente padrão, sendo que aqueles classificados como P1 são os que apresentam os maiores valores para a métrica, com exceção de alguns poucos municípios classificados como MED e G. Contudo, nota-se que a medida que o porte aumenta, a medida da métrica diminui, ou seja, cidades maiores nesse cenário tendem a ser menos agrupadas, portanto, mais espalhadas e menos sustentáveis. O cenário inverso ocorre nas cidades com até 20 mil habitantes, que tendem a ser mais agrupadas, e consequentemente mais compactas e sustentáveis, segundo o proposto por Galster et al. (2001).

Com relação à Centralidade – CBDDIST, nota-se que também não há um padrão característico, uma vez que há presença de municípios com valores variados de métricas em cada porte, com exceção dos Metropolitanos (MET), que apresentam valores baixos, ou seja, característicos de municípios dispersos, de baixa sustentabilidade.

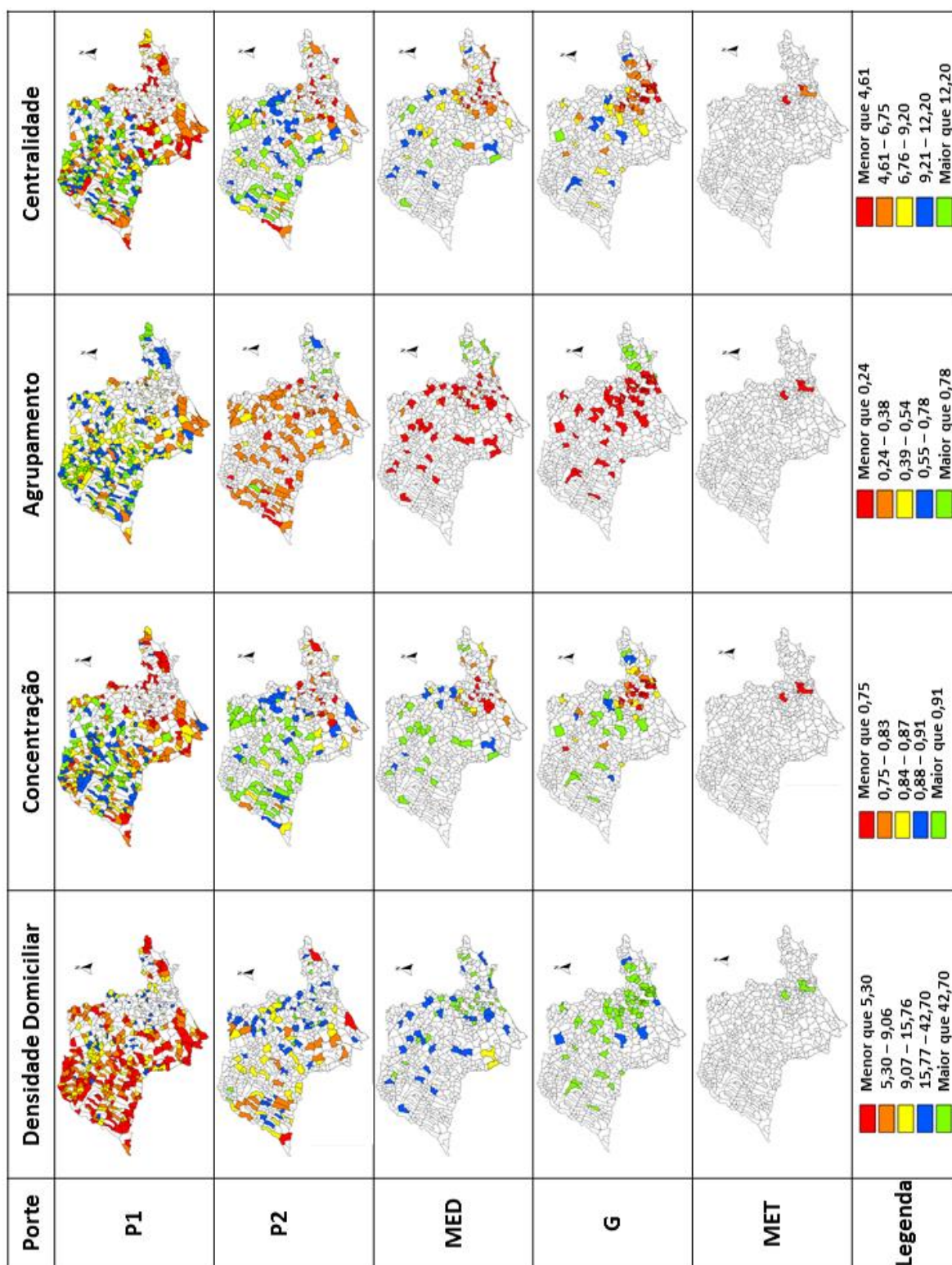


Figura 8: Resumo dos resultados das métricas espaciais adotadas, divididas pelo porte dos municípios (sem escala).

4.3 Relação entre características espaciais das cidades e resiliência na mobilidade

A partir do exposto no item 3.4, foi proposta uma segmentação da forma urbana e da resiliência na mobilidade em classes que variam de 1 a 5, que foram combinadas para cada um dos dois parâmetros, formando os cenários mostrados pela Figura 4.

Ainda, os resultados das métricas e da resiliência na mobilidade foram relacionados através da correlação de Pearson (como está resumido na Tabela 12), sendo que para os municípios de pequeno porte (P1 e P2) e para os de médio porte (MED) a métrica que obteve a maior correlação foi à Centralidade (CBDDIST), enquanto que para os municípios de grande porte (G) a métrica que mais se correlacionou foi a Densidade Domiciliar (D(i)u). Por fim, para os municípios metropolitanos (MET) a métrica que apresentou a maior correlação foi o Agrupamento (CLUS(i)u).

Tabela 12: Valores das maiores correlações de Pearson, separadas pelo porte dos municípios

Porte	Métrica	Resiliência 5 km	Resiliência 12 km
P1	Centralidade	0,39	0,15
P2	Centralidade	0,42	0,19
MED	Centralidade	0,40	0,32
G	Densidade Domiciliar	0,73	0,19
MET	Agrupamento	0,92	0,94

Considerando os casos de maior correlação entre características espaciais das cidades e a resiliência na mobilidade urbana e o exposto na Figura 4, tem-se para os municípios de pequeno porte (P1 e P2) a situação resumida nas Figuras 9 e 10.

Centralidade – Porte P1 (até 20.000 habitantes)

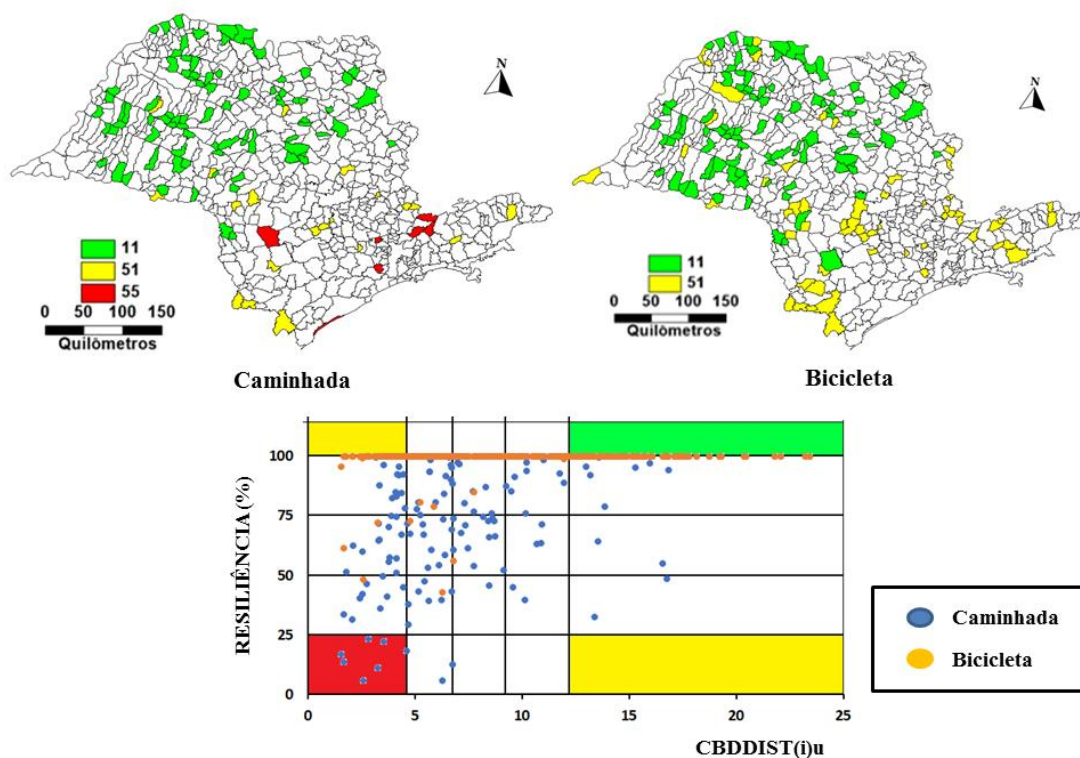


Figura 9: Relação entre característica espacial (Centralidade) e a resiliência na mobilidade (caminhada e bicicleta), destacando os casos de interesse, para as cidades classificadas como P1.

Centralidade – Porte P2 (20.001 – 50.000 habitantes)

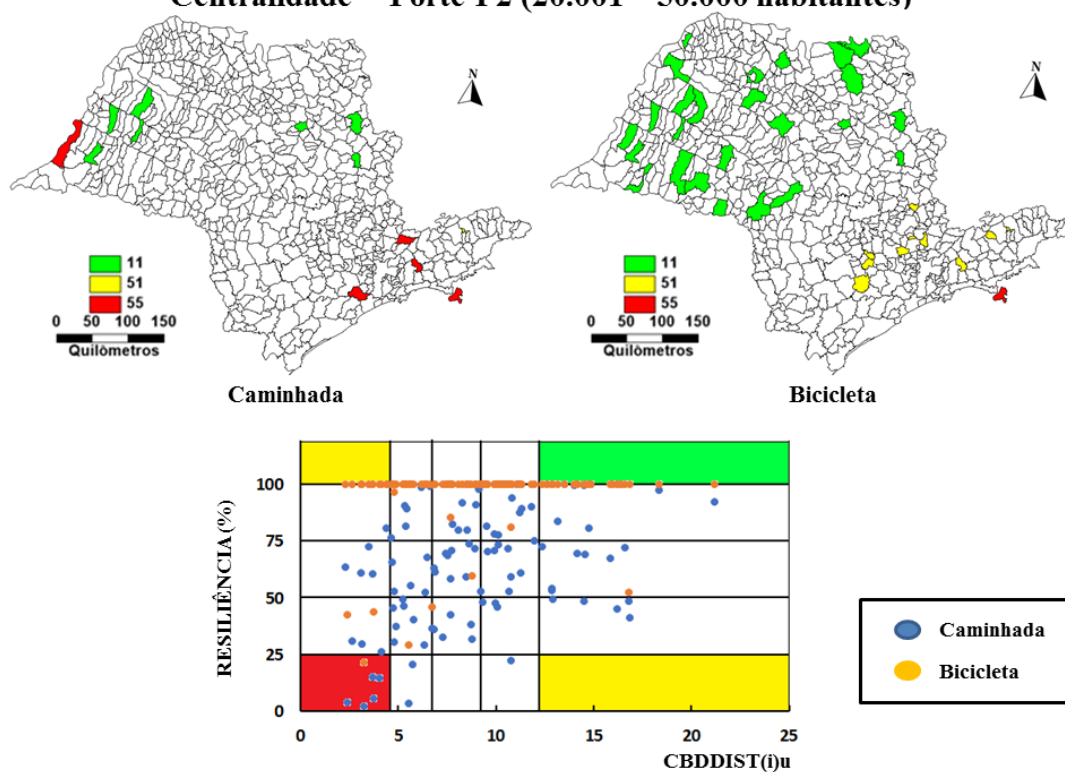


Figura 10: Relação entre característica espacial (Centralidade) e a resiliência na mobilidade (caminhada e bicicleta), destacando os casos de interesse, para as cidades classificadas como P2.

Nota-se, nesses casos, uma predominância de cenários positivos (11), principalmente com relação à bicicleta (DMP - 12 km), uma vez municípios menores tendem a ter uma área urbana que se desenvolve a partir de um centro principal, além de que as distâncias a serem percorridas pelas pessoas são menores, fato que favorece a resiliência na mobilidade.

Para os municípios de médio porte (Figura 11), nota-se certa semelhança com os municípios de pequeno porte, uma vez que para a caminhada (DMP - 5 km) há a presença de casos desfavoráveis (55), que tendem a ser tonar favoráveis (51) com o aumento da resiliência para 12 km, uma vez que as distâncias de deslocamento tendem a ser maiores conforme o aumento do porte da cidade, porém a maior correlação com a Centralidade (CBDDIST) indica que essas cidades se desenvolveram e ainda são regidas por um núcleo central principal.

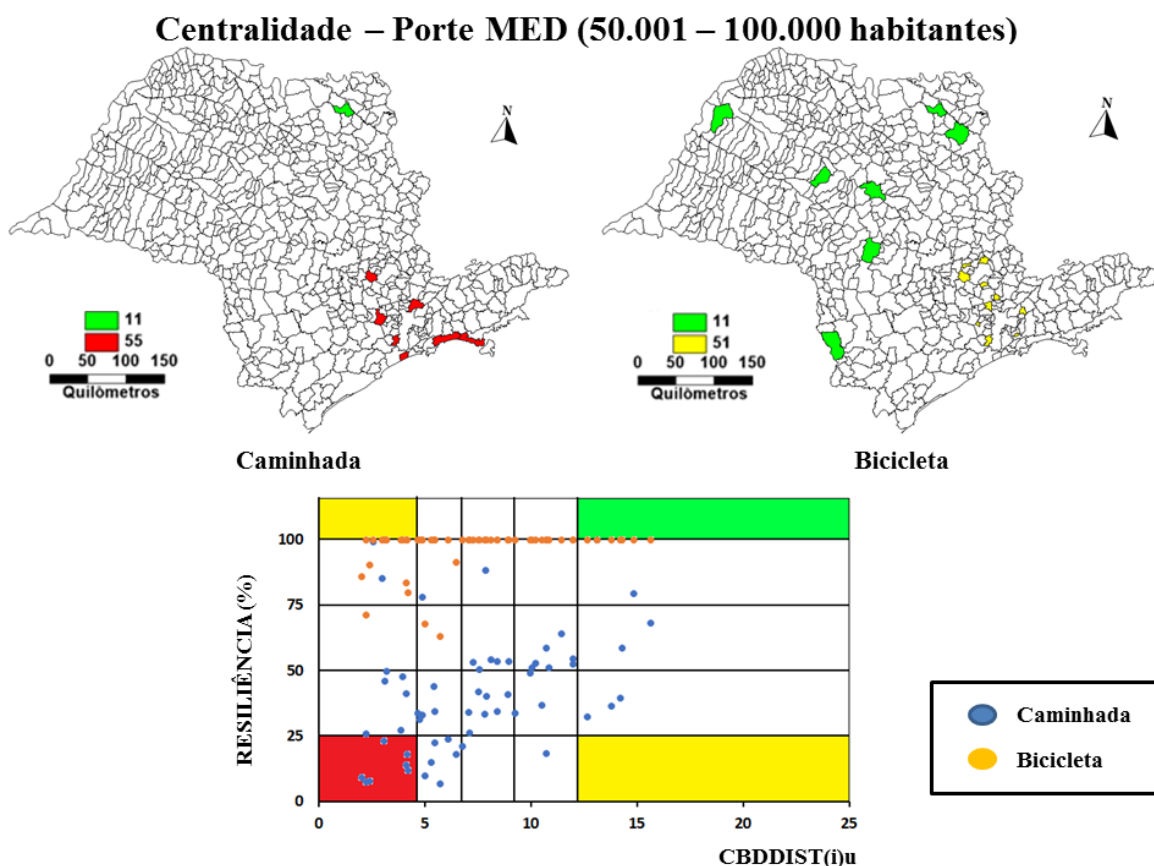


Figura 11: Relação entre característica espacial (Centralidade) e a resiliência na mobilidade (caminhada e bicicleta), destacando os casos de interesse, para as cidades classificadas como MED.

Já para os municípios de grande porte (Figura 12), a Densidade Domiciliar (D(i)u) é elevada, enquanto que a resiliência para a caminhada (DMP - 5 km) apresenta uma quantidade significativa de municípios enquadrados como classe 5, o que explica a

classificação de vários municípios como 15 (forma urbana desejável e resiliência na mobilidade indesejável). Já com relação à bicicleta (DMP - 12 km) a situação muda, uma vez que a maioria dos municípios tornam-se totalmente resilientes tomando como referência tal distância, o que explica a mudança observada nos mapas, conforme a Figura 12.

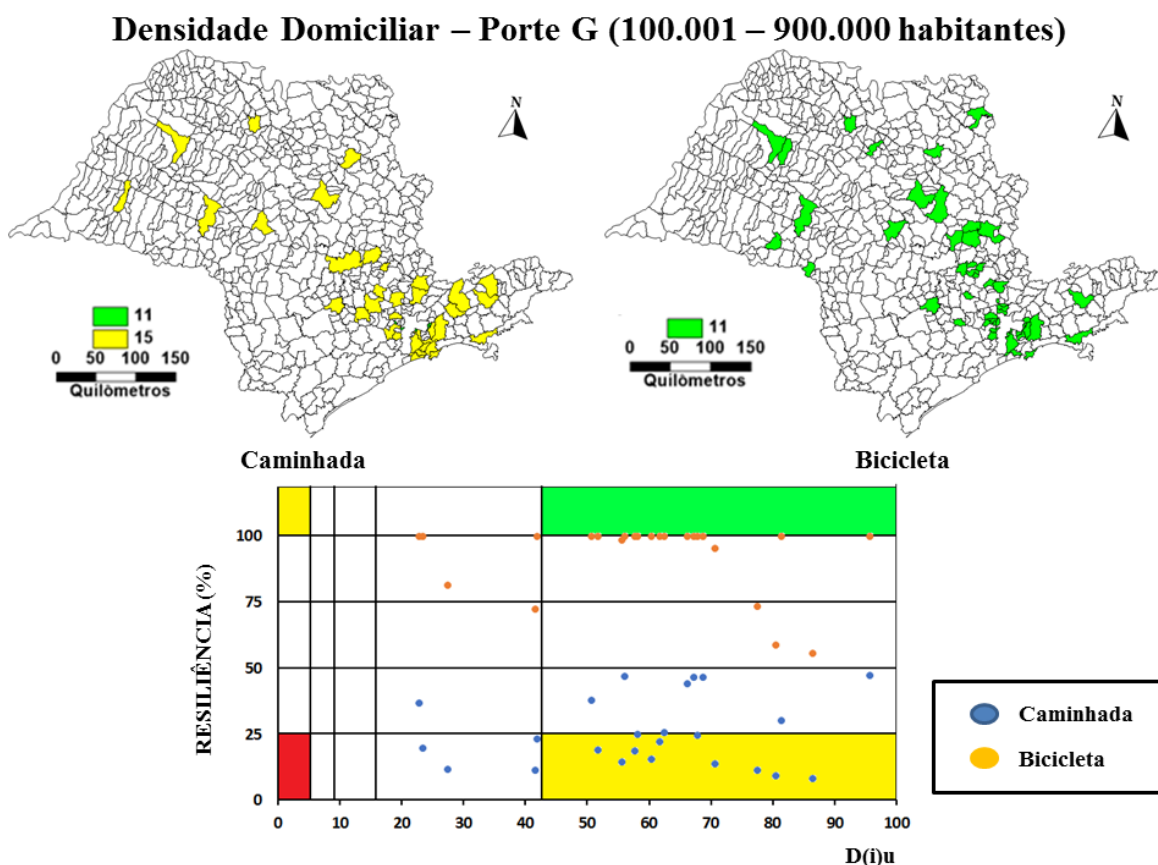
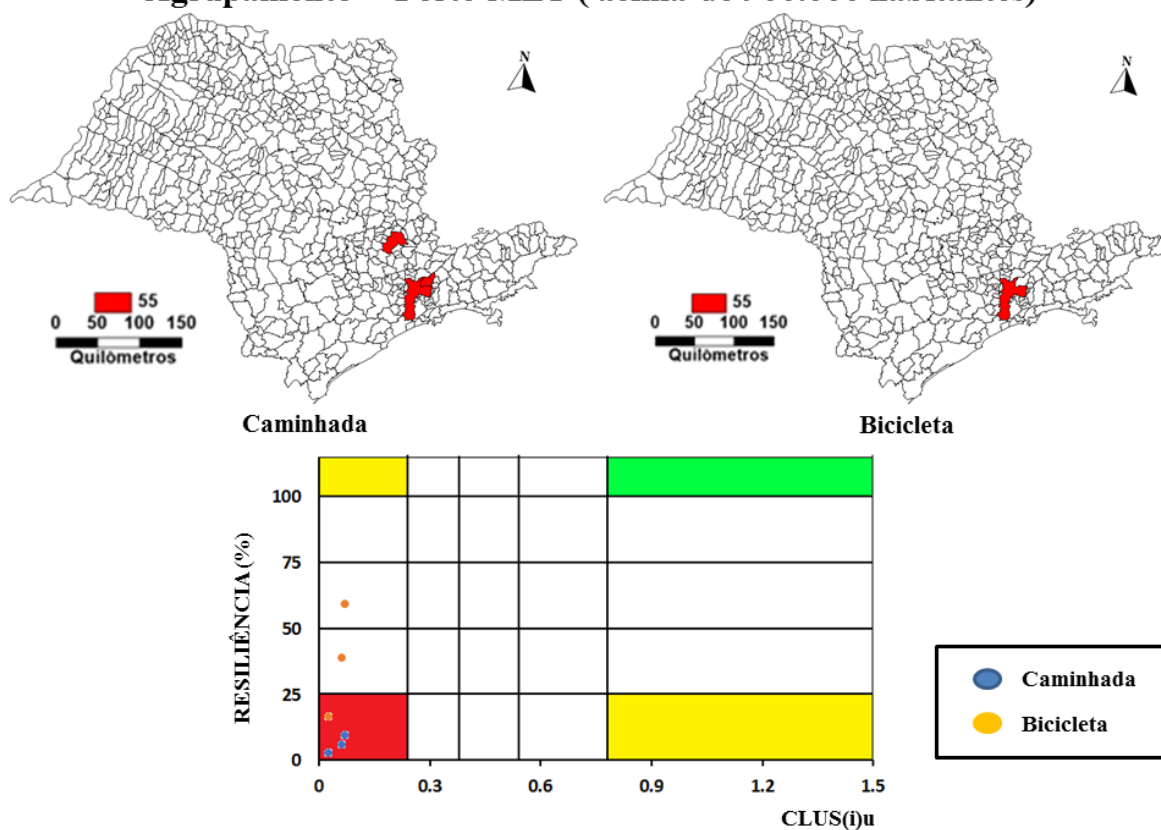


Figura 12: Relação entre característica espacial (Densidade Domiciliar) e a resiliência na mobilidade (caminhada e bicicleta), destacando os casos de interesse, para as cidades classificadas como G.

Por fim, levando em conta os municípios metropolitanos, constata-se a predominância de municípios de forma urbana dispersa, levando em consideração a métrica que mais se relaciona com a resiliência na mobilidade (Agrupamento – CLUS(i)u), além de que a elevada dimensão urbana dessas cidades proporciona deslocamentos maiores, o que explica os resultados mostrados na Figura 13.

Agrupamento – Porte MET (acima de 900.000 habitantes)



5 CONCLUSÕES

O trabalho apresentado teve como objetivo principal avaliar as relações entre características espaciais das cidades e a resiliência na mobilidade urbana, considerando os diferentes portes dos municípios, sendo que a área de estudo compreendeu o estado de São Paulo.

Para atingir tal objetivo foi proposto o desenvolvimento de um método de avaliação da resiliência na mobilidade urbana, considerando viagens não motorizadas (caminhada e bicicleta). A diminuição das viagens por modos motorizados individuais compõe a principal agenda nas discussões acerca da mobilidade urbana sustentável, sendo a atual dependência por tais modos uma das consequências observadas em maio de 2018 no Brasil, quando da crise no abastecimento de combustíveis ocasionada pela greve dos caminhoneiros.

Em geral, para o modo a pé foi observado que cerca de 46% dos municípios analisados seriam resilientes, sendo que esta proporção é composta pelos municípios de menor porte, implicando que a maioria dos deslocamentos estão dentro da área de abrangência das DMPs e, portanto, poderiam ser percorridas por modos não motorizados. Por outro lado estão os municípios que apresentam resiliência menor que 25% (aproximadamente 11% deles), sendo tal classe composta por aqueles de maior porte e mais populosos do estado, como os que abrangem a Região Metropolitana de São Paulo, a Região Metropolitana de Campinas, Região Metropolitana da Baixada Santista e outros municípios de relevância regional.

Para o modo bicicleta a situação é diferente. Nota-se que apenas São Paulo e Ilhabela apresentam resiliência menor que 25%, enquanto outros municípios maiores, considerados pólos regionais, se enquadram em um intervalo de resiliência entre 25% a 99% (apenas 8% do total de municípios). Por fim, nota-se que 91% dos municípios são totalmente resilientes para essa DMP adotada (12 km).

A partir do exposto, destaca-se que a escolha das DMPs tanto para a caminhada como para a bicicleta foi pautada nos trabalhos já publicados. Contudo, muitas vezes esses valores podem não representar a realidade de uma região, pois não se levou em conta outras características importantes como clima, relevo e fatores populacionais.

A partir dos resultados do método, buscou-se relacionar essa resiliência obtida com métricas espaciais, derivadas da pesquisa de Galster et al. (2001), sendo que para este trabalho quatro dessas métricas foram calculadas (Densidade, Concentração, Agrupamento

e Centralidade). Tais métricas e suas relações também foram avaliadas considerando o porte dos municípios (P1, P2, MED, G e MET).

Segundo a pesquisa de Galster et al. (2001), quanto maior fosse o valor da métrica, mais compacta seria a região analisada e quanto menor fosse o valor da métrica, mais espalhada seria a região. Dessa forma, em vista do exposto na revisão bibliográfica, uma cidade mais compacta representaria uma cidade mais sustentável.

Portanto, para a Densidade Domiciliar ($D(i)u$) observa-se, segundo o proposto por Galster et al. (2001), que as cidades de grande porte seriam aquelas que apresentariam a forma urbana mais compacta e conseqüentemente a mais desejável, em detrimento daquelas de menor porte, que apresentaram valores baixos para a métrica. Assim, essas últimas teoricamente seriam mais espalhadas do ponto de vista do autor, o que na realidade do estado de São Paulo e baseado nos resultados de resiliência na mobilidade, não é o que acontece.

Já com relação à Concentração ($\Delta(i)u$), observa-se o inverso do que ocorre para a Densidade Domiciliar, sendo que as cidades de maior porte apresentam valores baixos para a métrica, ou seja, tendem a ser mais espalhadas e menos sustentáveis. Já os maiores valores se concentram naqueles municípios de pequeno e médio porte, que podem ser considerados como compactos, ou seja, que apresentam uma forma urbana sustentável.

Em se tratando do Agrupamento ($CLUS(i)u$) dos municípios nota-se um evidente padrão, sendo que as cidades com até 20 mil habitantes (P1) apresentam os maiores valores para a métrica, com exceção de alguns poucos municípios de médio e grande porte. Portanto, nota-se que à medida que o porte aumenta, a medida da métrica diminui, ou seja, cidades maiores nesse cenário tendem a ser menos agrupadas e, assim, mais espalhadas e menos sustentáveis.

Com relação à Centralidade (CBDDIST), nota-se que também não há um padrão característico, uma vez que há presença de municípios com valores variados de métricas em cada porte. Uma exceção são os Metropolitanos (MET), que apresentam valores baixos, ou seja, característicos de municípios dispersos, com menor sustentabilidade.

Dessa maneira, com relação à forma urbana, conclui-se que a Densidade Domiciliar ($D(i)u$) é o parâmetro que mais se diferenciou dos demais, uma vez que quanto maior o porte do município, maior foi o valor observado para a métrica, enquanto que para as outras (Concentração, Agrupamento e Centralidade) foi observado o oposto, ou seja, que os municípios de menor porte obtiveram as métricas com os maiores valores e conseqüentemente, se mostraram mais compactos e sustentáveis. Portanto, cabe ressaltar

também que uma avaliação apenas por dados demográficos pode induzir a conclusões incompletas, sendo que a utilização de metodologias híbridas pode avaliar com mais clareza a morfologia urbana, uma vez que englobam dados de uso do solo e também informações demográficas.

A parte final da pesquisa envolveu estabelecer uma relação entre a resiliência na mobilidade e as características espaciais das cidades, através de uma classificação em que ambos os atributos variaram em uma escala de 1 a 5, sendo 1 o valor mais desejável e 5 o valor menos desejável, no qual os municípios receberam uma classificação que variou de 11 (melhor cenário) até 55 (pior cenário).

A correlação de Pearson mostrou que para os municípios de pequeno e médio porte (P1, P2 e MED), a métrica que obteve a maior relação foi à Centralidade (CBDDIST); para os municípios de grande porte (G), a métrica que mais se adequou foi a Densidade Domiciliar (D(i)u); e para os municípios metropolitanos (MET), a métrica que se enquadrou melhor foi o Agrupamento (CLUS(i)u). Disso conclui-se que conforme o porte da cidade, existe uma métrica que melhor se adequa com os resultados de resiliência na mobilidade.

Dessa maneira, para os municípios de pequeno e médio porte (P1, P2 e MED), nota-se certa semelhança, uma vez que para o modo caminhada (DMP – 5 km) há a presença de casos desfavoráveis (55), que tendem a ser tonar favoráveis (51) com a utilização do modo bicicleta (aumento da DMP para 12 km), uma vez que as distâncias de deslocamento tendem a ser maiores conforme o aumento do porte da cidade. Porém a maior correlação com a Centralidade (CBDDIST) indica que essas cidades se desenvolveram e ainda são regidas por um núcleo central principal.

Já para os municípios de grande porte (G), tem-se que uma variação entre o modo caminhada (municípios classificados como 15) e o modo bicicleta (municípios classificados como 11), mostrando que nesse porte a grande variação é ocasionada pela resiliência na mobilidade. Por fim, levando em conta os municípios metropolitanos (MET), constata-se a predominância de municípios com forma urbana dispersa, além de que a elevada dimensão urbana dessas cidades proporciona deslocamentos maiores, o que explica a classificação dos municípios no pior cenário possível (55).

Portanto conclui-se que a divisão conforme o porte dos municípios mostra que a relação entre as características espaciais e a resiliência na mobilidade varia, inclusive como mostra as correlações de Pearson. Sendo assim, para analisar regiões com cidades heterogêneas, essa divisão se torna mais interessante, uma vez que consegue captar essas

diferenças e assim proporcionar melhores parâmetros para o entendimento da região como um todo, além de auxiliar na formulação de políticas urbanas que compreendam as diferenças de cada município.

A partir do exposto, com relação ao método de quantificação da resiliência urbana desenvolvido neste trabalho, é perceptível que há campo para adaptações e novas aplicações, como por exemplo, a adoção de outros parâmetros (condição física, econômica e social dos indivíduos, clima, relevo e infraestrutura disponível) para determinar as DMPs, conforme a região de análise.

Já para as características espaciais das cidades fica a sugestão de utilizar novas abordagens, como as baseadas no uso e cobertura do solo (DEBBAGE; BEREITSCHAFT; SHEPHERD, 2017) ou ainda as técnicas híbridas, que resultam em um índice composto de espalhamento urbano (COSTA, 2008; EWING; PENDALL; CHEN, 2003; JAEGER; SCHWICK, 2014).

Essas novas aplicações dependem, entretanto, da disponibilidade de dados mais detalhados, tanto para a determinação das DMPs como para a quantificação das características urbanas das cidades, uma vez que a Grade Estatística utilizada fornece apenas dados de uso residencial do solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, T. M.; BEKKEM, K. R.; TOLEDO-DURÁN, E. J. Freight resilience measures. **Journal of Transportation Engineering**, v. 138, n. 11, p. 1403–1409, 2012.

AHERN, J. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. **Landscape and Urban Planning**, v. 100, n. 4, p. 341–343, 2011.

AKBARI, S.; NURUL HABIB, K. Oil vulnerability in the greater Toronto area: impacts of high fuel prices on urban form and environment. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 11, n. 8, p. 2347–2358, 2014.

ALLEN, W. B.; LIU, D.; SINGER, S. Accessibility measures of U.S. metropolitan areas. **Transportation Research Part B**, v. 27, n. 6, p. 439–449, 1993.

BANISTER, D. The sustainable mobility paradigm. **Transport Policy**, v. 15, n. 2, p. 73–80, 2008.

BATTY, M. The size, scale, and shape of cities. **Science**, v. 319, n. 5864, p. 769–771, 8 fev. 2008.

BEREITSCHAFT, B.; DEBBAGE, K. Regional variations in urban fragmentation among U.S. Metropolitan and Megapolitan Areas. **Applied Spatial Analysis and Policy**, v. 7, n. 2, p. 119–147, 8 jun. 2014.

CERVERO, R.; SARMIENTO, O. L.; JACOBY, E.; GOMEZ, L. F.; NEIMAN, A. Influences of built environments on walking and cycling: Lessons from Bogotá. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 3, n. 4, p. 203–226, 2009.

CERVERO, R.; RADISCH, C. Travel choices in pedestrian versus automobile oriented neighborhoods. **Transport Policy**, v. 3, n. 3, p. 127–141, 1996.

COSTA, M. S. Um índice de mobilidade urbana sustentável. 2008. Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Área de Concentração Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

DALL’ASTA, E. Crescimento populacional e sustentabilidade das cidades: em busca de

um modelo conceitual para o planejamento urbano. 2014. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

DANIERE, A. G. Sustainable urbanization in megacities: role of nonmotorized transportation. **Transportation Research Record**, n. 1695, p. 26–33, 1999.

DEBBAGE, N.; BEREITSCHAFT, B.; SHEPHERD, J. M. Quantifying the spatiotemporal trends of urban sprawl among Large U.S. Metropolitan Areas via spatial metrics. **Applied Spatial Analysis and Policy**, v. 10, n. 3, p. 317–345, 2017.

DE CAMARGO FIORINI, P.; JABBOUR, C. J. C. Information systems and sustainable supply chain management towards a more sustainable society: Where we are and where we are going. **International Journal of Information Management**, v. 37, n. 4, p. 241–249, ago. 2017.

EWING, R.; PENDALL, R.; CHEN, D. Measuring sprawl and its transportation impacts. **Transportation Research Record**, v. 1831, n. 1, p. 175–183, jan. 2003.

EWING, R.; HAMIDI, S. Compactness versus sprawl: a review of recent evidence from the United States. **Journal of Planning Literature**, v. 30, n. 4, p. 413–432, 2015.

FERNANDES, V. A.; ROTHFUSS, R.; HOCHSCHILD, V.; DA SILVA, W. R.; SANTOS, M. P. de S. Resiliência da mobilidade urbana: uma proposta conceitual e de sistematização. **Transportes**, v. 25, n. 4, p. 147, 30 dez. 2017.

FREUND, P. The revolution will not be motorized: moving toward nonmotorized spatiality. **Capitalism, Nature, Socialism**, v. 25, n. 4, p. 7–18, 2014.

GAKENHEIMER, R. Urban mobility in the developing world. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 33, n. 7–8, p. 671–689, 1999.

GALSTER, G; HANSON, R.; RATCLIFFE, M. R.; WOLMAN, H.; COLEMAN S.; FREIHAGE, J. Wrestling sprawl to the ground: defining and measuring an elusive concept. **Housing Policy Debate**, v. 12, n. 4, p. 681–717, 2001.

GONÇALVES, A. R. Indicadores de Dispersão Urbana. 2011. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

HABIBI, S.; ASADI, N. Causes, results and methods of controlling urban sprawl. **Procedia Engineering**, v. 21, p. 133-141, 2011.

JAEGER, J. A. G.; SCHWICK, C. Improving the measurement of urban sprawl: Weighted Urban Proliferation (WUP) and its application to Switzerland. **Ecological Indicators**, v. 38, p. 294–308, mar. 2014.

JONES, T.; NOVO DE AZEVEDO, L. Economic, social and cultural transformation and the role of the bicycle in Brazil. **Journal of Transport Geography**, v. 30, p. 208–219, 2013.

KNAAP, G. J.; SONG, Y.; NEDOVIC-BUDIC, Z. Measuring patterns of urban development: new intelligence for the war on sprawl. **Local Environment**, v. 12, n. 3, p. 239–257, jun. 2007.

LOPEZ, R.; HYNES, H. P. Sprawl in the 1990s: Measurement, distribution, and trends. **Urban Affairs Review**, v. 38, n. 3, p. 325–355, 18 jan. 2003.

KRUMDIECK, S.; PAGE, S.; DANTAS, A. Urban form and long-term fuel supply decline: a method to investigate the peak oil risks to essential activities. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 44, n. 5, p. 306–322, 2010.

MACIEL, M.; ROSA, L. P.; CORREA, F.; MARUYAMA, U. Energy, pollutant emissions and other negative externality savings from curbing individual motorized transportation (IMT): a low cost, low technology scenario analysis in Brazilian urban areas. **Energies**, v. 5, n. 3, p. 835–861, 2012.

MARTINS, M. C. DA M.; RODRIGUES DA SILVA, A. N. Uma estratégia para avaliação da resiliência na mobilidade urbana. **Transportes**, v. 26, n. 3, p. 75-86, 2018.

MCCAN, B. A.; EWING, R. **Measuring the health effects of sprawl**: a national analysis of physical activity, obesity and chronic disease. Washington DC, 2003.

MCMILLAN, T. E. The relative influence of urban form on a child's travel mode to school. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 41, n. 1, p. 69–79, 2007.

OECD – GREEN GROWTH STUDIES. **Compact city policies**: a comparative

assessment. 2012.

PELTAN, T; VOREL, J.; FRANKE, D.; MAIER, K. **Model for evaluation of transport energy needs of alternative development scenarios on regional scale**. 2017 Smart Cities Symposium Prague, SCSP 2017 - IEEE Proceedings. **Anais...**2017.

PHILIPS, I.; WATLING, D.; TIMMS, P. **A conceptual approach for estimating resilience to fuel shocks**. 13th World Conference on Transport Research. **Anais...** In: WCTR. Rio de Janeiro, Brasil: 2013.

PHILIPS, I.; WATLING, D.; TIMMS, P. Estimating individual physical capability (IPC) to make journeys by bicycle. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 12, n. 5, p. 324–340, 2018.

PHILP, M.; TAYLOR, M. A. P. Research agenda for low-carbon mobility: issues for New World cities. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 11, n. 1, p. 49–58, 2017.

REIS, R. S.; HINO, A. A. F.; PARRA, D. C.; HALLAL, P. C.; BROWNSON, R. C. Bicycling and walking for transportation in three Brazilian cities. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 44, n. 2, p. e9–e17, 2013.

RENDALL, S.; PAGE, S.; REITSMA, F.; HOUTEN, E. V.; KRUMDIECK, S. Quantifying transport energy resilience: Active mode accessibility. **Transportation Research Record**, n. 2242, p. 72–80, 2011.

RICE, M.; HANCOCK, T. Equity, sustainability and governance in urban settings. **Global Health Promotion**, v. 23, n. 1_suppl, p. 94–97, 19 mar. 2016.

RODRÍGUEZ, D. A.; JOO, J. The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 9, n. 2, p. 151–173, 2004.

RUEDA, S. P. Modelos de ordenación del territorio más sostenibles. VII Congreso Nacional del Meio Ambiente. **Anais...** . p.1-22, 2002. Barcelona.

SAGHAPOUR, T.; MORIDPOUR, S.; THOMPSON, R. G. Measuring walking

accessibility in metropolitan areas. **Transportation Research Record**, v. 2661, p. 111–119, 2017.

SALVATI, L.; RONTOS, K.; MORELLI, V. G. Urban sprawl and implications for sustainable transportation: analysing changing commuting patterns in a Mediterranean city region. **International Journal of Sustainable Society**, v. 7, n. 4, p. 333, 2015.

SONG, Y.; KNAAP, G. J. Measuring urban form: Is portland winning the war on sprawl? **Journal of the American Planning Association**, v. 70, n. 2, p. 210–225, 30 jun. 2004.

STEELE, W. E.; GLEESON, B. Mind the governance gap: oil vulnerability and urban resilience in Australian cities. **Australian Planner**, v. 47, n. 4, p. 302–310, 2010.

SUTTON, P. C. A scale-adjusted measure of “Urban sprawl” using nighttime satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n. 3, p. 353–369, ago. 2003.

TSAI, Y. H. Housing demand forces and land use towards urban compactness: a push-accessibility-pull analysis framework. **Urban Studies**, v. 52, n. 13, p. 2441–2457, 11 out. 2015.

APÊNDICE A – MAPAS DA FIGURA 8

Com o intuito de facilitar a visualização dos mapas contidos na Figura 8, este apêndice retrata cada métrica de forma separada, em escala maior.

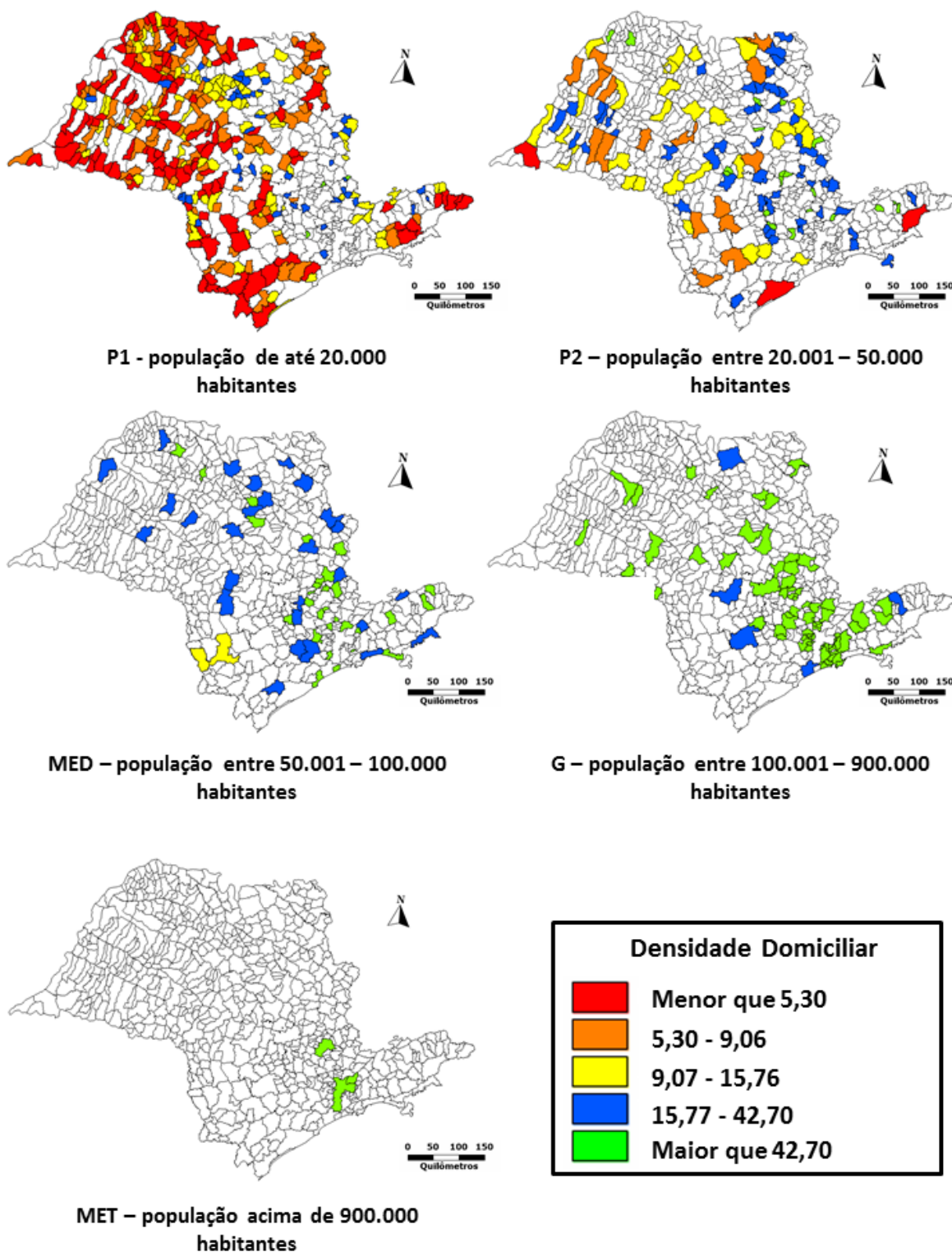


Figura 14: Resultados para a métrica Densidade Domiciliar, de acordo com o porte dos municípios.

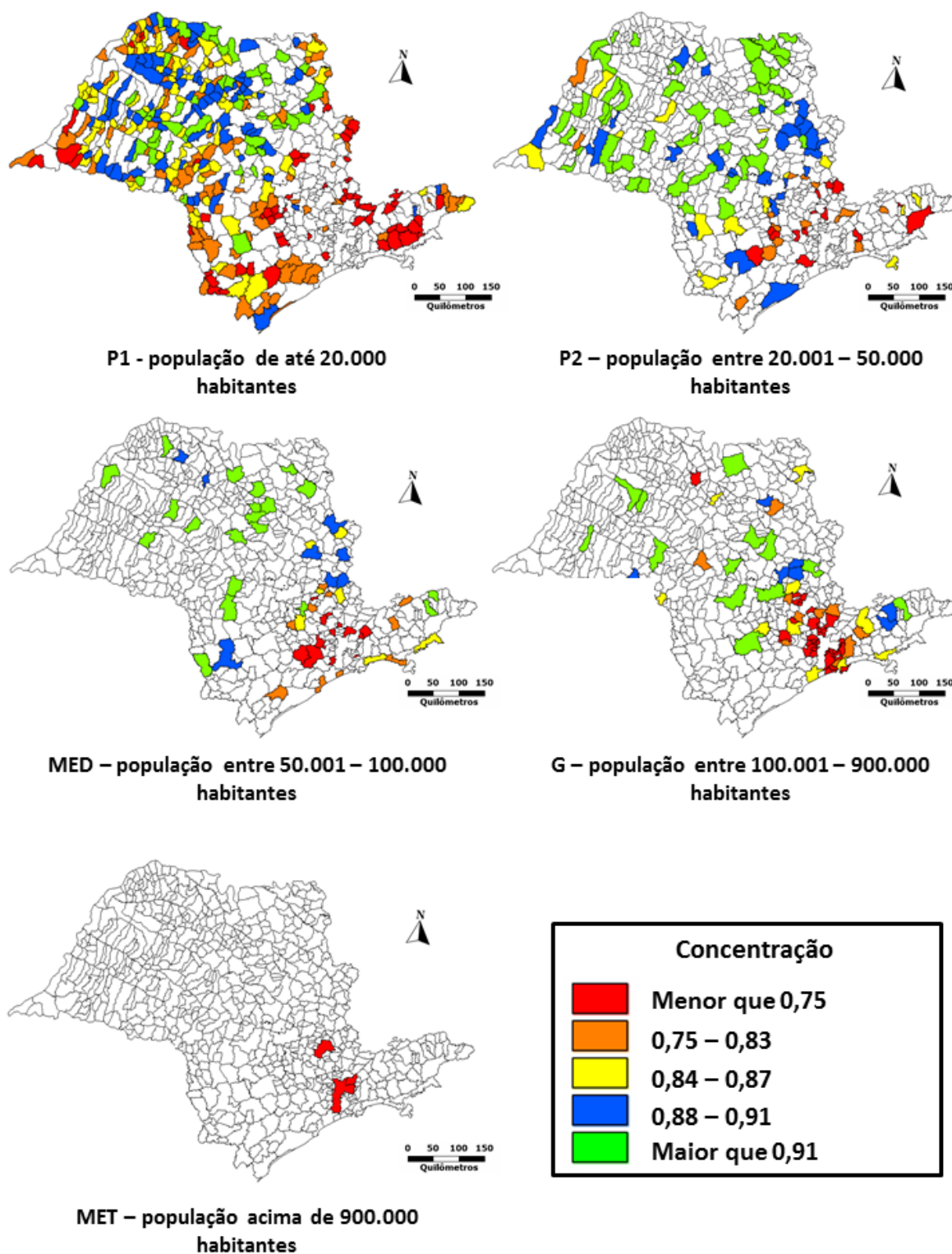


Figura 15: Resultados para a métrica Concentração, de acordo com o porte dos municípios.

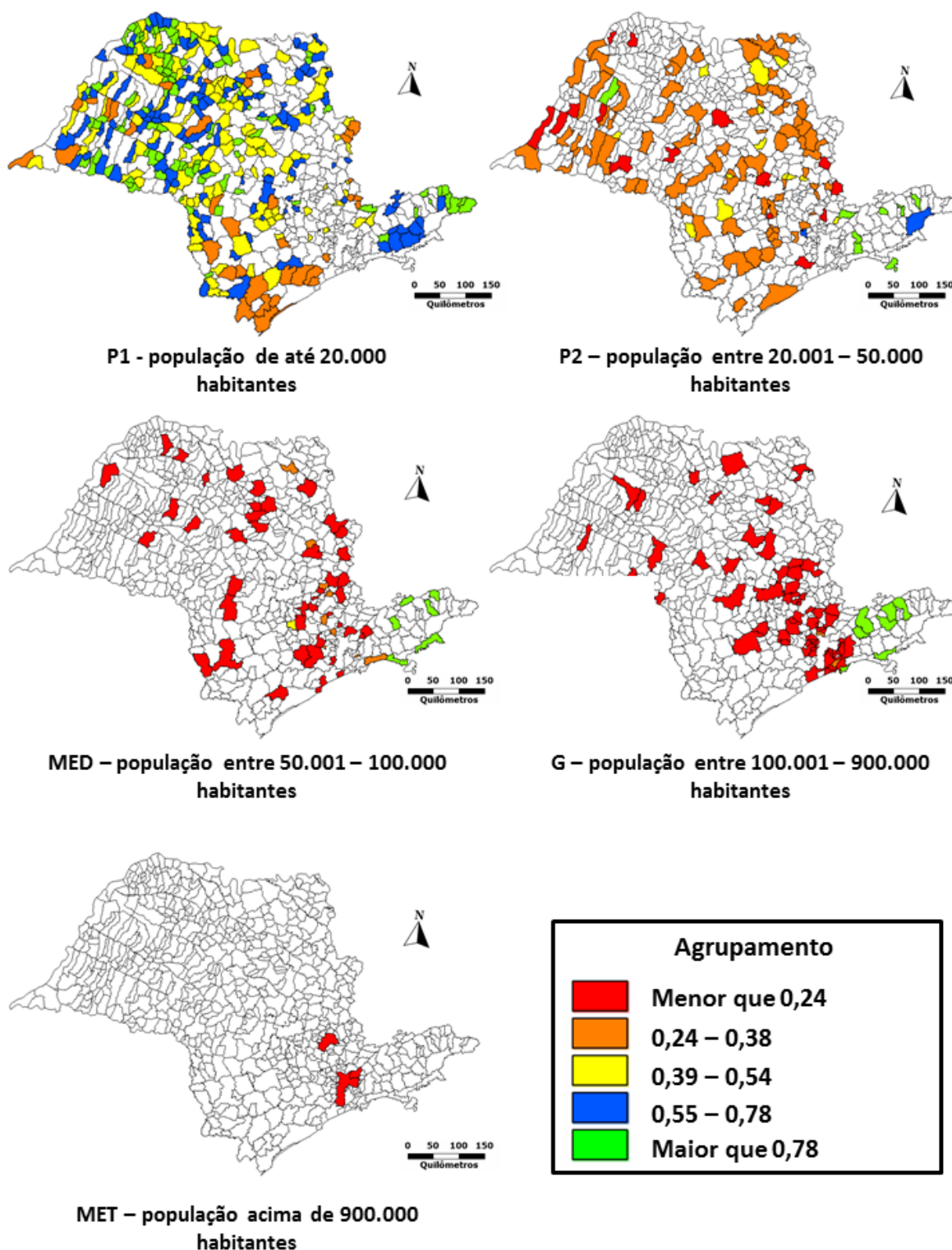


Figura 16: Resultados para a métrica Agrupamento, de acordo com o porte dos municípios.

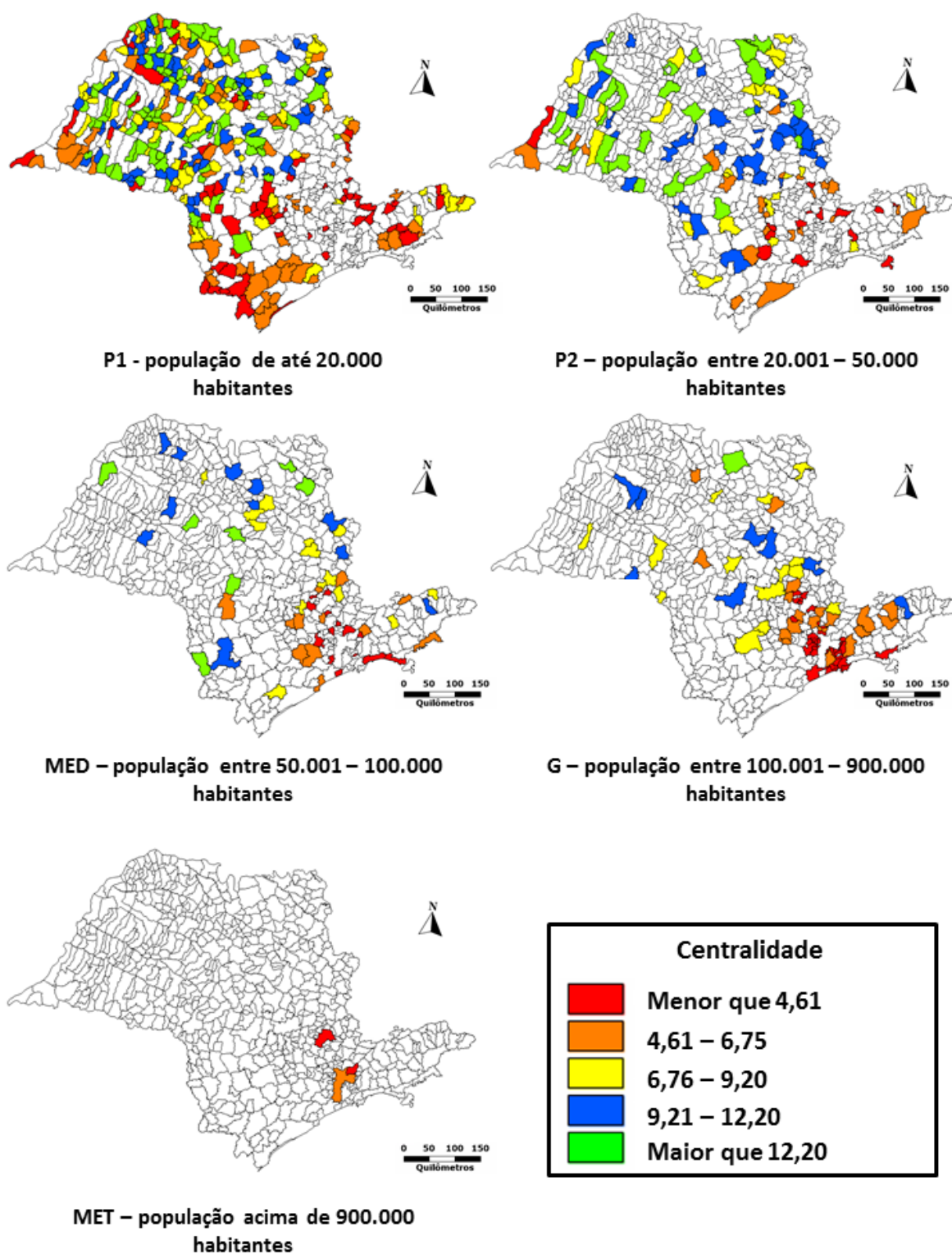


Figura 17: Resultados para a métrica Centralidade, de acordo com o porte dos municípios.

APÊNDICE B – EXEMPLO APLICADO PARA AS MÉTRICAS ESPACIAIS

Este Apêndice traz um exemplo aplicado para o município de Borá, com o intuito de detalhar o cálculo das quatro métricas espaciais (Densidade Domiciliar, Agrupamento, Concentração e Centralidade) utilizadas neste trabalho. As unidades espaciais de análise utilizadas estão demonstradas na Figura 4.

1. Densidade Domiciliar

A unidade espacial de análise é composta pelas células urbanas de 1 x 1 km (base m), conforme a Figura 18.

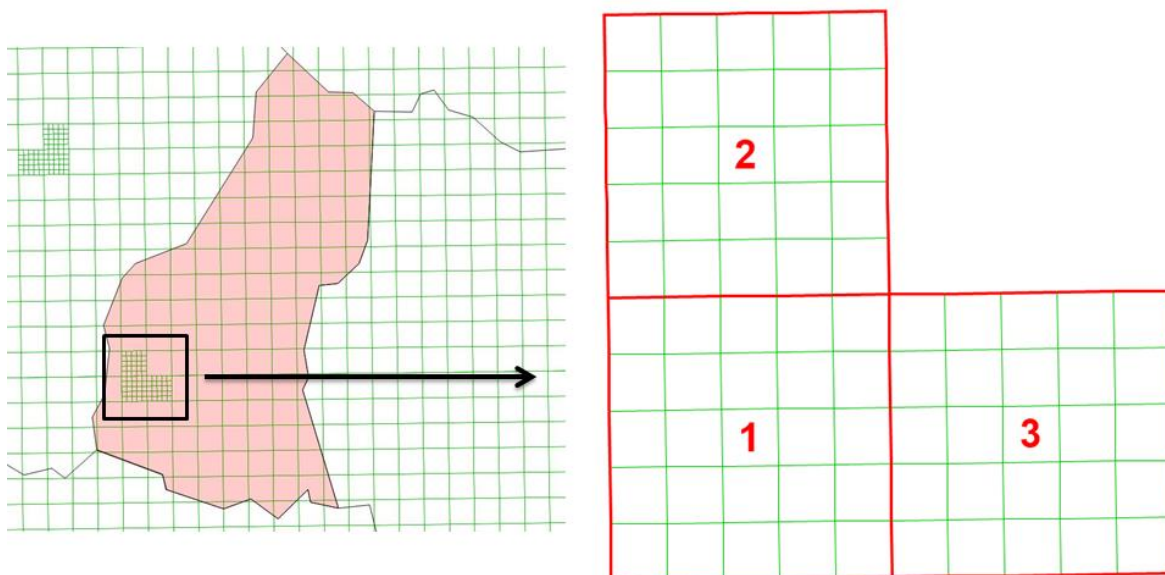


Figura 18: Município de Borá e o detalhe de suas células urbanas de 1 x 1 km (vermelho) formando a base m (sem escala).

Dessa forma, a Tabela 13 mostra resumidamente os dados de cada célula, para obtenção da Densidade Domiciliar do município em questão.

Tabela 13: Valores das variáveis utilizadas para o cálculo da Densidade Domiciliar, conforme células 1 x 1 km (base *m*)

Célula	Nº de unidades residenciais (T(i)m)	Área (km²) (Am)
1	154	1,00
2	14	1,00
3	2	1,00
Soma	170 - (T(i)u)	3,00 - (Au)

Portanto, de acordo com a equação (2) tem-se:

$$D(i)u = T(i)u/Au = 170/3,00 = \mathbf{56,67 \text{ res./km}^2}$$

2. Concentração

A unidade espacial de análise é composta pelas células urbanas de 1 x 1 km (base *m*), conforme a Figura 18. Sendo assim, a Tabela 14 mostra resumidamente os dados de cada célula, para obtenção da Concentração do município em questão.

Tabela 14: Valores das variáveis utilizadas para o cálculo da Concentração, conforme células 1 x 1 km (base *m*)

Célula	Nº de unidades residenciais (T(i)m)	Área (km²) (Am)	$\frac{T(i)m}{T(i)u}$	$\frac{Am}{Au}$	$\left \left[\frac{T(i)m}{T(i)u} \right] - \left[\frac{Am}{Au} \right] \right$
1	154	1,00	0,906	0,333	0,573
2	14	1,00	0,082	0,333	0,251
3	2	1,00	0,012	0,333	0,321
Soma	170 - (T(i)u)	3,00 - (Au)			1,145

Portanto, de acordo com a equação (3) tem-se:

$$DELTA(i)u = \left(\frac{1}{2} \right) \sum_{m=1}^M \left| \left[\frac{T(i)m}{T(i)u} \right] - \left[\frac{Am}{Au} \right] \right| = \frac{1,145}{2} = \mathbf{0,58}$$

3. Agrupamento

A unidade espacial de análise é composta pelas células urbanas de 200 x 200 m (base *s*) e pelas de 1 x 1 km (base *m*), conforme a Figura 19.

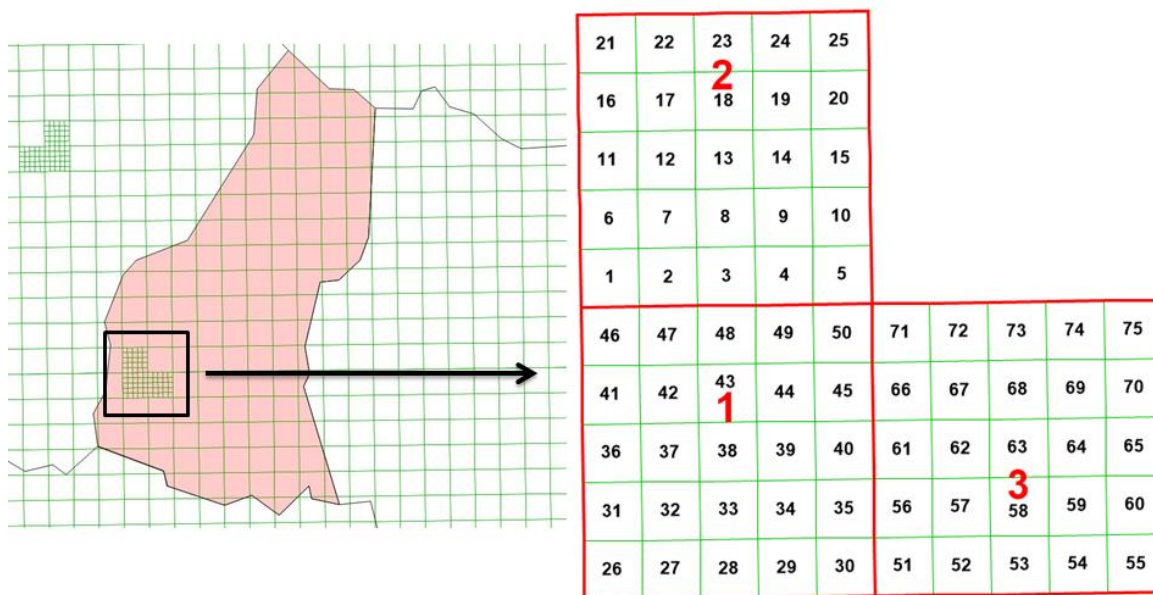


Figura 19: Município de Borá e o detalhe de suas células urbanas de 200 x 200 m (verde) formando a base *s* e as células de 1 x 1 km (vermelho) formando a base *m* (sem escala).

Dessa forma, a Tabela 15 mostra como obter a densidade de uso do solo para a base *m* ($D(i)m$).

Tabela 15: Resumo da obtenção da densidade de uso do solo para a base *m* ($D(i)m$).

Célula	Nº de unidades residenciais ($T(i)m$)	Área (km ²) (A_m)	$D(i)m = T(i)m / A_m$	$D(i)m / M$ ($M = \text{nº total de células } m$)
1	154	1,00	154,00	$154,00/3 = 51,33$
2	14	1,00	14,00	$14,00/3 = 4,67$
3	2	1,00	2,00	$2,00/3 = 0,67$
Soma				56,67

Já a Tabela 16 mostra como obter a densidade de uso do solo para a base *s* ($D(i)s$).

Tabela 16: Resumo da obtenção da densidade de uso do solo para a base s ($D(i)s$)

Célula	Nº de unidades residenciais ($T(i)s$)	Área (km^2) (As)	$D(i)s = T(i)s / As$
1	0	0,02	0,00
2	1	0,02	50,00
3	6	0,02	300,00
4	7	0,02	350,00
....	...	...	...
72	0	0,02	0,00
73	0	0,02	0,00
74	0	0,02	0,00
75	0	0,02	0,00

Sendo assim, a Tabela 17 visa mostrar o comportamento das células 200 x 200 m (base s) em relação às células 1 x 1 km (base m) correspondentes.

Tabela 17: Resumo da agregação das células 200 x 200 m em relação às células 1 x 1 km correspondentes

Célula s	Célula m	$(D(i)s)$	$D(i)m$	$[D(i)s - D(i)m]^2$	$(\sum_{s=1}^{25} [D(i)s - D(i)m]^2)$
1	2	0,00	14,00	196,00	69.500,00
2		50,00		1.296,00	
...		...		...	
24		0,00		196,00	
25		0,00		196,00	
26	1	0,00	154,00	23.716,00	692.300,00
27		0,00		23.716,00	
...		...		...	
49		550,00		156.816,00	
50		0,00		23.716,00	
51	3	100,00	2,00	9.604,00	9.700,00
52		0,00		4,00	
...		...		...	
74		0,00		4,00	
75		0,00		4,00	

Por fim tem-se a Tabela 18, que conclui a agregação dos dados nas células 1 x 1 km (base m).

Tabela 18: Agregação das células 1 x 1 km correspondentes

Célula m	$(\sum_{s=1}^{25} [D(i)s - D(i)m]^2)$	$(\sum_{s=1}^{25} [D(i)s - D(i)m]^2 / 25)$
1	692.300,00	166,41
2	69.500,00	52,73
3	9.700,00	19,70
Soma		238,84

Portanto, de acordo com a equação (4) tem-se:

$$CLUS(i)_u = \frac{[\sum_{m=1}^M (\sum_{s=1}^{25} [D(i)_s - D(i)_m]^2 / 25)^{0,5} / M]}{[\sum_{m=1}^M D(i)_m / M]} = \frac{(\frac{238,84}{3})}{56,67} = 1,40$$

4. Centralidade

A unidade espacial de análise é composta pelas células urbanas de 1 x 1 km (base m), conforme a Figura 18. O CBD (*Central Business District*) adotado neste trabalho é o centroide da área urbana (base u) do município determinada pela Grade Estatística do IBGE, conforme a Figura 20.

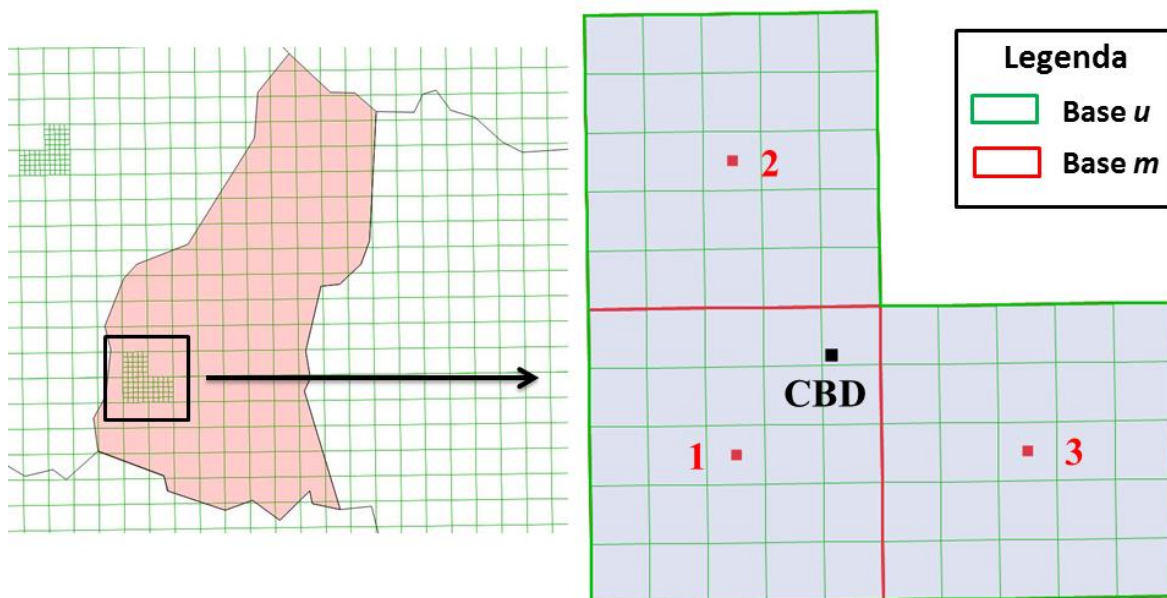


Figura 20: Município de Borá e seu CBD (*Central Business District*), determinado pelo centroide da área urbana do município (base u), além dos centroides (vermelho) das células 1 x 1 km (base m) – sem escala.

Sendo assim, a Tabela 19 mostra resumidamente os dados de cada célula, para obtenção da Centralidade do município em questão.

Tabela 19: Valores das variáveis utilizadas para o cálculo da Centralidade, conforme células 1 x 1 km (base m)

Célula	Nº de unidades residenciais ($T(i)m$)	Área (km²) (A_m)	Distância entre centroide e CBD (km) $F(CBD, m)$	$F(CBD, m) \cdot T(i)m$
1	154	1,00	0,29	44,66
2	14	1,00	0,47	6,58
3	2	1,00	0,46	0,92
Soma	170 - ($T(i)u$)	3,00 - (A_u)		52,16

Portanto, de acordo com a equação (5) tem-se:

$$CBDDIST = \frac{T(i)u Au^{0,5}}{\sum_{m=1}^M F(CBD, m)T(i)m} = \frac{170 \cdot 3,00^{0,5}}{52,16} = \frac{294,44}{52,16} = \mathbf{5,64}$$