



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL

INDICADORES DE DISPERSÃO URBANA

Alice Rauber Gonçalves

Porto Alegre

2011

Alice Rauber Gonçalves

INDICADORES DE DISPERSÃO URBANA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Planejamento Urbano e Regional.

Orientador: Prof. Romulo Krafta, PhD

Porto Alegre

2011

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo ensino de qualidade durante graduação e pós-graduação; e também a Capes pelo suporte financeiro no mestrado.

Agradeço imensamente professores, colegas e amigos que contribuíram para a realização dessa pesquisa e que fizeram parte dessa jornada, dentre os quais destaco:

Prof. Romulo Krafta, pela competente e objetiva orientação, e pela confiança no meu trabalho.

Prof. Benamy Turkienicz, por me oportunizar, junto ao SimmLab, excelente aprendizado prévio ao mestrado.

Integrantes do Grupo de Pesquisa Sistemas Configuracionais Urbanos, em especial Vinicius Netto, pelas contribuições preciosas, e Patrícia Gheno, por me ceder material de sua pesquisa.

Prof. Tabajara Lucas de Almeida, pelo auxílio com as análises estatísticas.

Agradecimentos mais do que especiais à família, principalmente Lourdes e Felipe, pelo apoio; e Guilherme, companheiro de todas as horas, pelo carinho e total incentivo às minhas escolhas.

RESUMO

As cidades vêm passando por significativas transformações, nas últimas décadas, em seus padrões de urbanização, sendo a dispersão urbana característica marcante deste processo. Surgem novas configurações, dispersas, descontínuas e de baixa densidade, distintas da tradicional cidade compacta, com evidentes implicações no desempenho urbano, embora ainda não totalmente conhecidas e estudadas. Entender os efeitos, principalmente aqueles não desejados, de certos padrões de ocupação urbana representa, hoje, grande desafio para o planejamento das cidades, sendo urgente aumentar sua compreensão a fim de melhor direcionar políticas urbanas. Diante desse cenário, desponta a necessidade de reforço na qualidade das metodologias de análise e monitoramento da expansão urbana, principalmente por meio de indicadores. Recentes estudos vêm sendo desenvolvidos no intuito de quantificar aspectos relacionados à dispersão urbana, consistindo em importantes avanços no sentido de tratar o tema com maior precisão. Apresentam, no entanto, certas limitações metodológicas, principalmente no que tange à representação de certos aspectos do sistema espacial urbano, tais como configuração da rede de ruas e distribuição das atividades. Em outras palavras, boa parte dos estudos existentes não tem levado em conta a escala intra-urbana. A presente investigação se propôs a contribuir para o desenvolvimento de metodologias para avaliação da dispersão, aprofundando questões espaciais e configuracionais relacionadas ao tema, pouco exploradas até o momento. Para tanto, buscou referências na investigação sobre indicadores urbanos, especialmente nos trabalhos que vem sendo desenvolvido pelo grupo de pesquisa Sistemas Configuracionais Urbanos da UFRGS. Dessa forma, procurou-se avançar na questão da mensuração da dispersão urbana através da introdução de sistema descritivo detalhado e indicadores sistêmicos para medir acessibilidade entre locais de residência e locais de trabalho, item chave do desempenho urbano. Os indicadores foram testados em pequenos sistemas teóricos e para o caso empírico do município de Torres. Os resultados demonstraram que o método possui potencial para utilização em estudos comparativos sobre desempenho urbano de padrões dispersos, sendo esta a principal contribuição do trabalho.

Palavras chave: dispersão urbana, indicadores de dispersão urbana, desempenho urbano, sistemas configuracionais urbanos

ABSTRACT

Cities have undergone through meaningful changes in their urban development patterns, in last decades. Urban sprawl can be seen as an outstanding characteristic of this process. New urban settings can be found – scattered, discontinuous and low density – different from the compact city, with obvious implications on urban performance, although not completely understood. More detailed research on this subject is needed to enable more accurate assessments about effects of sprawl on urban environment. Knowing effects, mainly undesirable effects, of certain urban patterns is, nowadays, one of major challenges to urban planning, being urgent more understanding about it in order to better address urban policies. So, there is the urgent need of strengthening the quality of analysis methodologies and monitoring of urban development, especially by means of indicators. Recent efforts have been made in order to develop methodologies for measuring sprawl, which have enabled more accurate assessments about the subject. However, they present some limitations, especially about the way certain aspects of urban systems has been described, such as configuration of streets and spatial distribution of urban activities. In other words, most of current methodologies for measuring sprawl do not consider intra urban level. The current research aimed to contribute to development of methodologies for assessment of urban sprawl, deepening spatial and configuration issues, little explored by urban sprawl researchers. The proposal consisted of using urban indicators of urban performance, especially those developed by Configurational Urban Systems research group from UFRGS. A more detailed descriptive method and systemic indicators were used in order to grasp accessibility between dwelling and job location, a key element of urban performance evaluation. The indicators were applied to small theoretical systems and also to the town of Torres case study. The results indicates that the proposed method has potential for being used in comparative studies about urban sprawl and its urban performance, and that is the main contribution of this research.

Key words: urban sprawl, sprawl measurement, urban performance, configurational urban systems

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de grafos

Figura 2 – Diferentes tipos de representação de dados configuracionais urbanos e seus respectivos grafos.

Figura 3 – Gradiente de densidade

Figura 4 – Gradientes de densidade de Los Angeles e Buenos Aires

Figura 5 – Gradientes de densidade das cidades de Porto Alegre e Rio de Janeiro

Figura 6 – Grafo em representação *primal* e *dual*

Figura 7 – Grafo com seus respectivos atributos

Figura 8 – Visualização dos resultados da medida

Figura 9 – Sistemas 1a, 1b, 1c, 1d e 1e com respectivos resultados

Figura 10 – Sistemas 2a, 2b e 2c, com respectivos resultados

Figura 11 – Sistemas 2e e 2d com respectivos resultados

Figura 12 – Sistemas 2f, 2g, 2h e 2i com respectivos resultados

Figura 13 – Comparações entre as médias obtidas para cada Sistema

Figura 14 – Sistemas 3a, 3b, 3c, 3d, 3e e 3f, com respectivos resultados

Figura 15 – Resultado do teste estatístico

Figura 16 – Sistemas 3g, 3h e 3i com respectivos resultados

Figura 17 – Áreas urbanas – urbanizadas e não urbanizadas – e zona rural de Torres

Figura 18 – Estrutura urbana

Figura 19 – Setores censitários (Censo 2010) classificados segundo densidade populacional e densidade de domicílios particulares permanentes

Figura 20 – Densidade de domicílios particulares permanentes (DPP) de uso ocasional de cada setor censitário (Censo 2010) de Torres e gráfico mostrando a porcentagem de DPP de cada tipo

Figura 21 – Localização das atividades não residenciais no Município de Torres e sua relação com a densidade dos setores censitários

Figura 22 – Resumo dos procedimentos e suas respectivas plataformas computacionais

Figura 23 – Grafo de Torres e detalhe da extração dos nós.

Figura 24 – Setores censitários classificados segundo número de domicílios. Cores mais escuras representam maior quantidade de domicílios por nó.

Figura 25 – Nós carregados com os dados dos setores censitários. Pontos maiores representam aqueles que possuem maior número de domicílios.

Figura 26 – Estabelecimentos comerciais

Figura 27 – Polígonos de Thiessen

Figura 28 – Contagem do número de estabelecimentos em cada polígono

Figura 29 – Nós classificados segundo o número de estabelecimentos de comércio e serviços correspondente.

Figura 30 – Distribuição dos domicílios ocupados em Torres

Figura 31 – Distribuição dos estabelecimentos de comércio e serviços em Torres

Figura 32 – Fluxograma de cálculo do modelo de acessibilidade ponderada

Figura 33 – Resultados para a medida de Acessibilidade Simples

Figura 34 – Resultados do indicador de Acessibilidade Ponderada para o Cenário 1 de distribuição dos estabelecimentos comerciais

Figura 35 – Resultados do indicador de Acessibilidade Ponderada para o Cenário 2 de distribuição dos estabelecimentos comerciais

Figura 36 – Resultados do indicador de Acessibilidade Ponderada para o Cenário 3 de distribuição dos estabelecimentos comerciais

Figura 37 – Gráfico mostrando como os resultados se comportam para cada um dos destinos testados

Figura 38 – Gráfico mostrando como os resultados se comportam para cada uma das origens testadas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ranking elaborado por dois pesquisadores brasileiros, mostrando as cidades em ordem decrescente de dispersão.

Tabela 2 – Comparação dos resultados obtidos utilizando a equação 1 e a 2

Tabela 3 – Resumo dos resultados dos sistemas 1a, 1b, 1c, 1d e 1e

Tabela 4 – Resumo dos resultados dos sistemas 2a, 2b e 2c

Tabela 5 – Resumo dos resultados dos sistemas 2d e 2e

Tabela 6 – Resumo dos resultados dos sistemas 2f, 2g, 2h e 2i

Tabela 7 – Resumo dos resultados dos sistemas 3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f, 3g e 3h

Tabela 8 – Resumo dos resultados dos sistemas 3g, 3h e 3i

Tabela 9 – Resultados do Indicador de Dispersão

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplos de modelos

Quadro 2 – Principais indicadores de dispersão urbana encontrados na literatura recente

Quadro 3 – Possíveis variações na representação de certas propriedades no grafo

Quadro 4 – Resumo das etapas que compõem a metodologia

Quadro 5 – Diferentes padrões de distribuição dos empregos, para os quais os indicadores foram testados

Quadro 6 – Diferentes padrões de distribuição dos domicílios, para os quais os indicadores foram testados

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificativa, objetivos e relevância da pesquisa.....	13
1.2 Estrutura do trabalho.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Modelagem urbana.....	16
2.1.1 Sistemas e configuração espacial.....	19
2.1.2 Morfologia urbana de enfoque configuracional.....	20
2.1.3 Modelos configuracionais urbanos.....	23
2.2 Indicadores de desempenho urbano.....	26
2.2.1 Desempenho urbano.....	27
2.2.2 Configuração espacial e desempenho urbano.....	30
2.2.3 Indicadores de desempenho baseados em modelos configuracionais urbanos.....	32
2.3 Métodos para mensurar dispersão urbana.....	34
2.3.1 Questões teóricas e metodológicas.....	34
2.3.1.1 <i>Dispersão urbana: conceito e caracterização</i>	34
2.3.1.2 <i>Recorte e escala de abordagem</i>	37
2.3.2 Indicadores de dispersão urbana.....	39
3. SÍNTESE TEÓRICA	48
3.1 Dispersão urbana e efeitos no desempenho.....	48
3.2 Pressupostos e definições teóricas.....	52
4. DESENVOLVIMENTO DOS INDICADORES	55
4.1 Representação do sistema espacial urbano.....	55
4.2 Definição dos indicadores.....	57
4.3 Método de cálculo.....	59
4.3.1 Acessibilidade Ponderada.....	59
4.3.2 Indicador de Dispersão Urbana.....	63
4.4 Estudos exploratórios.....	65
4.4.1 Variações na configuração da malha urbana.....	66
4.4.2 Variações nos atributos de destino.....	68
4.4.2 Variações nos atributos de origem.....	73
4.5 Comentários finais sobre o método proposto.....	79
5. ESTUDO DE CASO: TORRES – RS	82

5.1	Justificativa da escolha.....	82
5.2	Caracterização geral e recorte da área de estudo.....	83
5.3	Metodologia.....	87
	5.3.1 Formatação e tratamento dos dados.....	88
	5.3.2 Cálculo dos indicadores.....	93
	5.3.3 Métodos de análise dos resultados.....	94
5.4	Aplicação dos indicadores.....	95
	5.4.1 Acessibilidade Simples.....	95
	5.4.2 Indicador de Acessibilidade Ponderada.....	96
	5.4.3 Indicador de Dispersão.....	99
5.5	Discussão dos resultados.....	102
6.	CONCLUSÕES.....	104
6.1	Potencialidades e limitações do método.....	104
6.2	Possibilidades de desdobramentos da pesquisa.....	107
	REFERÊNCIAS.....	109

1.INTRODUÇÃO

As cidades vêm passando por significativas transformações, nas últimas décadas, em seus padrões de urbanização, sendo a dispersão urbana característica marcante deste processo. Os assentamentos urbanos têm assumido novas configurações – fragmentadas, descontínuas e de baixa densidade – distintas da tradicional cidade compacta. Constatase um significativo aumento da expansão urbana periférica de baixa densidade e com complexa distribuição de atividades. Tais transformações são decorrentes, principalmente, de mudanças nos padrões de consumo e de produção, avanços nas tecnologias de comunicação, desenvolvimento de infraestruturas de transporte e popularização do automóvel.

Nesse contexto, a dispersão urbana pode ser considerada como forte tendência no processo mais recente de urbanização. Esse tipo de urbanização teve início nos Estados Unidos, a partir da década de 1940, quando famílias de classe média transferem suas residências para áreas suburbanas; e atividades tipicamente urbanas começam a se deslocar para o campo, dispondo-se, principalmente, ao longo dos grandes eixos de transporte. Nas décadas subsequentes, padrões semelhantes passam a ser observados em outras partes do mundo.

No Brasil, assim como em outros países da América Latina, o processo diferencia-se daquele ocorrido nos Estados Unidos, fundamentalmente por ter iniciado com a dispersão de assentamentos de baixa renda. Núcleos habitacionais distantes das cidades foram implantados para suprir a demanda por moradia, principalmente da população ligada ao trabalho operário das atividades industriais. Contudo, o que se percebe é que nos últimos vinte anos se multiplicam, nas cidades brasileiras, bairros de classe média e alta em áreas afastadas de centros urbanos, de maneira muito semelhante ao que já ocorria nos Estados Unidos a partir de meados do século passado. A procura por moradias em condomínios e loteamentos fechados em zonas afastadas das cidades, por parte das camadas de média e alta renda, aumentou significativamente nos últimos anos, revelando uma tendência cada vez mais forte. Enquanto isso, áreas igualmente afastadas, seguem sendo ocupadas pela população de baixa renda, como modo de enfrentar a falta de opções de moradia nas estruturas existentes. Ambos os processos conformam um preocupante quadro de expansão urbana que vem se dando de forma cada vez mais dispersa.

Os motivos históricos e socioeconômicos que têm levado à forma urbana dispersa são muitos e não serão objeto de estudo deste trabalho. O foco aqui serão as características da dispersão urbana e seus efeitos sobre o desempenho urbano.

Cidades que crescem de maneira mais dispersa assumem dinâmicas distintas daquelas que se configuram de forma mais concentrada, mais verticalizada. As relações entre localizações de moradia e locais de consumo e de trabalho tendem a ser mais complexas, nesse caso, já que distâncias tornam-se potencialmente maiores e as centralidades se multiplicam. Este é apenas um exemplo de implicação da forma urbana no desempenho urbano. Diferentes formas de ocupar o espaço levam a diferentes impactos econômicos, sociais e ambientais, e, portanto, pode-se afirmar que forma urbana possui papel central no debate sobre desempenho urbano.

A forma urbana dispersa frequentemente é tida, nos estudos urbanos, como sinônimo de baixo desempenho em termos de eficiência, equidade e sustentabilidade. Por implicar em maiores distâncias e maiores deslocamentos internos, principalmente por meio de veículos particulares, é usualmente associada a uma série de aspectos negativos, como aumento do tempo e custo dos deslocamentos, maior consumo de combustíveis fósseis, maior emissão de poluentes, e mau-aproveitamento da infraestrutura de transporte e serviços urbanos. Por isso o fenômeno da dispersão urbana vem sendo motivo de crescente preocupação por parte de gestores urbanos e pesquisadores da área de planejamento urbano e regional. Além disso, o recente aumento de interesse em torno da sustentabilidade trouxe à tona essas questões, conferindo maior destaque para o debate sobre forma urbana (compacta x dispersa) e desempenho urbano. Entender efeitos negativos e positivos decorrentes de determinadas formas de ocupação é algo essencial ao planejamento urbano. Compreender fenômeno tão complexo como o da dispersão urbana e suas relações de causa e efeito, no entanto, não é tarefa fácil, tendo em vista as inúmeras forças que agem sobre o urbano e a imprevisibilidade destas.

Frente a esse panorama, urge a necessidade de reforçar a qualidade das metodologias de análise e de monitoramento dos processos de expansão urbana, a fim de apreender com mais precisão seus diferentes efeitos. Existem muitas possíveis implicações do padrão de urbanização disperso no desempenho, embora estas relações de causa-efeito não sejam totalmente conhecidas ou comprovadas, permanecendo no campo das suposições. Métodos disponíveis para tais verificações, bem como estudos empíricos, apenas mais recentemente começaram a aparecer na literatura, consistindo em importantes avanços no sentido de tratar o tema com mais precisão. Pode-se afirmar, no entanto, que são ainda pouco explorados nos estudos urbanos sobre dispersão, levando-se em conta a importância desse

tipo de investigação. Tem-se aqui o ponto de partida da presente pesquisa, que se resume na seguinte questão: como avaliar, de maneira precisa, o fenômeno da dispersão urbana e seus efeitos no desempenho urbano?

1.1. JUSTIFICATIVA, OBJETIVOS E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

A dispersão é um problema contundente no Brasil, e, portanto, faz-se necessário uma observação mais atenta e precisa dos processos de expansão urbana. Trata-se de um fenômeno que, dada sua suposta correlação com efeitos não desejados, merece atenção especial de planejadores e gestores urbanos no sentido de melhor entendê-lo a fim de melhor direcionar políticas urbanas. As administrações públicas, em geral, encontram-se despreparadas para lidar com o crescimento urbano, especialmente o crescimento que extrapola o limite do tecido urbano das cidades, que se traduz muitas vezes em vastos bolsões de pobreza, ocupações irregulares e condomínios residenciais – algumas das diferentes modalidades que a dispersão assume no caso brasileiro. Esse crescimento periférico em geral ocorre sem conexão adequada com o todo urbano, gerando problemas de mobilidade e outros, já mencionados. Faltam, entretanto, ferramentas que subsidiem decisões sobre políticas públicas e também instrumentos de planejamento para dar conta dessas novas formas de organização territorial.

Nesse contexto, indicadores urbanos despontam como importantes ferramentas de suporte a decisão e de monitoramento do desempenho de padrões de expansão territorial, a qual vem ocorrendo, sobretudo, de forma dispersa. Esta pesquisa visa fornecer subsídios para o monitoramento desses aspectos, através da investigação de critérios de análise e métodos para mensuração da dispersão urbana.

O problema de pesquisa teve origem na constatação do alto grau de subjetividade que prevalece em boa parte dos estudos sobre dispersão urbana, e na identificação de certas lacunas nos métodos de análise quantitativos, que começaram, mais recentemente, a aparecer na literatura, sobre mensuração da dispersão urbana. Tais abordagens têm se focado excessivamente na questão das densidades populacionais e na forma urbana mais geral, sem, no entanto, avaliar particularidades internas da forma urbana, como a rede de ruas e a distribuição das atividades residenciais e não residenciais, e também seus graus de acessibilidade, aspectos esses mais diretamente relacionados com desempenho urbano.

No intuito de contribuir para o debate sobre a dispersão urbana, este trabalho tem por objetivo investigar métodos para avaliar com mais precisão a dispersão urbana, sob o ponto de vista dos efeitos que ela produz no desempenho urbano e explorar o uso de indicadores. Tal exploração é feita no âmbito de pesquisa dos sistemas configuracionais urbanos, com o emprego de técnicas de modelagem computacional.

A hipótese central desta pesquisa é que uma descrição detalhada do sistema urbano, que leve em conta particularidades da forma urbana, como configuração da rede de ruas e distribuição das atividades, pode ser utilizada para aferição de efeitos da dispersão, permitindo avaliar dimensões do fenômeno ainda pouco exploradas, metodologicamente, nos estudos urbanos.

A relevância deste trabalho está no aprofundamento de metodologias para descrição do fenômeno e aferição de seus efeitos, buscando trazer ao debate aspectos que têm ficado de fora dos estudos sobre dispersão urbana. Em termos metodológicos, o trabalho aponta para o desenvolvimento de medidas de dispersão que incorporam avanços realizados no âmbito dos sistemas configuracionais urbanos, tais como ferramentas para descrição de características morfológicas, baseadas em técnicas de modelagem computacional, e possíveis indicadores para aferição de desempenho urbano. No campo teórico, a relevância está em explorar o problema da dispersão dentro do campo dos estudos configuracionais urbanos, buscando identificar maneiras adequadas de descrever o fenômeno e que permitam aferir seus efeitos, bem como testar suas limitações para esse tipo de investigação.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação se divide em 6 capítulos.

O capítulo 2 contém a revisão teórica da pesquisa, subdividida em três seções – modelagem urbana, indicadores de desempenho urbano e métodos para mensurar dispersão urbana – que trazem as referências básicas para o desenvolvimento teórico e metodológico pretendido.

O terceiro capítulo faz uma síntese teórica a partir da revisão da literatura, propondo uma exploração metodológica acerca do uso de indicadores baseados na medida de acessibilidade como forma de descrever a dispersão urbana e de relacioná-la com aspectos de desempenho urbano. Como recorte teórico, o problema da dispersão é centrado na

relação espacial entre atividades residenciais e não residenciais, e nas possibilidades de mensurar graus de acessibilidade entre as mesmas – considerado nessa pesquisa como importante aspecto do desempenho urbano.

O quarto capítulo apresenta a proposição metodológica para a mensuração da dispersão urbana, com indicadores baseados em medidas de acessibilidade, e que levam em conta particularidades como a rede de espaços urbanos e seus conteúdos socioeconômicos (atividades). Apresenta também alguns estudos exploratórios realizados, onde pequenos sistemas teóricos representando diferentes formas de urbanização são comparados entre si, por meio dos indicadores propostos.

O quinto capítulo contém a aplicação dos indicadores propostos a estudo de caso empírico, o município de Torres, no Rio Grande do Sul, e discussão dos resultados obtidos.

O sexto e último capítulo contém as conclusões, apontando potencialidades e limitações do método, bem como possíveis desdobramentos do trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo se refere à identificação de abordagens relevantes para a montagem teórica da pesquisa e que forneçam suporte para a montagem metodológica. A aplicação de indicadores de desempenho urbano como forma de aferir impactos da dispersão, objetivo desta pesquisa, requer a revisão de alguns conceitos apresentados aqui em três seções.

A primeira seção objetiva fundamentar a metodologia proposta neste trabalho, apresentando uma breve revisão sobre modelos desenvolvidos no âmbito de pesquisa dos estudos configuracionais urbanos. São abordados conceitos básicos sobre sistemas, modelos, técnicas de representação de redes espaciais e medidas de diferenciação espacial.

A segunda seção trata indicadores de desempenho urbano que se aproximam da abordagem apresentada no bloco anterior, mostrando como o estudo configuracional urbano vem evoluindo para o desenvolvimento de indicadores de desempenho baseados em modelos que representam a cidade de modo sistêmico. Trata-se de uma abordagem pouco explorada dentro dos estudos urbanos, mas que se mostra promissora na avaliação de desempenho, portanto, útil para a aferição de impactos de padrões urbanos dispersos.

A terceira seção trata de dispersão urbana e métodos de mensuração/avaliação. São discutidas dificuldades teóricas e metodológicas envolvidas na tarefa de mensurar o fenômeno, como a questão da definição do conceito de dispersão urbana e sua caracterização precisa; e também do recorte territorial e da escala de abordagem. Por fim, se faz uma revisão de recentes pesquisas acadêmicas que tratam de tomar o fenômeno pelo lado quantitativo, procurando identificar lacunas, nesses métodos, principalmente em relação a aspectos morfológicos.

2.1 MODELAGEM URBANA

Modelos são representações da realidade e consistem em instrumentos que possibilitam cientistas explorar e testar hipóteses sobre o mundo real. Sua vantagem está em prover um quadro simplificado e inteligível da realidade, o que facilita sua compreensão (Echenique, 1976, p. 17). Nesse sentido, servem como mediadores entre a realidade e a teoria, e possuem papel central na maneira como transpomos esses dois domínios (Batty, 2007a, p. 5). São instrumentos particularmente úteis quando o objeto de estudo é a cidade, dada a sua natureza complexa e a grande quantidade de subsistemas que a compõe. Tratando-se

de representações simplificadas, determinados elementos da realidade devem ser escolhidos, o que possibilita trabalhar apenas com aqueles mais relevantes para um dado objetivo. Trata-se de um processo de observação e abstração, onde os problemas para cuja resolução se desenha o modelo determinam a seleção de certas características importantes (Echenique, 1976, p. 17).

Batty (2007a) e Echenique (1976) distinguem diferentes tipos de modelos. Ambos os autores diferenciam os modelos icônicos dos modelos simbólicos (Batty, 2007a), ou analógicos (Echenique, 1976). Icônicos são aqueles onde os elementos são representados por suas próprias características ou por analogias, apenas em uma escala diferente, como maquetes e modelos computacionais em 3D. Simbólicos são aqueles em que as características relevantes são expressas por símbolos ou por outras propriedades, como mapas, onde, por exemplo, estradas podem ser representadas por linhas e edificações por pontos ou polígonos, dependendo da escala e do nível de abstração da representação utilizada. Na contribuição de Echenique (1976, p.24), há modelos em que as características mais relevantes estão representadas por conceitos, havendo os modelos verbais e os matemáticos. Nos verbais, a descrição da realidade se faz em termos lógicos, utilizando a palavra oral ou escrita, enquanto que nos matemáticos, a realidade se representa mediante o uso de símbolos e as relações se expressam por meio de operações.

Todos os tipos de modelos mencionados podem ser construídos tanto no meio físico (material) quanto no meio digital. O quadro abaixo mostra exemplos de modelos frequentemente utilizados para estudar as cidades:

	<u>Icônicos</u>	<u>Simbólicos</u>
<u>Materiais</u>	Maquetes	Mapas
<u>Digitais</u>	Modelos computacionais em 3D	Modelos que envolvem uso de algoritmos computacionais

Quadro 1 – Exemplos de modelos (adaptado de Batty (2007a))

O uso de computadores possibilitou simplificar e manipular sistemas sociais e urbanos; e experimentá-los usando simulações que antes não eram possíveis (Batty, 2007a, p. 3). Batty (s.d., p.6) define modelos urbanos como sendo essencialmente simulações computacionais da maneira como as cidades funcionam, as quais traduzem teorias para uma forma testável

e aplicável sem a necessidade de experimentações na cidade real. Para o autor computadores são como laboratórios, servem para experimentações de fenômenos representados digitalmente e manipulados virtualmente. Nesse sentido, modelagem urbana se refere à atividade de definir, construir e aplicar modelos urbanos digitais a problemas específicos tradicionalmente abordados nos estudos urbanos e no planejamento físico e territorial, geralmente envolvendo representações da cidade por meio de equações e/ou algoritmos computacionais.

Técnicas de modelagem urbana em meios digitais vêm sendo desenvolvidas desde a década de 1950. Nessa época, muitos modelos passam a incorporar postulados da teoria dos sistemas, sendo que na década de 1960, o termo *modelo* chegou a ser utilizado como sinônimo de *abordagem sistêmica* (Batty, 2007a, p. 10). Conforme Wegener (1994, p. 17), se pensava que essas ferramentas iriam revolucionar a prática de planejamento urbano, o que não se concretizou na prática, e durante muitos anos a pesquisa de tais técnicas manteve-se estagnada. O autor revisa os motivos dessa estagnação, entre eles a limitação dos computadores da época e as duras críticas que sofreram, principalmente no campo das Ciências Sociais¹. Wegener (1994) e Bertuglia et al (1994) abordam também a recente retomada de interesse no desenvolvimento dessas ferramentas, e a veem com bastante otimismo, tendo em vista o imenso avanço na tecnologia computacional e a superação de muitas das críticas recebidas no passado. Dentre os fatores que contribuíram para a retomada do desenvolvimento de técnicas de modelagem urbana, apontados por Bertuglia et al (1994), está a popularização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), softwares que auxiliam no armazenamento, manipulação e visualização de dados espaciais, facilitando o desenvolvimento de modelos urbanos.

Existe uma grande variedade de modelos urbanos utilizados para fins de planejamento urbano, com os mais variados enfoques - microeconômicos, demográficos, transportes, entre outros². Tendo em vista o enfoque pretendido nesta dissertação, interessam principalmente os modelos desenvolvidos no âmbito dos estudos configuracionais urbanos, os quais adotam abordagem sistêmica. O desenvolvimento dessa seção segue com uma breve revisão das principais teorias que fundamentam e dão origem a este tipo de estudo (2.1.1); do contexto teórico dos estudos configuracionais (2.1.2); e, por fim, dos modelos relevantes a essa pesquisa (2.1.3).

¹ Para maiores detalhes ver Wegener (1994) e Bertuglia et al (1994).

² Para uma abordagem mais completa ver Wilson (1974) e para modelos especificamente baseados na teoria dos sistemas, ver Reif (1973).

2.1.1 Sistemas e configuração espacial

Os modelos configuracionais urbanos têm origem na teoria dos sistemas, que tem sido aplicada em estudos urbanos há bastante tempo. Por volta de meados do século 20, a *Teoria Geral dos Sistemas*, moldada por analogias de termos da biologia de Bertalanffy (1968) e a *Cibernética*, baseada principalmente no trabalho de Wiener (1948), marcaram o início de uma perspectiva científica que viria a ser conhecida como abordagem *sistêmica* (Churchman, 1968 apud Batty, 2007b, p.5). Logo, várias disciplinas se apropriaram dessas teorias, incluindo as Ciências Sociais e outros campos de estudo relacionados ao planejamento urbano.

Sistemas se referem a conjuntos de elementos interconectados (Echenique, 1976). Uma análise sistêmica explora relações entre elementos que fazem parte de um mesmo sistema, ao invés de analisar cada elemento isoladamente. Nesse tipo de abordagem cada parte é analisada segundo seu papel no conjunto todo e subentende-se que modificações em qualquer parte do sistema acabam afetando as demais, uma vez que todas se interconectam entre si.

De acordo com Batty (2007b, p. 6), sistemas são concebidos como tendo subsistemas unidos por interações, assim evocando a ideia de *rede*, e cidades são artefatos extremamente sugestivos para tal teoria. Entender a cidade como uma rede, constituída de partes que interagem dinamicamente umas com as outras, abre possibilidades de aplicar metodologias utilizadas em outros campos do conhecimento – como análise de redes e teoria dos grafos – em análises espaciais urbanas.

Análise de redes é um campo amplamente desenvolvido na Matemática e na Física, que tem como foco de estudo relações entre elementos que de alguma maneira encontram-se conectados. A principal diferença deste tipo de abordagem para outras (não-sistêmicas) é a inclusão de informações sobre conexões e o foco nas interações entre elementos. A análise de redes também é aplicada em outras áreas, como por exemplo para análise de redes sociais. Para Watts (2003 apud Krafta, 2009, p.11)

“(…) a ciência das redes, diferente da física de partículas, ou da astronomia, é a ciência do mundo real – o mundo das pessoas, das amizades, dos rumores, das doenças, das empresas e das crises financeiras. Se este momento da história do mundo deve ser caracterizado de uma forma simples, é que ele é mais altamente, globalmente e surpreendentemente conectado do que qualquer outro anterior.”

Krafta (2009) salienta que um dos fenômenos que tem chamado atenção dos cientistas das redes é justamente a cidade. Dessa forma, estudos urbanos também têm incorporado estes conceitos para analisar redes espaciais, como, por exemplo, redes de espaços urbanos, de

ruas ou de formas edificadas. Esse tipo de análise requer uma adequada representação gráfica.

A principal linguagem matemática utilizada para representar redes vem da *teoria dos grafos*, campo da matemática que se ocupa principalmente das propriedades combinatórias de constructos artificiais denominados *grafos* (Newman et al, 2006). Grafos consistem em conjuntos de nós e de linhas, que constituem esquemas simples e diretos para representar relações ente entidades. Dois tipos de informações estão presentes em um grafo: *nós*³ representam entidades e *linhas*⁴ representam ligações (relações) entre elas. A Figura 1 mostra exemplos de grafos. Esse tipo de notação vem sendo utilizado para a análise de problemas de redes e sistemas do mundo real, como por exemplo análise de redes sociais (Wasserman e Faust, 2004). Estruturas urbanas também podem ser representadas por meio de grafos, conforme mostram os exemplos da Figura 2, o que permite análises dentro da abordagem sistêmica e configuracional.

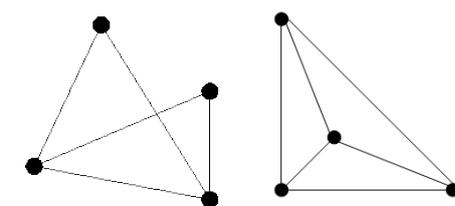


Figura 1 – Exemplos de grafos

As teorias referidas anteriormente compõem a base teórica e metodológica da morfologia de enfoque configuracional, que é a vertente de estudos urbanos que utiliza modelos de caráter sistêmico para investigar as cidades⁵, e é abordada no próximo item (2.1.2).

2.1.2 Morfologia urbana de enfoque configuracional

Forma urbana é um conceito muito geral da estrutura física das cidades. Morfologia urbana, por sua vez, é um termo que se refere mais precisamente a características particulares da paisagem urbana, como a detalhada divisão da terra, edificações e padrões de uso (Conzen, 1990 apud Krafta, 1994, p.67). Em outras palavras, morfologia, no âmbito dessa pesquisa, se refere ao estudo de particularidades da forma urbana. Existem duas vertentes principais nos estudos de morfologia urbana: a) tipológica, com foco nos objetos

³ também chamados *pontos* ou *vértices*

⁴ também conhecidas como *arcos*

⁵ Para uma revisão mais completa sobre conceitos fundamentais da abordagem sistêmica e suas aplicações mais antigas ao planejamento urbano e regional ver Reif (1973).

arquitetônicos e padrões urbanos, que estuda suas características formais e funcionais; b) configuracional, com foco no sistema espacial urbano, que investiga articulações e relações entre componentes.

Interessa para essa pesquisa os estudos de base configuracional, os quais se inserem em um contexto sistêmico de investigação, ou seja, com ênfase na inter-relação entre as partes. Assim sendo, forma urbana será tratada aqui pelo ponto de vista da *configuração espacial*, ou seja, a maneira como espaços – edificados ou não – se relacionam entre si. Para Krafta (1997, p. 2), configuração também pode ser vista como uma maneira de descrever o espaço urbano, que difere de outras no sentido de ser uma descrição sistêmica, e que toma espaço urbano em um nível mais detalhado ao olhar para sua estrutura interna.

Outro aspecto muito importante sobre o método descritivo utilizado nos estudos configuracionais, além de seu caráter sistêmico, é o seu caráter abstrato, ou seja, pelo fato de isolar certas propriedades espaciais e conscientemente excluir outras. Nystuen (1968) informa sobre as vantagens, em termos de simplicidade e clareza, de se usar o recurso da abstração para o estudo de problemas espaciais da realidade. Para o autor, ao restringir propriedades do objeto de estudo, o problema torna-se simples o suficiente para ser compreendido. Tais ideias são consistentes com a noção de modelo como uma maneira simplificada de representar a realidade, apresentada anteriormente.

No intuito de se aproximar de um nível máximo de abstração da realidade, Nystuen (1968) procura identificar as propriedades realmente essenciais e imprescindíveis para o estudo de problemas espaciais (geográficos): orientação, distância e conectividade. As duas últimas são de fundamental importância para este trabalho. Distância entre dois pontos é usualmente definida como o caminho mais curto entre eles em qualquer espaço ou unidade de medida sendo considerada. Distâncias podem ser métricas, topológicas, ou baseadas em outras variáveis, e sua escolha vai depender do problema. Conectividade é uma propriedade topológica do espaço, que independe de distância e direção, pois se refere à posição relativa de um componente em relação ao todo do sistema. Não é obrigatório que haja adjacência ou ligação física, pois conectividade também pode ser definida em termos de interação, nesse caso podendo ser medida, por exemplo, através de fluxos. Krafta (1997) salienta que este tipo de descrição configuracional [de caráter sistêmico e abstrato] possibilita medir determinadas propriedades do sistema representado, como posição relativa, por exemplo, e quantificá-las.

A análise configuracional busca descrever a hierarquia espacial existente na distribuição dos espaços urbanos sobre o território, sendo esse um dos principais objetivos dos estudos que envolvem morfologia urbana de abordagem configuracional. Nesse tipo de análise, a

posição relativa dos objetos e as relações mantidas entre eles são fundamentais para produzir diferenciação espacial, ao gerarem diferentes padrões de organização. Conforme Krafta (2008a), a distribuição desigual de matéria urbana sobre o território, assim como as conexões seletivas entre os lugares desses depósitos, configuram uma complexa hierarquia espacial. As contribuições das teorias dos sistemas e análise de redes por meio de grafos, vistas na seção anterior, possibilitam quantificar diferenciações espaciais e identificar hierarquia entre elementos de um sistema.

Variadas técnicas de representação podem ser empregadas a fim de operacionalizar medidas de diferenciação espacial e permitir investigações sobre propriedades morfológicas configuracionais. A escolha entre uma ou outra vai depender dos objetivos do modelo, da disponibilidade de dados e de seu nível de desagregação. Conforme dito anteriormente, os modelos configuracionais utilizam esquemas de representação bastante abstratos. São frequentemente descritos através de: a) linhas axiais⁶; b) trechos; ou c) nós (ver exemplos da Figura 2).

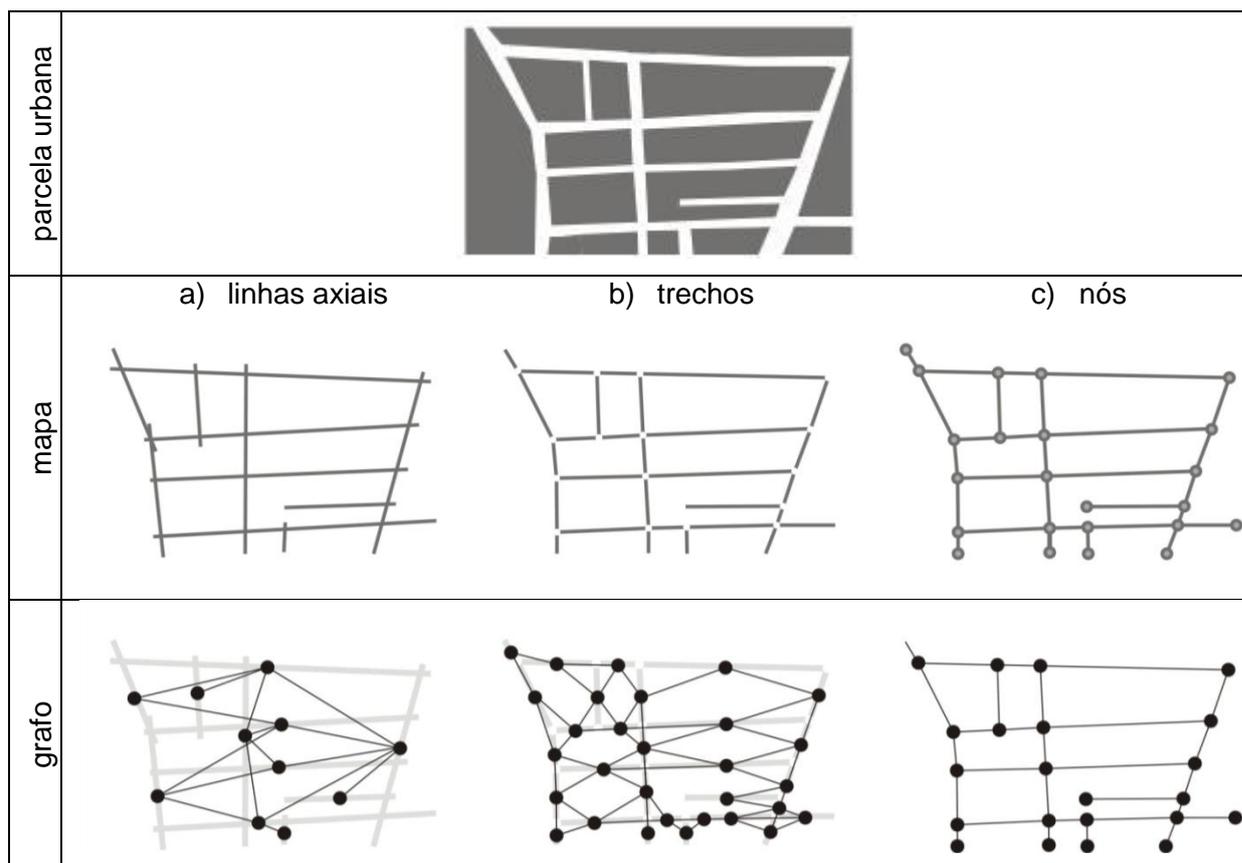


Figura 2 – Diferentes tipos de representação em mapa e seus respectivos grafos.

⁶ Linhas axiais são as maiores linhas contínuas que podem ser identificadas na malha urbana. Uma linha é considerada conectada a outra quando cruza ela ou quando possui intersecção.

Dessa forma, uma mesma parcela urbana pode ser descrita por mapas que utilizam diferentes tipos de representação. A fim de operacionalizar medidas, se emprega a matemática da teoria dos grafos, mesmo que isso não fique explicitamente visível ao operador do modelo. A Figura 2 mostra alguns exemplos de mapas esquemáticos de descrição utilizados em modelos configuracionais e seus grafos correspondentes (lembrando que no grafo os nós sempre representam as entidades analisadas, e as linhas representam algum tipo de ligação entre eles). No exemplo 2a cada nó do grafo corresponde a uma linha axial; no exemplo 2b cada nó corresponde a um trecho de rua; e no exemplo 2c o grafo é igual ao mapa, pois os nós do grafo correspondem exatamente aos nós do mapa.

2.1.3 Modelos configuracionais urbanos

A análise configuracional tem produzido diversos modelos que permitem extrair medidas de diferenciação intra-urbana com base em propriedades espaciais, como distância relativa e posição relativa dos elementos que compõem o sistema urbano. A relevância dessas medidas reside no pressuposto de que espaços urbanos privilegiados em termos de localização tendem a assumir características diferenciadas em relação ao restante do sistema, como maior movimentação de pedestres, maior concentração de atividade comercial, ou valor da terra mais alto. Com isso, tais medidas podem fornecer a urbanista e planejadores urbanos instrumentos para aferir desempenho de sistemas espaciais a nível intra-urbano (esse tema é retomado na seção 2.2, sobre indicadores urbanos).

Modelos configuracionais mostram-se, nesse sentido, altamente capazes de capturar a complexidade da estrutura espacial urbana e diferenciações internas inerentes à configuração das cidades. A seguir são apresentados alguns estudos que se valem de características configuracionais, como distância relativa e posição relativa, para medir respectivamente acessibilidade e centralidade.

a) Modelos baseados em distância relativa

Acessibilidade é um conceito central nos estudos de planejamento territorial, há muito tempo considerado pelos geógrafos como um componente fundamental da disciplina. Na visão de Koenig (1980 apud Bertuglia et al, 1994, p. 24), “*Accessibility appears more and more as key concept in urban and transport planning. It expresses what is possibly the major function of cities: i.e. providing opportunities for easy interaction or exchange.*”⁷

⁷ Acessibilidade aparece mais e mais como um conceito chave em planejamento urbano e planejamento de transportes. Expressa o que, possivelmente, seja a maior função das cidades: prover oportunidades para trocas e interações. [tradução nossa]

Acessibilidade pode ser entendida genericamente como facilidade de acesso, ou, na definição de Ingram (1971), capacidade de ser alcançado, implicando, portanto, em uma medida de proximidade entre dois pontos. Nesse caso, pode ser medida em termos de distância relativa de cada localização urbana a todas as demais.

Em sua formulação mais básica, a acessibilidade de um ponto se refere ao seu grau de conexão com todos outros pontos (Ingram, 1971). Pode ser calculada pelo somatório de distâncias de um espaço a todos os outros, de modo que o espaço mais acessível é aquele que apresenta a menor soma das distâncias, ou seja, é o espaço que está mais próximo dos demais.

Também podem ser encontrados na literatura, métodos que relacionam o conceito de acessibilidade ao modelo gravitacional ou à ampla família de modelos de interação espacial (Wilson, 1971 apud Bertuglia et al, 1994, p. 24). Conforme Haynes e Fotheringham (1984, p.9) interação espacial é um termo que abarca qualquer movimento sobre o espaço que resulte de processos humanos, incluindo movimentos pendulares e migração, entre outros. Modelos gravitacionais constituem importantes tipos de modelos de interação espacial, utilizados para analisar e prever padrões de interação espacial. Nesse tipo de modelo as análises são centradas não apenas na localização das atividades, mas também nos fluxos entre elas. Modelos gravitacionais possuem esse nome por adotarem princípios em analogia com a lei da gravidade, da Física, que postula que a força de atração entre dois corpos é inversamente proporcional ao quadrado de sua distância. Partem do princípio de que fluxos (interações) enfraquecem conforme se aumentam as distâncias.

O cálculo da medida de acessibilidade baseada em modelos gravitacionais parte da ideia de que acessibilidade entre uma origem e um destino carece dos seguintes componentes: capacidade de uma origem em gerar viagens, habilidade de um destino em atrair essas viagens; distância a ser percorrida entre origem e destino; e algum mecanismo de ponderação que desencoraje viagens muito longas (Thomas and Huggett, 1980 apud Torrens e Alberti, 2000)

Hansen (1959 apud Bertuglia et al, 1994, p.24) forneceu uma das mais simples medidas de acessibilidade baseada em modelos gravitacionais, com a seguinte formulação:

$$A_i = \sum E_j \exp(-\beta c_{ij})$$

Onde A é acessibilidade em uma zona i aos locais de emprego, E_j representa quantidade de empregos, c_{ij} é o custo da viagem entre i e j (que pode ser calculado segundo distâncias) e β é um parâmetro a ser determinado.

O autor formulou essa medida com o propósito de verificar acessibilidade aos locais de emprego, incorporando a ideia de que acessibilidade é relacionada tanto a distância (ou custo) como à escala (quantidade) das oportunidades em localizações distantes. Outros autores⁸ desenvolveram medidas de acessibilidade baseadas na ideia de interação espacial, as quais serviram de base, posteriormente para o desenvolvimento de aplicativos computacionais que auxiliam no cálculo e na visualização espacial dos resultados, conhecidos como modelos configuracionais urbanos.

Hillier e Hanson foram pioneiros no desenvolvimento de modelos configuracionais urbanos, ao delinear a teoria da Sintaxe Espacial no famoso livro *Social Logic of Space* (1984). A ideia de movimento natural (Hillier et al, 1993), associada a essa teoria, sugere que a própria configuração da rede de ruas seria o principal gerador de padrões de movimento, tanto de pedestres como de veículos, em função de seu grau de conectividade. Para mensurar isso, o sistema espacial urbano é representado por linhas axiais, que correspondem às maiores linhas retas que podem ser identificadas nos espaços públicos. Dessa forma, a medida de acessibilidade, na Sintaxe Espacial – também conhecida como medida de Assimetria Relativa e como medida de Integração – é verificada pela maneira como cada espaço (cada linha axial) é acessado a partir de todos outros espaços do sistema, e calculada a partir do número de mudanças de direção necessárias para alcançar cada um. A medida possui natureza topológica e não métrica, não levando em conta, portanto, quantificações de distâncias em unidades métricas, apenas a configuração dos espaços públicos, ou seja, a maneira como se conectam. Outra limitação do método descritivo por linhas axiais é que leva em conta apenas a configuração da rede ruas, deixando de fora seu conteúdo socioeconômico (atividades, população, etc) .

b) Modelos baseados em posição relativa

Krafta (1994, 1996, 1997, 2001, 2008a) e outros autores (Crucitti et al, 2006a, 2006b) tem estudado extensivamente propriedades configuracionais e seu possível papel dentro da estrutura espacial urbana, tendo proposto uma série de medidas morfológicas baseadas em posição relativa, sendo centralidade a principal delas. Centralidade é a propriedade de um espaço que consiste na sua capacidade de estar posicionado no caminho mais curto entre todos os pares de formas edificadas de um sistema urbano.

A fim de operacionalizar suas medidas, Krafta (1994, 1997, 2001, 2008a, 2009) assume que o sistema urbano é constituído por espaços públicos e *unidades de formas edificadas*⁹,

⁸ Bertuglia e colegas (1994, p.23-27) apresentam alguns desses autores e suas medidas.

⁹ Unidades de formas edificadas, ou *built urban forms* - BFU (Krafta, 1994), são fragmentos de espaços urbanos, podendo representar uma única edificação ou um conjunto.

relacionadas umas às outras, descrevendo a cidade como uma rede espacial, a partir de seus componentes e suas relações. Para o autor as porções de espaços podem ser decompostas em unidades discretas, representadas por componentes geométricos elementares, como pontos e linhas. “Sendo representadas em geral por nós e linhas, como um grafo, as redes espaciais via de regra consideram nós como localizações e linhas como distâncias, quando, então, diferentes atributos podem ser consignados tanto a nós como a linhas” (Krafta, 2009, p. 108). Dessa forma, tem-se uma rede ponderada, onde a) *nós* podem ser classificados quanto ao seu uso do solo, e carregados com quantidades de residentes, edificações, postos de trabalho, etc; e b) *linhas* podem ser carregadas com distâncias métricas, tempo de viagem, custo de deslocamento, etc.

Com esse método descritivo, a medida de centralidade proposta por Krafta procura incorporar atributos das formas edificadas nos modelos e isso representa um avanço em relação aos modelos da Sintaxe Espacial. Para o autor, “redes espaciais ponderadas têm se mostrado extremamente úteis para explorar sistemas urbanos” (Krafta, 2009, p. 108).

Tendo em vista a natureza do fenômeno que se pretende analisar, interessa a essa pesquisa, principalmente, os modelos baseados em distância relativa, em especial medidas de acessibilidade calculadas com distâncias em unidades métricas. A dispersão urbana é usualmente associada a aumento de distâncias intra-urbanas, portanto esse tipo de medida é relevante ao método que se pretende desenvolver. Interessa também o método descritivo especificado por Krafta para representar redes espaciais, que permite associar atributos às entidades espaciais, ou seja, abre possibilidades de incorporar conteúdos socioeconômicos à descrição da estrutura espacial urbana

A próxima seção procura evidenciar de que maneira modelos e conceitos utilizados nos estudos configuracionais urbanos podem ser úteis ao desenvolvimento de indicadores para avaliar desempenho urbano.

2.2 INDICADORES DE DESEMPENHO URBANO

Nas últimas décadas, se percebe um aumento de interesse pelo desenvolvimento de indicadores quantitativos para subsidiar decisões sobre intervenções nas cidades e elaboração de políticas públicas, possivelmente devido à maior complexidade dos desafios urbanos contemporâneos e à maior disponibilidade de dados e possibilidades de manipulação em softwares computacionais, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Indicadores consistem em estatísticas que fornecem alguma espécie de medida para

determinado fenômeno de interesse (Wong, 2006, p. 3), indicando como um tema particular é estruturado ou como ocorrem modificações ao longo do tempo.

O valor de indicadores como uma forma de conhecimento baseia-se no seu processo metodológico de trazer noções sobre problemas sociais ou políticas públicas para medidas mais específicas e concretas que subsidiem o planejamento, mediante metodologias quantitativas (Wong, 2006). Nesse sentido, são extremamente úteis para fins comparativos e monitoramento de mudanças ao longo do tempo, auxiliando a identificar tendências e impactos no desempenho urbano. O uso desse tipo de metodologia como subsídio ao planejamento urbano tem sua origem principalmente nos indicadores econômicos¹⁰, da década de 1960; e nos indicadores sociais¹¹, da década de 1970, que introduziram variáveis sobre qualidade de vida e bem-estar (Clarke e Wilson, 1994)¹².

Interessa aqui revisar de que maneiras indicadores podem ser utilizados para efetivamente aferir desempenho urbano e quais os tipos de indicadores mais adequados para a aferição dos efeitos da dispersão, foco deste trabalho. Essa seção discute, na primeira parte, questões gerais relacionadas à avaliação de desempenho urbano e critérios para isso; apontando, na segunda parte, limitações em indicadores urbanos usualmente utilizados. Por fim, na terceira e última parte são apresentados indicadores de desempenho, que buscam contornar as limitações apontadas. Trata-se de indicadores baseados em modelos, e desenvolvidos segundo o enfoque sistêmico e configuracional que essa pesquisa busca explorar.

2.2.1 Desempenho urbano

O conceito de desempenho implica diretamente em alguma forma de avaliação. Para Krafta (Desempenho da forma urbana, no prelo)

“Avaliar significa, em termos gerais, determinar o desempenho do que está sendo examinado, frente a um sistema e uma escala de valores. Dessa forma, uma avaliação depende, por um lado, de *indicadores* que permitam aferir o desempenho do objeto, e por outro, um *conjunto de valores*, necessariamente sociais (March, 1976), que indicam o que é bom, desejável, benéfico, belo, adequado, conveniente, prioritário, etc. Avaliação, nesse sentido, sempre será relativa, quer dizer, depende de parâmetros previamente estabelecidos.”

¹⁰ Exemplos de indicadores econômicos: PIB, renda per capita e taxa de desemprego.

¹¹ Exemplos de indicadores sociais: nível de estudo da população, taxas de mortalidade e estatísticas criminais.

¹² A dissertação de Gheno (2009) apresenta uma boa revisão sobre a evolução desse tipo de indicadores, seu uso para o planejamento urbano e seu papel em sistemas de suporte à decisão.

Aqui se faz uma breve discussão sobre duas questões importantes, levantadas por Clarke e Wilson (1994) ao se fazer uma avaliação com uso de indicadores: a) como determinar quais os indicadores mais apropriados ao estudo; e b) como julgar se um indicador particular está sugerindo bom ou mau desempenho.

A relevância da primeira questão se deve ao fato de que diferentes indicadores podem ser aplicados a determinada unidade territorial, com propósitos bastante semelhantes e, mesmo assim, isso gerar resultados radicalmente diferentes, simplesmente a partir da alteração de um ou outro aspecto sob análise. Exemplo disso é mostrado na Tabela 1, que traz os resultados de dois estudos feitos por pesquisadores brasileiros, ambos com o intuito de comparar cidades quanto ao seu grau de dispersão urbana, mas que utilizaram metodologias bastante distintas (discutidas em maior detalhe na seção 2.3.2). Os resultados são bem diferentes – Porto Alegre, por exemplo aparece como a 4ª capital mais dispersa no estudo de Ojima (2007) e 9ª no de Ribeiro (2009). Esses resultados, entretanto, não invalidam tais estudos, apenas ilustram como a simples escolha dos indicadores que compõem o índice pode produzir resultados significativamente diferentes, e que, por isso, é preciso ter os objetivos do estudo muito claros ao definir quais aspectos, de fato serão analisados e quais indicadores serão utilizados.

Ranking elaborado por Ojima (2007a)		Ranking elaborado por Ribeiro (2009)	
1 °	Brasília		Brasília
2 °	Rio de Janeiro		Belo Horizonte
3 °	Curitiba		Belém
4 °	Porto Alegre		Rio de Janeiro
5 °	Fortaleza		São Paulo
6 °	Salvador		Fortaleza
7 °	Belo Horizonte		Recife
8 °	Recife		Salvador
9 °	Belém		Porto Alegre
10 °	São Paulo		Curitiba

Tabela 1 – *Ranking* elaborado por dois pesquisadores brasileiros, mostrando as cidades em ordem decrescente de dispersão.¹³

Clarke e Wilson (1994, p. 14) ressaltam, ainda, que indicadores devem ser tomados literalmente como indicadores, ou seja, oferecem apenas indicações de problemas e/ou efetividade, não eliminando, portanto, a necessidade de interpretação humana. Sendo

¹³ Posição relativa. O ranking destes autores inclui outras cidades também. Aqui foram selecionadas as cidades em comum nos dois estudos

assim, conclusões baseadas em indicadores, devem ser enriquecidas com investigações mais profundas, permitindo a introdução de análises qualitativas e variáveis subjetivas, quando necessário.

A segunda questão, sobre o julgamento em termos de bom ou mau desempenho tem a ver com o *conjunto de valores* (Krafta, no prelo). Isso tem relação direta com os critérios e objetivos dos indicadores, expressos segundo diferentes dimensões de desempenho, ou *categorias de desempenho* (Netto e Krafta, 2010). As categorias fundamentais para avaliar desempenho vem sendo exploradas desde, pelo menos, a década de 1960 (Clarke e Wilson, 1994; Krafta, 2008b; Netto e Krafta, 2010). Krafta (2008b) percebe que cada período da história tem privilegiado certa visão de mundo [certo conjunto de valores] que leva à incorporação de novas formas de avaliação ao referencial analítico das cidades.

Eficiência foi questão central na década de 1960, com o desenvolvimento da economia urbana e o entendimento das cidades como sistemas a serem otimizados. O termo se refere à maximização de ganhos e produtividade, com economia de meios. Eficiência urbana pode ser pensada em termos de otimização da implementação e operação de serviços urbanos, o que implica em, por exemplo, minimização de extensão de redes de água, esgoto, transporte, etc, e maximização de abrangência (Krafta, no prelo). Também pode ser pensada como eficiência de dinâmicas socioeconômicas, cujas relações podem ser expressas em termos de fluxos e são mediadas por uma rede espacial que gera distintos níveis de acessibilidade entre as localizações, o que implica em distâncias entre localizações, tempos de deslocamento e custos de transporte. (Netto e Krafta, 2009, pp. 165-167; Netto e Krafta, 2010, pp. 5-6)

Equidade, por sua vez, veio à tona na década de 1970, quando surge preocupação maior com justiça social, passando a compor, junto com eficiência, um quadro mais amplo de referência à condição de funcionamento das cidades (Krafta, 2008b). Equidade tem sido um dos mais importantes tópicos nos estudos urbanos, principalmente após a marcante contribuição de Harvey (1973), que procurou associar a estrutura física das cidades a processos sociais. A diminuição das diferenças locacionais causadas pela ocupação do espaço tem sido um dos grandes desafios do planejamento urbano.

Qualidade espacial e sustentabilidade são preocupações mais recentes, surgidas na década de 1980, e constituem um campo de estudo ainda em aberto. Alguns estudos especulam sobre possíveis maneiras de mensurar esses aspectos levando em conta aspectos configuracionais (Netto, 2008; Krafta, 2008b; Netto e Krafta, 2009 e 2010).

Sustentabilidade é uma categoria de desempenho de difícil tratamento devido à grande extensão de fatores envolvidos (Netto e Krafta, 2009, p.168). Sustentabilidade pressupõe um processo “dependente de múltiplos fatores que se interferem mutuamente em equilíbrio instável” e que “precisa ser duradouro” (Krafta, no prelo). Netto e Krafta (2009, p. 168) criticam abordagens que têm se focado em análises de estado e não como processos urbanos em direção a soluções menos ou mais sustentáveis ao longo do tempo”. Os autores sustentam que análises dessa categoria deve “fundamentar-se na análise da evolução de estados urbanos e seus comportamentos, confrontando-os com indicadores do ambiente ao longo do tempo e traçando projeções de cenários futuros fundamentados em parâmetros encontrados na análise temporal”. Definem sustentabilidade como uma “categoria maior” de desempenho que sintetiza as demais (eficiência e equidade) e inclui aspectos das relações cidade-ambiente, ou seja, que inclui a consideração da dependência da cidade à disponibilidade de recursos para alimentação das suas dinâmicas, e as externalidades negativas de tais dinâmicas sobre o seu ambiente, as quais podem comprometer a continuidade do sistema urbano.

Conforme Krafta (2008b, p. 2), “eficiência, equidade, qualidade espacial e sustentabilidade são hoje paradigmas da avaliação urbana e do planejamento das cidades, que demandam formas eficazes de mensuração e monitoramento”. Existe uma grande quantidade de indicadores urbanos sendo utilizados para fins de monitoramento. Esses, porém, apresentam limitações no que se refere à maneira como consideram a forma urbana. A próxima seção aborda essas limitações mais detalhadamente e procura mostrar a potencial contribuição que os estudos configuracionais podem proporcionar para o desenvolvimento de instrumentos analíticos eficazes na mensuração do desempenho urbano, mediante a introdução de particularidades da morfologia urbana.

2.2.2 Configuração espacial e desempenho urbano

A economia moderna vem produzindo disparidades que implicam em variações espaciais na qualidade dos espaços urbanos e no acesso aos bens e serviços, de maneira que umas das mais fundamentais tarefas de geógrafos e planejadores têm sido reconhecer e verificar em que medida ocorre tais variações espaciais (Clarke e Wilson, 1994, p. 4). Boa parte dos indicadores utilizados, atualmente, para tais fins não leva em conta os processos dinâmicos que ocorrem nas cidades, nem considera relações entre as partes que compõem o sistema urbano, não sendo capazes de identificar diferenciações espaciais em termos de configuração do espaço urbano – acessibilidade e conectividade. Em geral, consistem em medidas simples de proporção, como por exemplo, taxa de desemprego; e em medidas de

intensidade de presença ou de quantidade por habitante, como, por exemplo, número de praças por metro quadrado, ou número de leitos por habitante. Alguns pesquisadores vêm alertando para limitações nesse tipo de medida.

Gheno (2009) aponta uma lacuna em relação à avaliação da configuração do espaço urbano nos sistemas de indicadores usualmente utilizados. Saliencia que muitos deles caracterizam elementos que dizem respeito a aspectos sociais e econômicos, sem nenhuma referência à estrutura urbana a que estão condicionados, e que quando o espaço é mencionado, geralmente ele é descrito somente no que tange ao georreferenciamento dos indicadores propostos (Gheno, 2009, p.63).

Netto e Krafta (2009, 2010) também criticam esses métodos tradicionais, apontando limitações nos indicadores que trabalham com avaliações baseadas em aspectos não-sistêmicos. Segundo os autores, muitos deles são meros apontamentos de proporção entre fatores e são frequentemente correlacionados a certos efeitos urbanos, sem, no entanto, apontar com firmeza as relações causais que expliquem tais correlações, e sem explicar como elementos da morfologia urbana influenciam dinâmicas sociais e econômicas. Argumentam também sobre a falta, nos estudos urbanos, de problematização da morfologia – esta “como um sistema de unidades espaciais, arquitetônicas, irregularmente distribuídas, socialmente e economicamente interativas dentro da dinâmica da cidade, e mediadas por uma rede espacial de caminhos apresentando níveis diversificados de acessibilidade interna” (Netto e Krafta, 2009, p. 159)

Um exemplo bem significativo das críticas levantadas por Netto e Krafta (2009, 2010) é a recorrente hipótese, na literatura, de que a forma urbana compacta seria supostamente mais sustentável do que a forma urbana dispersa. Trata-se de uma típica correlação de um indicador simples (de compactidade da forma urbana) a supostos efeitos (nocivos), como aumento de deslocamentos e aumento no consumo de combustíveis, mas que não leva em conta a maneira como as atividades urbanas se distribuem pelo território nem sua relação com a rede espacial de caminhos viários, esses sim fatores que poderiam ser apontados como possíveis causas de ineficiências no sistema urbano e relacionados com aumento nos deslocamentos diários.

Para Netto (no prelo) o conceito generalista de compactidade não representa a estrutura urbana que, de fato, dá suporte às relações socioeconômicas, estas sim responsáveis pelo desempenho urbano. O autor constata que “as condições da relação entre dinâmicas socioeconômicas e forma urbana tendem a ser ignoradas na maior parte dos estudos urbanos” e, por isso, propõe “incluir aspectos da morfologia intra-urbana ausentes no tratamento dessas dinâmicas”.

Krafta (no prelo) também salienta a importância de se levar em conta a morfologia urbana nas avaliações de desempenho urbano, pelo fato de ser “uma circunstância concreta e muitas vezes incontornável da realidade, que interfere diretamente nas decisões dos usuários e poderia, então, ser associada ao comportamento dos usuários, gerando uma avaliação de desempenho urbano”.

Desse modo, constata-se uma grande lacuna no que se refere a instrumentos capazes de mostrar implicações de padrões morfológicos no desempenho urbano. “Os indicadores disponíveis simplesmente não tem feito tais conexões: eles apontam a intensidade de propriedades, mas não apontam suas implicações ou seus efeitos potenciais sobre outras propriedades, dimensões e dinâmicas do urbano” (Netto e Krafta, 2009, p. 160).

2.2.3 Indicadores de desempenho baseados em modelos configuracionais urbanos

O ponto de partida para a concepção de um sistema de avaliação de desempenho sistêmico, dinâmico e espacial foi estabelecido por Bertuglia e seus colegas (1994) no livro “*Modelling the city: Performance, Policy and Planning*”, onde os autores desenvolvem um quadro conceitual para a identificação e desenvolvimento de indicadores de desempenho baseados em modelos. Conforme Krafta (2008b) “uma extensa produção de modelos de simulação da dinâmica urbana tem ocorrido desde então, sem que, entretanto, a proposta de Bertuglia tenha sido revisitada e atualizada”. O autor comenta ainda sobre a existência de uma variedade de meios de representar o processo urbano, mas poucos instrumentos de aferição e avaliação do mesmo.

Baseados na abordagem proposta por Bertuglia et al (1994), Netto e Krafta (2009, 2010) lançam os fundamentos teóricos e metodológicos para o desenvolvimento de um novo sistema de indicadores que associa metaindicadores de desempenho, como equidade, eficiência, qualidade espacial e sustentabilidade a dimensões urbanas, como morfologia, dinâmica socioeconômica, limiares urbanos e relações cidade–ambiente. Para Netto e Krafta (2009, p.160) “a pesquisa de desempenho urbano depende da demonstração de relações ao menos parcialmente causais entre fatores e características da forma e dinâmicas urbanas”. Desse modo, sugerem que o processo de construção de um método de análise de desempenho pressupõe o estabelecimento de “pontos de causalidade” entre propriedades espaciais e efeitos no comportamento urbano. A proposta desses autores se difere das usuais pela maneira como concebem e representam a cidade (como um sistema urbano), noções estas oriundas dos estudos configuracionais.

A compreensão da cidade como um sistema constituído de diversas partes e suas relações permite entendê-la não só como um conjunto de edificações e espaços intersticiais, mas como uma gigantesca infraestrutura de suporte à vida social, que possibilita cada indivíduo a estabelecer suas relações e desenvolver seus rituais simultaneamente com todos os outros (Krafta, no prelo). Tal apreensão abre possibilidades de modelagem que permitem verificar determinados aspectos da configuração urbana e da distribuição das atividades, que podem prover indicações sobre os locais onde estão surgindo problemas.

Netto (no prelo) recomenda uma análise mais profunda das relações socioeconômicas e das principais interações possíveis na cidade, sugerindo uma interessante aproximação entre estudos da economia e da geografia econômica com os estudos configuracionais urbanos. O autor propõe ver a cidade como “lócus da interação entre diversas redes socioeconômicas em competição por espaço”, sugerindo, dessa forma que padrões de localização (entendidos como padrões de densificação e centralidade) podem ser utilizados para fins de avaliação do desempenho urbano, sobretudo em aspectos como eficiência/equidade na localização de firmas (como oferta de trabalho ou como locais de consumo) e na localização da população (residência de trabalhadores/consumidores). Segundo o autor, “a organização espacial dos agentes econômicos em uma cidade ou região é um dado central da dinâmica urbana”, sendo esse um item-chave na análise do desempenho urbano, e na definição de hierarquias e vantagens locais.

Netto e Krafta (2009, p. 163) apontam para a relação entre “interatividade dos agentes” e “conectividade do sistema espacial”, ao sugerir que “um sistema de análise focada em comportamento urbano deve verificar padrões de proximidade/distância entre agentes, e ganhos/perdas em cenários de novas localizações ou modificações na malha de acessibilidade sobre o desempenho”. Nesse sentido, os autores sugerem, ainda, que “indicadores devem permitir avaliar as condições de interação entre agentes” e também “avaliar a capacidade da estrutura urbana em dar suporte à rede de interações”.

Modelos desenvolvidos no campo dos estudos configuracionais, apresentados na seção 2.1, mostram-se particularmente úteis para produzir medidas de desempenho urbano dentro da abordagem acima delineada, uma vez que verificam conectividade entre elementos e levam em conta a distribuição das atividades urbanas na malha viária. O trabalho de Gheno (2009) avança nessa direção, de aproximação entre indicadores e modelagem urbana, ao explorar medidas para verificar o privilégio locacional de pontos de demanda em relação aos pontos de oferta de serviços, baseados no modelo de oportunidade espacial desenvolvido por Krafta.

Todos os aspectos abordados nessa seção mostram-se potencialmente úteis para a avaliação da dispersão urbana, embora tal enfoque não tenha sido muito explorado ainda. A seção seguinte mostra como o fenômeno da dispersão urbana vem sendo tratado na literatura.

2.3 MÉTODOS PARA MENSURAR DISPERSÃO URBANA

O debate sobre a dispersão urbana é cheio de imprecisões, uma vez que não há consenso sobre o que é de fato dispersão e como ela se caracteriza. O termo possui conotação negativa para a grande maioria dos autores (Jaret et al, 2005, p.66), embora isso também não seja consenso. Recentemente, têm aparecido na literatura estudos que reforçam a necessidade de uma caracterização mais precisa da dispersão urbana, e que exploram abordagens quantitativas do fenômeno. Tais estudos, desenvolvidos majoritariamente na literatura de língua inglesa, constituem importantes contribuições à caracterização precisa da dispersão urbana, e são discutidos no presente trabalho.

A primeira parte da seção é dedicada a dificuldades teóricas e metodológicas envolvidas na mensuração da dispersão, como: a) o que é dispersão e como ela se caracteriza; b) qual recorte territorial e escala de abordagem os mais adequados. A segunda identifica na literatura esforços metodológicos recentes sobre mensuração da dispersão urbana e os discute.

2.3.1 Questões teóricas e metodológicas

Para mensurar um fenômeno é essencial definir o que está sendo medido e a extensão territorial da análise. Tais questões teóricas e metodológicas permeiam o debate sobre desenvolvimento de indicadores para mensuração da dispersão urbana. A seguir se apresenta de que maneira essas questões vem sendo tratadas por alguns autores.

2.3.1.1 Dispersão urbana: conceito e caracterização

A falta de definição inequívoca do termo *dispersão urbana* consiste em um dos principais obstáculos para o desenvolvimento de metodologias de mensuração do fenômeno. Há muitas divergências quanto à melhor forma de definir conceitualmente o que significa *dispersão urbana*. Reis (2006, p.50), ao falar do processo de mudanças nos padrões de urbanização, reconhece que ainda não há “um conjunto de conceitos que sejam reconhecidos como os mais adequados para a caracterização e dimensionamento desse processo de mudanças.”

Muitos autores veem *urban sprawl*¹⁴ como um conceito geral demais, sem definição precisa, e notoriamente muito difícil de definir. Maier et al (2006, p.3) apontam os principais motivos dessas dificuldades, dentre os quais destacamos: a) o termo é usado tanto no contexto científico como em discussões públicas e políticas, além de ser utilizado em diferentes campos de estudo; b) o termo é usado tanto para caracterizar um estado como um processo; c) causas, características e consequências se confundem frequentemente¹⁵; d) é difícil distinguir *dispersão urbana (sprawl)* de termos como *suburbanização (suburbanization)* e *crescimento suburbano (suburban development)*.

Esses aspectos revelam o caráter ambíguo do termo. Além disso, conforme Botelho (2009) variadas denominações são dadas ao fenômeno em questão – urbanização dispersa ou difusa; dispersão urbana; *urban sprawl* ou *suburban sprawl*; cidade difusa (Indovina, 2004), cidade dispersa (Monclús, 1998), *Edge City* (Garreau, 1991) – o que revela a existência de diferentes percepções e concepções sobre a questão. Nessa pesquisa, para fins de uniformização, priorizou-se o uso de termos em português, como *dispersão urbana* ou *urbanização dispersa*, mesmo quando a revisão bibliográfica se referia a *urban sprawl*.

A literatura sobre o tema tem procurado “identificar as dimensões formais empiricamente observáveis” (Ojima, 2007a, p.105) da dispersão urbana a fim de operacionalizar medidas que permitam estudos comparativos. Chin (2002) identifica, na literatura, quatro principais tipos de definições de dispersão urbana, utilizados isoladamente ou em conjunto com outros, baseadas em critérios de: a) forma urbana; b) densidades; c) uso do solo; e d) efeitos.

Nas definições baseadas em **forma urbana**, em geral, a dispersão é concebida como todo padrão de crescimento urbano que vai contra o ideal da cidade compacta¹⁶ (Chin, 2002,

¹⁴ Na literatura de língua inglesa o fenômeno da dispersão urbana é conhecido como *urban sprawl*, *suburban sprawl*, ou somente *sprawl*. O termo *sprawl* foi utilizado pela primeira vez em 1937, nos Estados Unidos, em uma conferência de planejadores (Wassmer, 2002, apud Maier et al, 2006, p.2), para fazer referência a uma forma urbana de baixa qualidade estética e pouco econômica. Desde então, vem sendo freqüentemente utilizado para designar expansão descontrolada das aglomerações urbanas norte-americanas. Embora utilizado para designar processos semelhantes em outras partes do mundo, o termo é muito associado às especificidades do caso americano. Será, portanto, evitado nesse trabalho, uma vez que a manifestação do fenômeno nas cidades brasileiras – e da América do Sul em geral – é substancialmente diferente dos Estados Unidos. Para maiores detalhes ver Reis (2006), que coloca em perspectiva histórica o processo de dispersão urbana em curso nas cidades brasileiras.

¹⁵ Galster et al (2001) ressaltam que “conceitualmente, algo não pode ser simultaneamente *o que é e o que causa isso* ou *o quê isso causa*”

¹⁶ *Compacidade*, assim como dispersão, é um conceito que não possui uma definição consensualmente aceita, variando de autor para autor (Tsai, 2005, 142). Apesar das diversas definições encontradas na literatura, *compacidade* sempre envolve uma noção, ainda que vaga, de crescimento concentrado; e embora não haja consenso, a *cidade compacta*, usualmente, é tida como

p.3), e isso abarca uma variedade enorme de formas urbanas. Tanto o crescimento suburbano contíguo ao centro principal como o crescimento sob a forma de núcleos de urbanização distribuídos no território são classificados como dispersos, embora suas morfologias e efeitos resultantes sejam amplamente diferentes. Chin (2002) argumenta que poderia ser mais útil definir dispersão não como uma forma absoluta, mas como um contínuo de desenvolvimento que vai do compacto ao completamente disperso. Para o autor, “Sprawl is a matter of degree, not an absolute form.”¹⁷ (Chin, 2002, p.3).

Muitos autores utilizam definições baseadas em critérios de **densidades**, e a noção de baixa densidade (populacional ou de habitações) para identificar e caracterizar a dispersão urbana. Essa noção, no entanto, frequentemente não é mensurada, nem explicada adequadamente (Chin, 2002, p.5).

A verificação de densidades populacionais envolve algumas dificuldades e divergências. A primeira delas se refere à definição de alta/ baixa densidade, que varia conforme a realidade de cada região, uma vez que “densidade está na mente de quem percebe”¹⁸ (Acioly e Davidson, 1998, p.15). Sendo assim, como definir qual densidade é considerada inadequada ou característica da urbanização dispersa? A outra dificuldade é o nível de agregação dos dados em setores censitários, uma generalização da realidade. Existe divergência também quanto aos parâmetros utilizados para o cálculo da densidade: a) número de pessoas ou de unidades residências; b) área total da cidade (*gross density*) ou apenas a área urbanizável, descontadas as áreas de parques, lagoas, etc (*net density*). Bessusi e Chin (2003) defendem que para a caracterização da dispersão urbana é mais adequado utilizar unidades residenciais do que a população propriamente dita, e que no cálculo da metragem só deve entrar áreas urbanizáveis. Outros autores, porém, utilizam métodos distintos para calcular densidades. Essas questões são retomadas mais adiante quando se trata da questão do recorte territorial.

Definições baseadas em **uso do solo** tendem a associar dispersão à segregação de usos do solo, e, frequentemente, a extensas áreas mono funcionais, de ocupação residencial unifamiliar. Esse tipo de definição é menos frequente, se comparado às definições apresentadas acima, sendo geralmente utilizado combinado com definições que incluem descrições da forma urbana ou da distribuição de densidades.

aquela que apresenta altas densidades, desenvolvimento centralizado e mistura de funções urbanas (Chin, 2002, p.3).

¹⁷ Dispersão é um problema de grau, e não uma forma absoluta.

¹⁸ Conforme Acioly e Davidson (1998, p.15), a percepção de densidade varia conforme cada país, e mesmo dentro de um mesmo país, grupos sociais diferentes irão perceber a questão da densidade diferentemente.

Por fim, há os autores que procuram caracterizar a dispersão urbana segundo seus **efeitos**. Conforme Chin (2002 p.5) Ewing, em 1994, foi um dos primeiros autores a trazer essa noção, posteriormente desenvolvida por ele e por outros. Esse tipo de abordagem complementa as definições calcadas em forma urbana. Traz implícita a ideia de que são os efeitos que tornam a dispersão urbana indesejável, e não a forma em si.

Há uma quantidade considerável de estudos que relatam efeitos hipotéticos (ou empiricamente testados) da dispersão urbana, tais como: congestionamentos, poluição, inequidade, custos de infra-estrutura, e segregação. Jaret et al (2009, p.66) argumentam que a maior parte das teorias que ligam dispersão urbana a efeitos negativos se baseiam na lógica de desencontro espacial¹⁹ entre locais de trabalho e locais de moradia. Downs (1997 apud Jaret et al, 2009, p.66) sugere que os locais de emprego em áreas metropolitanas têm sido localizados muito longe de áreas onde vive a população menos favorecida. Para testar essa hipótese haveria a necessidade de se utilizar uma medida de dispersão que fosse sensível à distância entre residências e empregos, e não uma medida meramente sensível à distribuição de densidades populacionais, como é comumente feito em estudos sobre dispersão urbana. Diminuição na acessibilidade entre atividades urbanas – efeito (não desejado) da dispersão urbana – é, portanto, importante indicador de dispersão urbana (Ewing, 1997, 2002). Chin (2002), alerta que abordagens baseadas em efeitos trazem a tentação de rotular qualquer desenvolvimento com efeitos negativos como disperso, o que deve ser evitado, pois cria uma tautologia que não contribui em nada.

Mais recentemente, a dispersão urbana vem sendo concebida como um fenômeno multidimensional, o que amplia o leque de possibilidades para operacionalização de medidas de dispersão urbana, uma vez que o foco não fica restrito a um único critério de definição. Definir dispersão como fenômeno multidimensional implica em definir também como ponderar essas diferentes dimensões. Esse tipo de abordagem, multidimensional, é retomado no item 2.3.2.

2.3.1.2 Recorte e escala de abordagem

A questão do recorte territorial a ser considerado no estudo, bem como a escala de abordagem, é outra dificuldade encontrada pelos pesquisadores para o desenvolvimento de técnicas de análise quantitativa.

Wolman et al (2005) colocam em discussão a extensão territorial utilizada em estudos quantitativos de dispersão urbana. Observam que uma série de estudos considera como

¹⁹ *spatial mismatch* (Stoll, 2005; Wilson, 1996 apud Jaret et al, 2009, p.66)

área de análise os setores classificados como urbanos pelo Censo (americano) e alertam que esse critério tende a subestimar o problema, uma vez que muitas atividades urbanas ocorrem em áreas oficialmente rurais, sendo justamente essa a essência do caráter problemático da dispersão urbana. De fato, a ocupação urbana muitas vezes extrapola limites municipais ou limites do perímetro urbano e essa constatação é bastante pertinente ao contexto brasileiro. Por isso, os autores propõem que se utilize uma “área urbana estendida”²⁰, cuja delimitação se baseia em critérios de densidade (1.000 pessoas por milha quadrada, o que corresponde a aproximadamente 2,58 km²), e de movimentos pendulares²¹ com áreas próximas, mas não necessariamente contíguas. Recomendam que, para certas dimensões da dispersão urbana, que envolvem densidade ou contiguidade de áreas, seja feito um esforço de retirar do cômputo do índice as áreas não urbanizáveis (tanto por critérios político-administrativos, como ambientais).

Ojima (2007a e 2007b) também explora a questão do recorte territorial, comentando sobre a falta de critérios na definição do que é região metropolitana e até mesmo do que é urbano e rural nos estudos brasileiros. Ao fazer um estudo comparativo entre aglomerações urbanas brasileiras, o autor se depara com aglomerações e Regiões Metropolitanas criadas segundo critérios político/administrativos, os quais variam conforme cada região do País. Por isso, estabelece critérios baseados nas informações de mobilidade pendular do Censo Demográfico 2000, a fim de homogeneizar o conjunto de áreas analisadas. “Foram selecionadas aquelas aglomerações nas quais predominavam movimentos pendulares intra-aglomerações e considerando apenas os municípios que possuíam integração regional com base nos movimentos pendulares dessas regiões” (Ojima, 2007b, p. 281).

Diante do exposto fica claro que há que se ter cuidado com a delimitação da área de análise, uma vez que Regiões Metropolitanas, Aglomerações Urbanas e perímetro urbano, são, muitas vezes, instituídos segundo critérios políticos, que podem induzir a distorções nos resultados.

Outro ponto relevante a destacar é que a dispersão é um fenômeno que pode ser investigado tanto na escala regional (Bertaud e Malpezzi, 2003; Ribeiro e Holanda, 2006; Ojima, 2007a e 2007b) quanto na escala intra-urbana (Frenkel e Ashkenazi, 2008; Torrens, 2008), a depender do nível de desagregação dos dados disponíveis, das técnicas utilizadas

²⁰ Extended Urban Area (Wolman et al, 2005, p.96)

²¹ Deslocamentos pendulares são definidos, segundo o IBGE, como o trajeto dos indivíduos que trabalham ou estudam em um município diferente daquele em que residem. São os “movimentos diários e freqüentes entre os diversos espaços da vida cotidiana dentro das aglomerações urbanas” (Ojima, 2007a, p. 62)

e do enfoque da análise. Conforme comentado mais adiante, no item 2.3.2, pouca atenção é dada à escala intra-urbana.

2.3.2 Indicadores de dispersão urbana

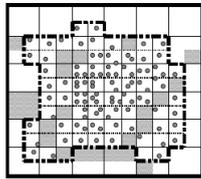
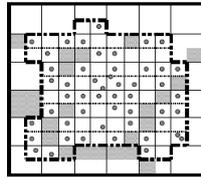
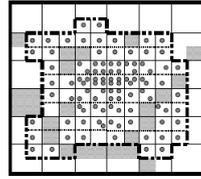
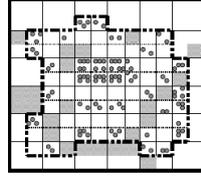
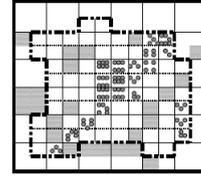
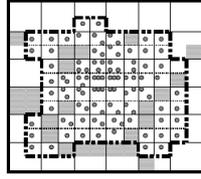
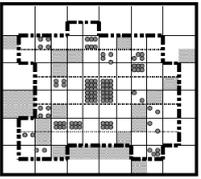
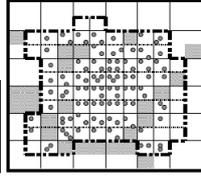
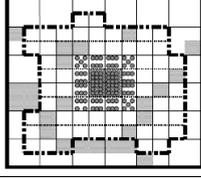
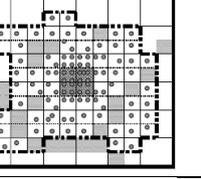
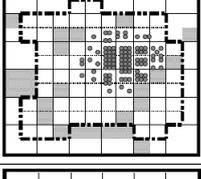
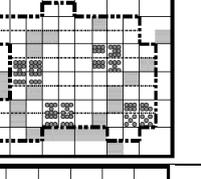
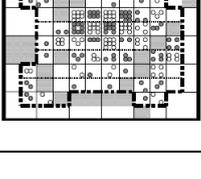
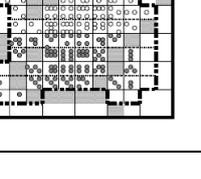
Significativo progresso vem sendo feito no sentido de operacionalizar medidas de dispersão urbana. Conforme visto, a dispersão tem sido conceituada como um fenômeno multidimensional, que requer diferentes indicadores para cada dimensão. Embora as dimensões analisadas se repitam em alguns estudos, os métodos e técnicas utilizados variam significativamente.

Aqui são apresentados e discutidos indicadores de dispersão urbana encontrados na literatura. A escolha do conjunto de trabalhos analisados procurou contemplar: a) estudos recentes, que tenham sido publicados nos últimos 10 anos; b) estudos que concebem dispersão urbana como fenômeno multidimensional; c) estudos citados por outros autores que tratam de dispersão urbana; e d) inclusão de estudos brasileiros.

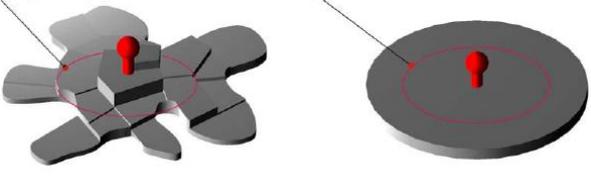
O conjunto é heterogêneo, alguns trabalhos dão ênfase ao desenvolvimento de abrangente gama de medidas, mas com reduzidas aplicações empíricas; ao passo que outros apresentam poucas medidas ou medidas mais simples, porém com elevada quantidade de aplicações empíricas. Todos possuem em comum o esforço em operacionalizar medidas de dispersão urbana para fins comparativos.

“Uma análise comparativa de uma mesma região em termos temporais pode servir para indicar a intensidade em que o fenômeno ocorre e quais os impactos causados pela dispersão urbana à medida que se avança no tempo. Da mesma maneira, uma análise comparativa entre duas aglomerações permitiria um maior detalhamento dos processos que condicionam as distinções na forma.” (Ojima, 2007b, p.296)

O Quadro 2 sintetiza alguns indicadores encontrados na literatura. O objetivo é apresentar uma visão geral sobre o tipo de estudo que vem sendo produzido, sem entrar em detalhes sobre os métodos de cálculo de cada indicador.

Galster et al (2001)	Apresentam uma definição conceitual de dispersão urbana baseada em oito dimensões, que correspondem a padrões espaciais. Dispersão urbana ocorreria quando valores baixos fossem encontrados para uma ou mais dessas dimensões. Os indicadores são aplicados a 13 centros urbanos dos Estados Unidos.		
	Densidade	Número de unidades residenciais por medida (km ²) de área disponível para urbanização.	<p>alta densidade</p>  <p>baixa densidade</p> 
	Continuidade	Grau de continuidade da área disponível para urbanização	<p>alta contin.</p>  <p>baixa contin.</p> 
	Concentração	Grau de concentração da urbanização	<p>alta concentr.</p>  <p>baixa concentr.</p> 
	Agrupamento	Grau de agrupamento das áreas urbanizadas	<p>alto agrupam.</p>  <p>baixo agrupam.</p> 
	Centralidade	Proporção de áreas residenciais ou não residenciais (ou ambas) localizadas próximas ao CBD ²² .	<p>alta centralid.</p>  <p>baixa centralid.</p> 
	Nuclearidade	Grau em que uma área se caracteriza por múltiplos núcleos	<p>alta nucl.</p>  <p>baixa nucl.</p> 
	Diversidade	Diversidade (mistura) de usos do solo	<p>alta diversid.</p>  <p>baixa diversid.</p> 
Proximidade	Grau de proximidade entre diferentes usos do solo	<p>alta proxim.</p>  <p>baixa proxim.</p> 	

²² *Central Business District* – centro de negócios

Ewing et al (2002)	Ewing et al (2002) utilizam 22 indicadores relacionados a quatro aspectos mensuráveis da dispersão urbana, que são sintetizados em um índice geral de dispersão, a fim de produzir um <i>ranking</i> de cidades mais dispersas. Os autores verificam ainda a relação desses indicadores com outro conjunto de indicadores, de qualidade de vida (tempo de viagem, congestionamentos, acidentes, qualidade do ar, e outros), procurando identificar impactos (efeitos) da dispersão urbana na vida das pessoas. Os indicadores são aplicados a 83 áreas metropolitanas dos Estados Unidos, com dados de 1990 e 2000.	
	Densidade	Densidade populacional; porcentagem da população que vivem em áreas com densidades menores do que 1.500 pessoas por milha quadrada [aproximadamente 2,58 km ²]; porcentagem de pessoas que vivem em áreas com mais de 12.500 pessoas por milha quadrada; média do tamanho do terreno de cada família; entre outros (total de 7 indicadores).
	Mix de usos	Porcentagem de moradores com locais de compras a 1 milha [aproximadamente 1,6 km] de distância de suas casas; porcentagem de moradores com escola a 1 milha de distância de suas casas; balanço entre moradores e empregos; entre outros (total de 6 indicadores).
	Concentração de atividades	Coeficiente de variação da densidade populacional através dos setores censitários (desvio padrão dividido pela média); gradiente de densidade (taxa de declínio da densidade segundo a distância ao centro de negócios); porcentagem de população a menos de 3 milhas do centro de negócios; porcentagem da população a mais de 10 milhas do centro de negócios; entre outros (total de 6 indicadores).
	Acessibilidade	Média do comprimento de quadras; média do tamanho das quadras em milhas quadradas; porcentagem de quadras pequenas (<0,01 milha quadrada), (total de 3 indicadores).
Bertaud e Malpezzi (2003) / Ribeiro e Holanda (2006)	Bertaud e Malpezzi medem a distribuição espacial da população em 50 cidades no mundo todo, incluindo 3 cidades brasileiras. Utilizam reduzido número de indicadores, mas que abarcam importantes dimensões da dispersão urbana: superfície da área construída, a forma dessa área e o modo como a população se distribui. Ribeiro e Holanda (2006) complementam o estudo, atualizando os dados para as cidades brasileiras e incluindo mais 7 cidades do País, além de normalizarem os resultados dentro de uma escala padronizada, o que facilita a comparação entre os diferentes centros urbanos.	
	Densidade	Gradiente de densidade populacional: a base desse método de cálculo é o modelo popularizado pelo geógrafo Colin Clark (1951), que percebeu que a densidade populacional decai exponencialmente à medida que se afasta do centro.
	Compacidade	Índice de Dispersão (ρ): a forma urbana é comparada a uma cidade hipotética cilíndrica, de área e população equivalente. 

Ojima (2007a e 2007b)	O autor trabalha com indicadores que se referem a quatro dimensões da dispersão urbana, a partir dos quais cria um índice composto, utilizado para comparar 37 aglomerações urbanas (AU) do Brasil.	
	Densidade	Densidade populacional (população total/ km ²); densidade de unidades residenciais (nº domicílios/ km ²)
	Fragmentação	Índice de Vizinhança Próxima ²³ , que se refere ao desvio padrão das distâncias entre as unidades de análise; proporção de área não urbanizada
	Linearidade/ Orientação	Distribuição direcional ²⁴ , que verifica se a distribuição das unidades de análise segue alguma tendência de direção (orientação geográfica da expansão urbana)
	Integração/ Centralidade	Proporção de movimentos pendulares internos à aglomeração urbana com destino não polarizado na sede; proporção de movimentos pendulares pelo total da população.
Torrens e Alberti (2000) / Torrens (2008)	Desenvolve uma série de indicadores que traduzem características descritivas da dispersão urbana em variáveis quantificáveis; verificadas tanto na escala da cidade como na escala intra-urbana. As medidas envolvem sofisticadas técnicas de análise espacial e geoestística, muitas das quais já haviam sido apresentadas por Torrens e Alberti (2000) em trabalho anterior. A aplicação empírica é feita apenas para a cidade de Austin, com dados de 1990 e 2000.	
	Crescimento urbano	Superfície urbanizada; área disponível para urbanização; superfície ocupada por áreas residenciais de baixa densidade, entre outros (18 indicadores).
	Densidade	Superfície de densidade; diferentes tipos de gradientes de densidade, entre outros (7 indicadores).
	Social	Perfil socioeconômico dos moradores (2 indicadores).
	Atividades/ uso do solo	Índice de diversidade; índice de homogeneidade (2 indicadores).
	Fragmentação	Dimensão fractal do perímetro, entre outros (3 indicadores).
	Descentralização	Técnicas de autocorrelação espacial (5 indicadores)
Acessibilidade	Acessibilidade ao centro, acessibilidade aos empregos, acessibilidade à escolas e outras facilidades educacionais, entre outros (5 indicadores).	

²³ Tradução livre para o termo *Average Nearest Neighbor Index*, técnica de análise espacial disponível no software ArcGIS (Ojima, 2007b, p.286)

²⁴ Também disponível no software ArcGIS (Ojima, 2007b, p.290)

Frenkel e Ashkenazi (2008)	Desenvolvem índice composto que avalia se a cidade é dispersa ou compacta e quão dispersa ou compacta ela é. Dividem os indicadores em dois grupos: de configuração (relacionados à forma e densidades) e de composição (relacionados ao uso do solo). Aplicam as medidas a 78 cidades israelenses, grandes, médias e pequenas, utilizando dados de meados da década de 1980 e de 2002.	
	Configuração (forma e densidades)	Densidade: número de habitantes/ área urbanizada; e número de habitantes/ área residencial. Irregularidade da forma: índice de forma e dimensão fractal. Índice de fragmentação: índice de assentamentos urbanos isolados (descontínuos); índice de assentamentos urbanos residenciais descontínuos; média da área dos assentamentos urbanos.
	Composição (mistura de usos do solo)	Porcentagem de área cujo uso do solo é residencial: área residencial/ área com usos 1 ao 6 (1-residencial; 2-industrial; 3-institucional; 4-misto; 5-turismo e recreação; 6-usos especiais; 7-shoppings; 8-espacos abertos; 9-vazios; 10- terra agrícola)

Quadro 2 – Principais indicadores de dispersão urbana encontrados na literatura recente

As principais contribuições de cada um dos estudos apresentados são apontadas abaixo, antes de passar aos comentários mais específicos.

- O estudo de Galster et al (2001) representou uma ruptura no desenvolvimento de métodos para mensurar dispersão. A grande contribuição de seu trabalho é que mostra as variadas formas que a dispersão pode assumir e encoraja pesquisadores a explorar outras dimensões da dispersão urbana, não apenas densidade (Jaret et al, 2009, p.72-73).
- Ewing et al (2002) introduziu a importante questão dos efeitos da dispersão, reconhecendo acessibilidade como um aspecto fundamental para o estudo do fenômeno, e ressaltando que não são as formas em si que tornam a dispersão urbana um fenômeno não desejado, mas sim os efeitos que ela produz. Tal abordagem remete à questão do desempenho urbano.
- Bertaud e Malpezzi (2003, p.19) também tocam na questão de desempenho. Com o índice de dispersão, assumem que quanto menor a distância média dos locais de moradia ao principal local de concentração de empregos e serviços, melhor o desempenho da forma urbana. O trabalho de Bertaud e Malpezzi (2003), complementado posteriormente por Ribeiro e Holanda (2006) é importante, sobretudo, por sistematizar mensuração da dispersão para elevado número de cidades do mundo todo, incluindo cidades brasileiras. Ojima (2007a e 2007b), por

sua vez, analisa exclusivamente padrões brasileiros, com foco na questão da forma urbana e distribuição das densidades.

- Torrens (2008) e Frenkel e Ashkenazi (2008) exploram profundamente o caráter multidimensional da dispersão urbana, sugerindo variados indicadores para cada aspecto característico do fenômeno.

Como se pode verificar, nos estudos mencionados, a questão das densidades é um dos aspectos mais recorrentes na literatura, tendo em vista que dispersão urbana é comumente associada a baixas densidades. Diferentes técnicas são empregadas para verificar a questão da distribuição da população no território, como se vê no Quadro 2.

Gradiente de densidade populacional – ou de empregos – é uma antiga medida, popularizada pelo geógrafo Colin Clark, na década de 1950, que vem sendo utilizada por alguns autores como indicador de dispersão urbana (Jaret et al, 2009). Através desse método é possível verificar mudanças (usualmente declínio) na densidade à medida que se aumenta a distância ao centro. Historicamente, os gradientes de densidade populacional vêm se tornando mais achatados, isto é, as cidades vêm se tornando menos densas, mais descentralizadas e mais suburbanizadas (Mieszkoswski, 1989).

Nesse método, as densidades são medidas segundo círculos concêntricos ao redor do centro e os resultados colocados em um gráfico, que pode ser construído segundo funções matemáticas (função exponencial negativa e função inversa de potência), exemplificadas na Figura 3. Os detalhes de cálculo não são relevantes para o presente estudo, mas a intenção de visualizar essa informação no gráfico é mostrar o declínio das densidades conforme distância ao centro de cidade. O potencial desse método reside em sua capacidade de caracterizar graficamente a distribuição de densidades, e permitir comparações ao longo do tempo e entre cidades. Mais informações podem ser encontradas em Bertaud e Malpezzi (2003, p.80-86) e Torrens e Alberti (2000, p.6-9). As Figuras 4 e 5 mostram exemplos de comparações entre cidades usando gradientes de densidades.

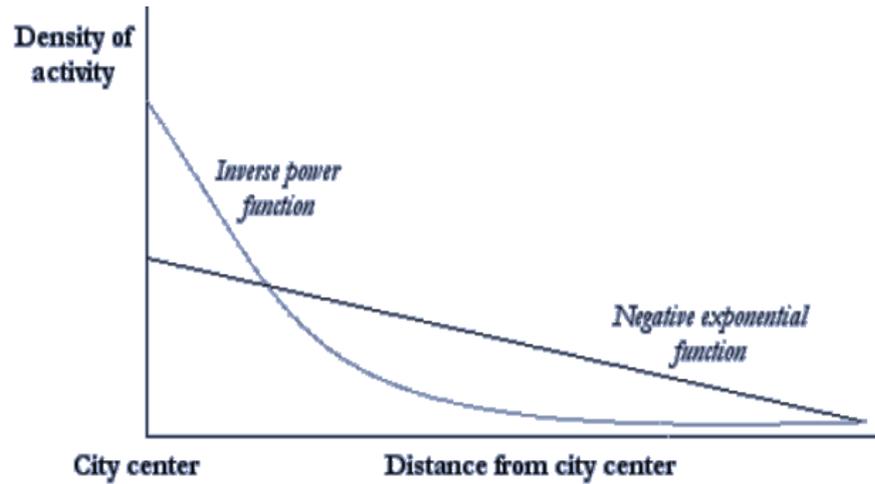


Figura 3 – Gradiente de densidade (Fonte: Torrens e Alberti, 2000)

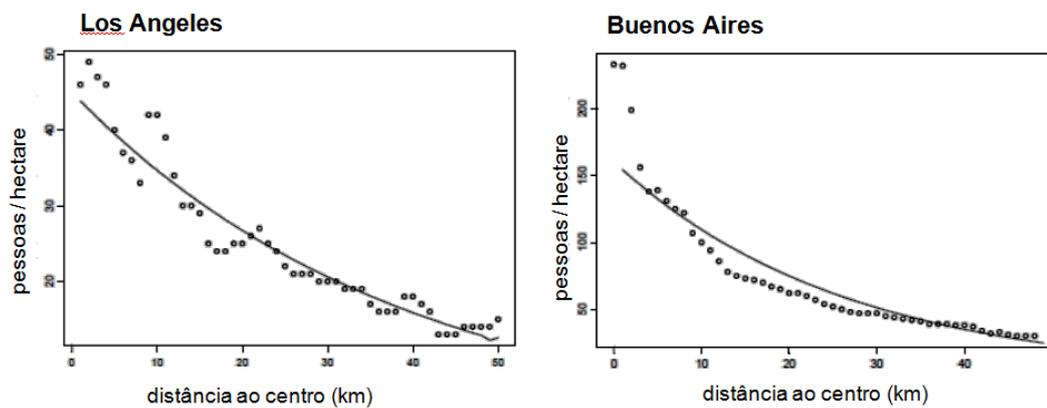


Figura 4 – Gradientes de densidade de Los Angeles e Buenos Aires (Adaptado de Bertaud e Malpezzi, 2003)

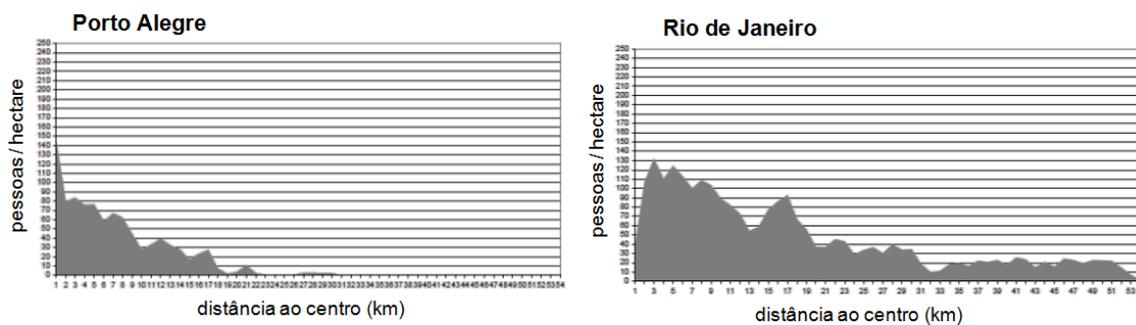


Figura 5 – Gradientes de densidade das cidades de Porto Alegre e Rio de Janeiro (Adaptado de Ribeiro e Holanda, 2006)

Um dos problemas dessa e de outras medidas que se baseiam em distâncias ao centro é que pressupõem a existência de apenas um centro na cidade. Evidências empíricas, no entanto, mostram que as cidades são cada vez menos monocêntricas e “mesmo as cidades

que ainda têm um centro vital e tradicional, tipicamente possuem vários sub-centros que competem com o centro em termos de emprego” (Maraschin, 2009, p.40).

Ojima (2007a e 2007b) sinaliza para o rompimento da dicotomia centro-periferia como paradigma explicativo do processo de urbanização recente, “uma vez que os fluxos de movimentos pendulares caracterizam um mosaico de situações distintas em cada uma das aglomerações urbanas” (Ojima, 2007b, p.296). O autor verifica, através de análise de dados do Censo (IBGE, 2000) que os movimentos pendulares não são, em todos os casos, direcionados predominantemente para o núcleo principal da aglomeração urbana, e aponta para padrões de mobilidade mais complexos, sugerindo que

“(…) se o modelo da cidade monocêntrica foi um dia o principal modelo de ocupação urbano, hoje parece haver um novo cenário. Ou seja, o urbano contemporâneo assume uma nova estruturação cada vez mais complexa, sobretudo, pela ramificação das redes urbanas, a integração dos fluxos econômicos, a intensificação dos fluxos de mobilidade populacional (...)” (Ojima, 2007a, p.103).

Contudo, essa relevante constatação de Ojima não é analisada, em sua pesquisa, em maiores detalhes, uma vez que seu foco está no estudo demográfico da dispersão urbana, verificável na escala metropolitana. Os fluxos de mobilidade da população que o autor menciona seriam verificáveis na escala intra-urbana.

Ewing e colegas (2002), por sua vez, reconhecem a importância de analisar rede de ruas, como importante dimensão da dispersão urbana, mas carecem de técnicas para operacionalizar medidas mais sofisticadas. Sua verificação de acessibilidade se resume a medidas derivadas do tamanho das quadras. Já Torrens e Alberti (2000) sugerem maneiras mais sofisticadas de operacionalizar indicadores de dispersão urbana baseados em medidas de acessibilidade, incluindo medidas baseadas em modelos gravitacionais, consistentes com a abordagem apresentada na seção 2.1.3 deste capítulo.

Por fim, os estudos sobre dispersão urbana analisados nessa seção, em geral, se restringem a abordagens na escala metropolitana, sem levar em conta particularidades da forma urbana, como configuração da rede de ruas e distribuição das atividades, na escala intra-urbana. O autor que mais se aproxima de uma abordagem na escala intra-urbana é Torrens (2008), cujos indicadores permitem verificar diferenciações espaciais internas. O autor utiliza, por exemplo, uma “superfície de densidade” calculada através de técnicas de regressão espacial. A vantagem é que a superfície revela nuances na distribuição das densidades que os gradientes de densidade – comentados anteriormente – não revelam, como, por exemplo, picos de densidade em determinados pontos da cidade. Este método, no entanto, não explora a relação entre densidade populacional e densidade de empregos.

Em resumo, as principais limitações encontradas a partir da leitura desses estudos sobre mensuração da dispersão urbana são:

- Muita ênfase é dada à questão das densidades e forma urbana. Poucos estudos enfatizam a questão dos efeitos da dispersão no desempenho urbano;
- Os métodos existentes dificilmente capturam sub-centros, e quando o fazem, não permitem fazer uma relação direta com as densidades residenciais;
- Em sua maior parte, tratam-se de indicadores não sistêmicos, ou seja, não avaliam relações entre partes do sistema, como, por exemplo, interação espacial entre locais de residência e locais de concentração de empregos/serviços.
- Poucas explorações são feitas na escala intra-urbana, o que significa que particularidades da forma urbana, como configuração da rede de ruas e distribuição precisa das atividades têm ficado de fora dos estudos sobre dispersão urbana.

3. SÍNTESE TEÓRICA

Esse capítulo objetiva apresentar os principais pressupostos para o desenvolvimento metodológico do trabalho, com base na revisão da literatura, construindo, assim, uma síntese teórica a qual retoma a hipótese inicial de que uma descrição detalhada do sistema urbano, que incorpore características configuracionais da rede de ruas e distribuição das atividades, pode ser útil para aferição de efeitos da dispersão.

A montagem teórica proposta parte da constatação de que o tema da dispersão urbana, apesar de amplamente discutido nos estudos urbanos, e com algumas tentativas de operacionalizá-lo em termos de descrição precisa e mensuração, como mostram os indicadores apresentados na seção 2.3, ainda é pouco explorado sob o ponto de vista da aferição de efeitos no desempenho urbano. Por isso, o primeiro passo seria dar ao termo uma definição baseada em efeitos (impactos), conforme alguns autores sugerem (Ewing 1997; Ewing et al 2002). Isso abre possibilidades de mensurar o fenômeno dentro da abordagem dos estudos configuracionais urbanos, os quais podem oferecer uma boa base teórica e metodológica para investigações mais aprofundadas sobre dispersão urbana e seus possíveis efeitos. Os modelos configuracionais trabalham com a escala intra-urbana, levando em conta particularidades da morfologia urbana, como a configuração da rede de ruas e a distribuição de atividades sobre essa rede, o que permite explorar conexões entre características espaciais e seu conteúdo social.

Na primeira parte deste capítulo são abordadas possíveis associações entre dispersão e desempenho urbano, que poderiam ser mensuradas, ou seja, capturadas mediante técnicas de modelagem urbana e indicadores, revisados, respectivamente, nas seções 2.1 e 2.2. Na segunda parte, se sugere a exploração de uma medida – objetivando a delimitação da pesquisa a um problema mais específico dentro do universo de possibilidades a serem exploradas a respeito do tema de mensuração/avaliação da dispersão urbana – e se apresentam os pressupostos e definições teóricas para o desenvolvimento dessa medida.

3.1 DISPERSÃO URBANA E EFEITOS NO DESEMPENHO

Diversas associações entre dispersão urbana e desempenho podem ser feitas. Assumindo que o sistema urbano é composto de atividades residenciais e não residenciais desigualmente distribuídas pelo território e conectadas por uma rede de espaços públicos, essa seção objetiva delinear algumas das possibilidades de avaliações a serem exploradas, em termos de desempenho urbano, levando em conta as dimensões de desempenho vistas

na seção 2.2.1, e procurando fazer uma relação com características configuracionais relacionadas à acessibilidade.

Acessibilidade é um aspecto diretamente relacionado com desempenho urbano e bastante citado nos estudos sobre dispersão, mas pouco explorado metodologicamente em estudos que tomam a dispersão pelo lado quantitativo. Sob o ponto de vista de Ewing (1997, p. 109), a dispersão obstrui a acessibilidade de duas maneiras: a) moradores encontram-se geralmente distanciados das atividades não-residenciais, como locais de empregos, de compras e de recreação (*residential accessibility*); b) atividades não residenciais encontram-se elas mesmas distantes umas das outras (*destination accessibility*). O autor comenta que ambos os fatores prejudicam a eficiência dos padrões de deslocamento da população, sendo, portanto, aspectos não desejados da dispersão urbana. Tais fatores permitem ainda uma exploração mais profunda, na medida em que podem ser equiparados a dimensões de desempenho, conforme se verá a seguir.

O primeiro dos fatores abordados anteriormente, distanciamento entre moradores e locais de trabalho, pode ser claramente entendido como uma questão de **equidade**, apontando, em termos espaciais, para um desencontro entre áreas residenciais e áreas de concentração de empregos. Netto e Krafta (2009) sugerem a inclusão de aspectos da morfologia intra-urbana – acessibilidade construída através de redes viárias – na análise da dinâmica firma-trabalhador. Netto (no prelo) discute em maiores detalhes vantagens e dificuldades operacionais de tomar a relação entre locais de emprego e localização/mobilidade dos trabalhadores como item de avaliação de desempenho. Para o autor,

“A mediação do espaço nas relações entre trabalhador e firma refere-se centralmente à equidade social: as condições de uma estrutura urbana em distribuir benefícios locais e acessibilidade entre agentes socialmente diferenciados de modo a minimizar diferenças sociais”. (Netto, no prelo)

Na literatura, podem ser encontrados diversos índices ou indicadores²⁵ que procuram medir o desencontro entre localizações e locais de concentrações de empregos, sob a forma de medidas de acessibilidade²⁶, baseadas na distância entre essas atividades. Há também a medida de oportunidade espacial (Krafta 1996, Gheno, 2009), que procura identificar áreas mais privilegiadas em termos de acesso a serviços, e que não deixa de ser uma espécie de

²⁵ Dentre eles Cervero et al (1995), Wang (2003), Kawabata e Takahashi (2005), além daqueles já mencionados na revisão bibliográfica sobre indicadores de dispersão urbana

²⁶ Muitos estudos usam o termo *job accessibility*, que significa, literalmente, acessibilidade aos empregos

medida de acessibilidade. Todas essas medidas poderiam ser úteis, portanto, para a verificação da acessibilidade dos trabalhadores aos locais de emprego, item chave para o estudo dos efeitos da dispersão urbana no desempenho, tendo em vista que boa parte dos problemas relatados é decorrente do aumento de deslocamentos causado pela diminuição de acessibilidade.

Já o segundo fator, de distanciamento ou dispersão das atividades não-residenciais, é claramente uma questão de **eficiência**. Netto (no prelo) constata que essas atividades “dependem de proximidade espacial para minimizar custos em suas interações internas”, sugerindo que “a mediação do espaço nas relações entre firmas se mostrará um fator essencial para eficiência urbana, ao relacionar-se à produtividade e, em longo prazo, a uma maior ou menor sustentabilidade da economia local.” Uma maneira de medir isso seria verificar padrões de distribuição das atividades não-residenciais, o que requer maior detalhamento na representação dos locais que concentram atividades econômicas.

Esses aspectos, de certa forma, contradizem um ao outro, visto que a dispersão das atividades não residenciais é desejável sob o ponto de vista da equidade, mas não sob o ponto de vista da eficiência das relações econômicas, para as quais a aglomeração – ou seja, maior proximidade entre essas atividades – é mais desejável. Aqui fica clara a dificuldade de se avaliar desempenho de padrões de urbanização os quais envolvem dinâmicas complexas e muitas vezes contraditórias, e também a intrincada relação entre dispersão e desempenho. Se, por um lado, determinada situação é vantajosa sob o ponto de vista da equidade, pode ser que não o seja sob o ponto de vista da eficiência. O desafio está na busca do equilíbrio entre as duas categorias de desempenho.

Outra dimensão que poderia ser explorada se refere à **sustentabilidade**. A forma urbana dispersa é usualmente tida como uma forma menos sustentável do que a compacta, mas há autores que relativizam esse discurso. Chin (2002) e Jenks et al (1996) argumentam sobre a falta de estudos empíricos que sustentem essa afirmação. Polidori e Krafta (2005) sugerem que a hipótese de que cidades compactas são mais sustentáveis, talvez não seja sempre 100% verdadeira e apontam para a necessidade de se compreender melhor o processo de crescimento urbano sob o ponto de vista morfológico e configuracional. Peres e Polidori (2010) discutem a fragmentação da forma urbana como intrínseca ao fenômeno urbano, e decorrente da auto-organização morfológica do sistema urbano à escala das bacias hidrográficas. Segundo os autores, “a ocorrência da forma urbana fragmentada permite que os vazios urbanos possam coincidir espacialmente com locais de interesse do ambiente natural”, e que, portanto, as descontinuidades espaciais podem ser vistas como um caminho para que sistemas urbanos coexistam com sistemas naturais.

Conforme visto na revisão bibliográfica, a forma urbana dispersa é abordada, muitas vezes, em termos de padrões geométricos aparentes que a estrutura urbana assume e do grau de compacidade desses padrões. Tais abordagens tendem a ignorar a relação entre forma e dinâmica das interações na cidade, ao não considerar a morfologia urbana mais detalhadamente. Gonçalves e Krafta (2010) procuram mostrar as limitações disso em termos de avaliação de efeitos danosos à sustentabilidade, procurando ressaltar a importância de se investigar a forma urbana de maneira mais detalhada, levando em conta particularidades morfológicas, na escala intra-urbana.

Boa parte dos estudos que procuram mensurar dispersão urbana avalia apenas a compacidade da forma urbana, ou a medida pura de densidade (habitantes por km² ou número de domicílios por km²), ou ainda, a maneira como a densidade residencial ou densidade de empregos se comporta segundo sua distância ao centro principal. O problema destes estudos é que não consideram as relações entre esses elementos, essas sim, responsáveis pela geração de fluxos de movimentação de veículos e, conseqüentemente, efeitos no desempenho. Sendo assim, quando o objetivo da análise remete a desempenho urbano, o foco deveria estar muito mais na configuração da malha urbana e na distribuição das atividades, remetendo a fluxos e relações espaciais, do que no grau de compacidade da mancha urbana ou em algum outro aspecto isolado, como densidade populacional.

No campo dos sistemas configuracionais urbanos tem-se desenvolvido sistemas de avaliação de desempenho urbano de abordagem sistêmica, que levam em conta relações entre elementos, e que, portanto, podem contribuir para a aferição de efeitos relacionados à distribuição intra-urbana das atividades e à configuração dos espaços que conectam essas atividades. Netto (no prelo) salienta que a contribuição a ser derivada dos estudos configuracionais se refere justamente à captura mais precisa da distribuição desigual das acessibilidades impostas pela estrutura física das cidades.

Diante do exposto, conclui-se que os estudos configuracionais podem ser explorados para investigação da dispersão urbana e seus efeitos no desempenho. Todas as investigações sugeridas nesta seção dizem respeito à medida de acessibilidade, que se trata de uma das principais medidas de diferenciação espacial desenvolvida no âmbito dos estudos configuracionais urbanos (ver 2.1.3). Essa parece ser uma forma consistente de aproximar o debate sobre dispersão urbana com esse campo de pesquisa.

A seguir são apresentados os pressupostos e definições teóricas para a proposição de indicadores para avaliar a dispersão urbana sob o ponto de vista do desencontro espacial entre locais de residência e locais de emprego, baseados em medidas de acessibilidade, a

qual constitui um aspecto extremamente relevante para a avaliação de desempenho, conforme argumentado nessa seção.

3.2 PRESSUPOSTOS E DEFINIÇÕES TEÓRICAS

Muitos estudos, ao relatar impactos negativos da dispersão urbana, fazem referência ao aumento dos deslocamentos da população, algo que só é possível verificar de maneira consistente ao se levar em conta detalhes da escala intra-urbana. Visto que boa parte dos deslocamentos ocorre do local de residência ao local de trabalho/estudo²⁷ uma medida confiável para aferição de feitos da dispersão, deveria levar em conta não apenas a distribuição espacial da população, mas também sua relação com locais de emprego. Quando essas atividades se localizam de maneira a induzir deslocamentos em grande quantidade e em maiores distâncias, pode-se supor que isso tenha algum efeito não desejado ao sistema urbano.

Fluxos e deslocamentos são influenciados, em certa medida, pela distribuição das atividades urbanas e das condições de acesso a elas, impostas pela conectividade da malha urbana. Quando um sistema passa a se configurar de maneira mais dispersa, estariam sendo alterados padrões de localização (residencial e de trabalho), de modo a aumentar distâncias, levando a população a percorrer caminhos mais longos para chegar aos seus destinos. Na ausência de sistemas de transporte público eficientes, esses deslocamentos acabam ocorrendo, em sua maior parte, através de veículos particulares, gerando aumento de consumo de combustíveis fósseis e problemas no trânsito, entre outros efeitos. Destaca-se, sobretudo, o impacto que um padrão mais disperso pode representar à relação de acessibilidade, ou, em outras palavras, proximidade entre firma-trabalhador e à própria mobilidade do trabalhador.

O presente estudo se propõe a modelar essas nuances, e para isso se faz necessário estabelecer, em primeiro lugar, o que seria uma definição de dispersão urbana baseada nos efeitos que a configuração espacial produz no desempenho urbano. O que seria uma cidade compacta e o que seria uma cidade dispersa, em termos de configuração espacial e distribuição de atividades?

No âmbito dessa pesquisa, considera-se que uma cidade compacta seria aquela configurada por uma grelha completa, uma vez que essa seria a forma urbana mais aproximada de um plano isotrópico, ou seja, a rede de espaços públicos que permitiria

²⁷ A pesquisa de origem e destino realizada pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre (EDOM, 2004) aponta que 67% dos motivos das viagens se referem a trabalho ou estudo.

maiores possibilidades de movimentos a partir de um ponto; e com as atividades não residenciais bem distribuídas em relação à distribuição das densidades residenciais (de maneira os empregos se localizassem próximos aos locais de residência, otimizando deslocamentos).

Dispersão urbana seria caracterizada por uma configuração de sistema na qual as distâncias entre as atividades sejam maiores, levando em conta duas coisas: a) rede de espaços públicos (se for mais fragmentada ou mais extensa esse sistema terá um grau de dispersão maior); b) desencontro entre as atividades (se uma quantidade significativa de atividades não residenciais estiver distante das localizações residenciais, esse sistema tem um grau de dispersão maior). Ambos os aspectos relatados contribuem para o sistema ser mais disperso, uma vez que contribuem para deslocamentos maiores.

Este trabalho parte do pressuposto de que exista algum tipo de correlação entre deslocamentos maiores e efeitos negativos (consumo de combustível, produção de poluição, consumo de tempo produtivo, etc). Pressupõe também que sistemas mais dispersos (levando em conta apenas forma urbana) tendem a produzir maiores deslocamentos, mas não necessariamente, dado que a distribuição adequada das atividades (agora sim, levando em conta padrões de localização residencial e de trabalho) poderia mitigar a configuração dispersa da rede de ruas. Com isso, ressalta-se aqui a importância de se avaliar padrões de localização de atividades, juntamente com outros tipos de avaliação sobre a dispersão urbana.

A verificação das distâncias entre as atividades (residenciais e não-residenciais), levando em conta a configuração da rede de ruas, em um dado sistema urbano, pode ser, portanto, um bom indicador do potencial que esse sistema apresenta em produzir deslocamentos maiores. Fala-se em potencial, uma vez que a medida pode ser calculada apenas com dados de localização das atividades, sem levar em conta os deslocamentos reais, ou seja, aqueles que de fato ocorrem e que são influenciados, entre outras coisas, pelo sistema de transportes público. É proposto, portanto, um indicador que avalia a configuração espacial da rede de ruas e das localizações intra-urbanas, sem levar em conta o trânsito e os sistemas de transporte, como sendo uma primeira aproximação de um método para mensurar a dispersão dentro da abordagem configuracional e voltado para aferição de efeitos no desempenho urbano.

Propõe-se, então, um indicador que avalie quais localizações urbanas apresentam maior potencial de gerar impactos decorrentes de deslocamentos maiores, que leve em conta interações entre atividades urbanas que geram e que atraem fluxos, e a acessibilidade entre

essas proporcionada pela configuração da rede de ruas. Trata-se de um indicador sistêmico, uma vez que captura interações entre partes do sistema. Propõe-se também que tal indicador seja sintetizado sob a forma de um índice geral, que indique o grau de desencontro entre localizações residenciais e de trabalho, permitindo comparações entre cidades. Os indicadores propostos se baseiam em uma medida de acessibilidade ponderada pela quantidade de população, ou de unidades habitacionais – como fator de geração de fluxo – e pela quantidade de empregos, ou firmas – como fator de atração de fluxo. O desenvolvimento metodológico de tal medida encontra-se delineado no capítulo 4.

4. DESENVOLVIMENTO DOS INDICADORES

Conforme exposto na montagem teórica, essa pesquisa explora metodologicamente a utilização de medidas configuracionais do sistema urbano derivadas da medida de acessibilidade objetivando compor indicadores de desempenho relacionado à dispersão urbana, com enfoque para a questão do desencontro entre locais de residência e locais de trabalho. Este capítulo apresenta o método descritivo adotado para a modelagem do fenômeno e relata o desenvolvimento do indicador. Inclui uma sequência de estudos exploratórios comparando pequenos sistemas teóricos abstratos, realizados com o intuito de testar a metodologia proposta, e que mostram o processo de definição dos indicadores.

4.1. REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA ESPACIAL URBANO

O primeiro passo para a modelagem da dispersão urbana envolve a escolha de um método descritivo adequado para representar o sistema espacial urbano. Neste trabalho o sistema espacial urbano é entendido como uma rede de espaços públicos interligados, que conectam e dão acesso às formas construídas e seus conteúdos socioeconômicos. Dessa forma, considera-se a existência de um sistema social, constituído de agentes – indivíduos ou instituições e firmas – que formam redes conforme sua condição social, papel econômico e atividades produtivas e reprodutivas. Tal abordagem é sugerida por Netto e Krafta (2009, p. 162) para o estudo do desempenho urbano, como uma forma de procurar evidenciar relações entre sistemas espaciais e processos socioeconômicos relacionados a sistemas sociais. Para os autores

“Um sistema de análise focada em comportamento urbano deve verificar padrões de proximidade/distância entre agentes, e ganhos/perdas em cenários de novas localizações ou modificações na malha de acessibilidade sobre o desempenho e sustentabilidade econômica do sistema urbano. Apontamos aqui para as relações entre interatividade dos agentes e a conectividade do sistema espacial: a correspondência entre essas dimensões do fenômeno urbano é item fundamental para seu desempenho.” (Netto e Krafta, 2009, p. 163).

Esse tipo de abordagem requer uma representação sistêmica. Logo, as porções de espaço urbano, que são as unidades de análise, não são vistas aqui como um conjunto de amostras independentes, mas como partes integrantes de uma rede de elementos que se relacionam uns com os outros. O método de representação adotado evidencia relações entre os elementos, aqui chamadas de interações espaciais, ou seja, evidencia de que maneira duas localizações se conectam através da rede espacial urbana. Procura-se, dessa forma, uma

maneira de obter algum avanço em relação a tradicionais análises espaciais intra-urbanas que usualmente trabalham com polígonos como unidades de análise isoladas, como, por exemplo, bairros, setores censitários, etc.

Então, tendo em vista os objetivos dessa pesquisa, o método proposto requer a adequada descrição da distribuição de atividades urbanas, bem como as distâncias entre estas. Cada um dos sistemas descritivos apresentados na seção 2.1.2 apresenta vantagens e desvantagens. O método de representação por meio de linhas axiais apresenta a desvantagem de possuir alto nível de agregação das variáveis, ou seja, uma linha axial compreende um conjunto de segmentos de rua que muitas vezes não são homogêneos. A representação por trechos de rua e a representação nodal são os métodos que permitem trabalhar com maior nível de desagregação, pois utilizam unidades menores, sendo, deste modo, os mais adequados à avaliação de desempenho urbano, uma vez que possibilitam representar com mais precisão a distribuição de atividades.

Neste trabalho optou-se pela representação nodal, tendo em vista algumas vantagens que possui em relação à representação por trechos, no que se refere à apuração das distâncias. Batty (2004a, 2004b) classifica as representações como *primal* e *dual*, e tece considerações sobre o uso de uma e de outra. Segundo o autor, ao tratar de sistemas urbanos, a representação *primal* foca a análise nos nós de interseção entre duas ou mais linhas, enquanto que os trechos de rua constituem as conexões entre estes nós. A representação dual, por sua vez, foca a análise nos trechos de rua, sendo que as interseções entre estes configuram suas ligações. A principal vantagem é que o grafo da representação *primal* é igual ao mapa que a descreve, e isso permite que a mensuração das distâncias entre entidades tenha maior aproximação com as distâncias reais.

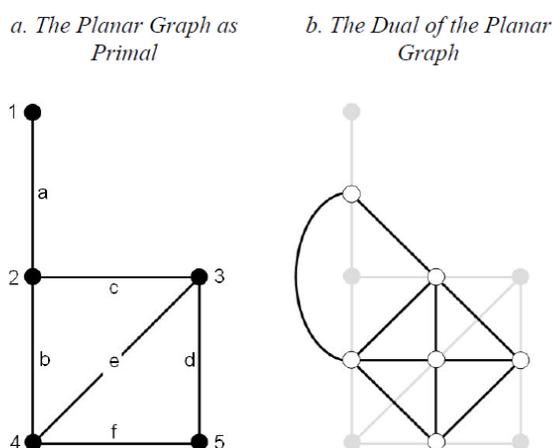


Figure 1: Conventional Graph-Theoretic Representation of the Street Network

Cabe ressaltar que distâncias são extremamente relevantes ao problema da dispersão e por isso se utilizou o método de representação nodal, que captura distâncias com maior fidelidade ao mapa que representa. A descrição por trechos de rua também poderia ser utilizada para verificar desempenho urbano, uma vez que possui satisfatório nível de desagregação das variáveis espaciais. No entanto, neste método descritivo, nos softwares disponíveis até o momento, as distâncias são capturadas em linha reta, entre os pontos médios de cada trecho, ou seja, a malha viária não é levada em conta, podendo haver grandes distorções em determinados casos. Quando se usa a descrição nodal, as distâncias são mensuradas de um nó a outro, havendo uma maior aproximação com distâncias intra-urbanas reais. Por isso, concluiu-se que a representação nodal é mais adequada para o estudo da dispersão urbana.

Assim sendo, a cidade é descrita neste trabalho por meio de um grafo, ou mapa nodal (são iguais), onde os nós representam localizações urbanas que contém porções de formas edificadas, ao passo que as linhas representam segmentos de rua. A cada entidade (nó) é atribuído o tipo de uso do solo, residencial ou não residencial, ou ambos. Cada nó recebe também um carregamento quantitativo que representa uma noção do peso daquela localização em relação às demais no sistema. Em outras palavras, esses pesos podem ser utilizados para diferenciar localizações em termos de, por exemplo, quantidade de população residente ou número de domicílios, no caso do uso do solo residencial; e número de postos de trabalho ou vagas escolares, no caso do uso do solo ser não residencial. Dessa forma são computados no modelo os conteúdos das porções de forma edificada.

Ressalta-se aqui o alto grau de abstração do método descritivo adotado, bastante utilizado em estudos configuracionais, mas pouco usual em outros tipos de abordagens. A despeito de reduzir a cidade a linhas e nós, tal tipo de representação apresenta potencialidades, sendo que a principais delas está em evidenciar conexões espaciais entre localizações urbanas que contém determinadas atividades., Isso permite, mediante técnicas de modelagem urbana, a identificação de hierarquias espaciais, que servirão de base para o desenvolvimento de um indicador de dispersão urbana centrado na questão da acessibilidade, conforme é explicado nas próximas seções.

4.2. DEFINIÇÃO DOS INDICADORES

Acessibilidade, fundamentalmente um somatório de distâncias, pode ser um bom indicador de desempenho para o fenômeno da dispersão urbana. Conforme visto na revisão

bibliográfica deste trabalho, em suas formulações mais básicas são computadas as distâncias de cada entidade a todas as demais, geralmente através de um algoritmo computacional que analisa distâncias par a par, de modo que aquela que tiver o somatório mais baixo é a mais acessível, ou seja, a que está mais próxima das demais.

A medida que se pretende explorar aqui é uma medida de acessibilidade ponderada, derivada da medida simples de acessibilidade. A diferença é que a acessibilidade ponderada ao invés de analisar todas as interações espaciais possíveis entre todos os pares do sistema trabalha apenas com pares de entidades complementares, isto é, que tenham algum tipo específico de relação (residência-trabalho; por exemplo), que pode ser lida como uma relação do tipo origem-destino ou demanda-oferta. Para esta pesquisa, pode-se pensar que locais de residência correspondem à origem (ou demanda, em outras palavras); e que locais de trabalho correspondem a destino (ou oferta).

As análises propostas aqui consideram que esses pares de entidades complementares, potencialmente interativos entre si, são também potencialmente geradores de fluxos de deslocamentos, inerentes às necessidades cotidianas, como o ato de se deslocar da casa ao trabalho, uma vez que estes se encontram, salvo exceções, espacialmente distantes. Faz sentido pensar que quanto maior a concentração de moradores de uma dada localização, maior tende a ser seu potencial de gerar fluxos, e quanto maior a concentração de locais de emprego maior tende a ser seu potencial de atrair fluxos. Da mesma forma, faz sentido pensar que na medida em que se vão aumentando as distâncias que precisam ser percorridas para a realização de tais deslocamentos, aumenta-se o potencial de gerar efeitos não desejáveis, como maior consumo de combustíveis fósseis e poluição.

A medida de acessibilidade ponderada, portanto, deve levar em conta o potencial que determinada localização tem de gerar fluxos, o potencial de atrair fluxos, e sua posição relativa, em termos de distâncias, às demais localizações. Com isso é possível construir um indicador que mostra o potencial que cada localização tem em contribuir para a geração de efeitos decorrentes de deslocamentos, e verificar diferenciações espaciais e hierarquias internas do sistema urbano, como por exemplo, identificar quais localizações residenciais apresentam maior potencial de gerar fluxos e deslocamentos maiores, com base na sua distância aos locais de emprego e na quantidade de população residente. Trata-se de uma medida que leva em conta aspectos configuracionais da rede de ruas e a distribuição espacial das atividades. Não se trata de medir fluxos reais, mas de verificar em que medida cada parte do sistema, favorece a ocorrência de deslocamentos em maior quantidade e com maiores distâncias.

O indicador, calculado para cada parte do sistema, também pode ser sintetizado, em um índice geral para o sistema. A dispersão urbana é um fenômeno que se verifica no tempo, sendo, portanto, fundamental que os indicadores explorados permitam também comparações entre sistemas, isto é, comparações entre cidades ou diferentes momentos de uma mesma cidade, a partir de uma série histórica de dados. A próxima seção esclarece como é feita a operacionalização desses indicadores.

4.3. MÉTODO DE CÁLCULO

Conforme já mencionado anteriormente, a intenção da pesquisa é explorar um indicador de diferenciação espacial, para comparações intra-urbanas – algo que já vem sendo bastante explorado nos estudos configuracionais – e outro sob a forma de um índice geral, para fins de comparações entre diferentes sistemas²⁸. O primeiro trata-se da medida de acessibilidade ponderada, delineada na seção anterior, e o segundo um indicador de dispersão do sistema. Nesta seção são explicados os procedimentos de cálculo de ambos indicadores.

4.3.1. Acessibilidade Ponderada

Tendo em vista o método de representação escolhido, as distâncias podem ser obtidas mediante a identificação do caminho mais curto (mínimo) entre duas localizações que contenham atividades complementares. Sabe-se que, embora o caminho mínimo não corresponda exatamente ao trajeto que as pessoas fazem para se deslocar na vida real, trata-se de uma boa aproximação. As técnicas de modelagem existentes permitem que sejam incorporados elementos mais detalhados, como sentido de vias e preferência para que trajeto inclua vias mais importantes, de maneira que o caminho mínimo seja calculado levando em conta aspectos que se aproximam mais da realidade do trânsito. Porém, a incorporação desses elementos ficaria inviável considerando o tempo disponível para a realização dessa pesquisa. Portanto, as distâncias serão consideradas aqui como medidas do menor trajeto possível entre duas localizações, obtidas através da mensuração em unidades métricas dos segmentos de rua que fazem parte do caminho mínimo entre os pontos considerados.

²⁸ Comparações entre diferentes sistemas se referem tanto a comparações feitas para a mesma cidade em diferentes momentos do tempo, como a cidades distintas.

Há também que se quantificar o potencial de cada localização em gerar e atrair fluxos. Isso é feito através do carregamento de cada nó com algum atributo numérico que corresponda ao potencial de gerar fluxos ou de atrair fluxos, ou ambos. Estes podem ser quantificados, respectivamente, pelo número de moradores ou número de domicílios, e pelo número de empregos ou número de estabelecimentos comerciais, por exemplo. Os dados sobre população ou domicílio são facilmente encontrados no IBGE. Dados desagregados sobre emprego, por sua vez, são mais difíceis de conseguir, embora algumas cidades possuam levantamentos razoavelmente precisos das localizações dos estabelecimentos de indústria, comércio e serviços. Para as grandes metrópoles seria possível utilizar dados de Pesquisas Origem e Destino, realizadas por órgãos que planejam sistemas de transporte, de onde podem ser extraídas estimativas de número de empregos, mas nem todas contam com esse tipo de levantamento. Contudo, a falta de informações precisas sobre número e localização dos empregos não invalida o método. O mapeamento dos locais com maior concentração de empregos, e até mesmo a atribuição de pesos diferentes para esses locais – conforme seu potencial de atratividade – pode ser utilizado como uma aproximação a esse tipo de informação.

No modelo proposto nesse trabalho, interações entre entidades se dão sempre entre pares origem-destino. Nesse caso o fluxo é orientado: dos pontos de origem aos pontos de destino. O primeiro passo para o cálculo da acessibilidade ponderada se refere à identificação dos pares origem-destino, ou demanda-oferta, em outras palavras. Só entram no cálculo os pares que possuem como origem algum atributo residencial e como destino algum atributo não residencial.

Então, considerando um dado sistema representado por um grafo, onde cada nó seja carregado com algum atributo numérico residencial (número de domicílios ou número de habitantes) e/ou algum atributo numérico de serviços (número de postos de trabalho), a acessibilidade ponderada (AceP) de cada nó poderia ser calculada de duas maneiras:

$$\text{(Método1) } \mathbf{AceP}_i = \sum [\mathbf{at O}_i \times \mathbf{at D}_j \times \mathbf{d}_{ij}] \quad (1)$$

$$\text{(Método 2) } \mathbf{AceP}_i = \sum [\mathbf{at O}_i \times \mathbf{at D}_j \times \mathbf{1/(d_{ij}+1)}] \quad (2)$$

Sendo,

at O_i o atributo de origem na entidade i

at D_j o atributo de destino na entidade j

d_{ij} a distância entre i e j

Observação 1: Só são considerados os pares ij que contenham algum atributo de domicílio/população como origem e algum atributo de trabalho/emprego como destino.

Observação 2: a distância considerada entre um par de entidades i e j se refere ao menor caminho possível entre ambas, mensurado em unidades métricas, conforme explicado anteriormente.

A diferença entre os métodos de cálculo está na maneira como são computadas as distâncias. No Método 1 o produto dos atributos de cada entidade é multiplicado pela distância existente entre eles, enquanto no Método 2, ele é multiplicado pelo inverso da distância, ou seja, é dividido pela distância. Nesse caso, a distância é sempre somada a 1, para se evitar que se tenham valores divididos por zero (caso um mesmo nó abrigue origem e destino), o que causaria erro no cálculo.

Após os cálculos, é possível fazer um ranqueamento dos resultados, e constatar, dessa forma, quais elementos possuem maior ou menor potencial de contribuir com os maiores fluxos de deslocamentos (maiores em número de pessoas se deslocando ou em distâncias).

O exemplo a seguir demonstra como funcionam as medidas, a fim de verificar se os resultados correspondem às expectativas. A Figura 7 mostra um grafo com seus respectivos atributos de origem e destino, e também as distâncias entre as entidades. Aqui os nós que contêm algum atributo de origem representam localizações residenciais e aqueles que contêm atributos de destino representam locais de emprego. A Tabela 2 mostra os resultados encontrados para cada um dos métodos de cálculo propostos e a Figura 8 contém a visualização gráfica dos resultados (pontos maiores representam os valores maiores obtidos para a medida de acessibilidade ponderada).



Figura 7 – Grafo com seus respectivos atributos

	pares	at O_i	at D_j	d_{ij}	Método 1	Método 2
1	1-2	3	5	300	4500	0,0498
	1-3	3	5	400	6000	0,0374
					$\Sigma = 10500$	$\Sigma = 0,0872$
2	2-2	1	5	0	0	5,0000
	2-3	1	5	100	500	0,0495
					$\Sigma = 500$	$\Sigma = 5,0495$
3	3-2	1	5	100	500	0,0495
	3-3	1	5	0	0	5,0000
					$\Sigma = 500$	$\Sigma = 5,0495$
4	4-2	2	5	200	2000	0,0498
	4-3	2	5	100	1000	0,0990
					$\Sigma = 3000$	$\Sigma = 0,1488$
5	5-2	5	5	300	7500	0,0831
	5-3	5	5	200	5000	0,1244
					$\Sigma = 12500$	$\Sigma = 0,2074$

Tabela 2 – Comparação dos resultados obtidos utilizando a equação 1 e a 2

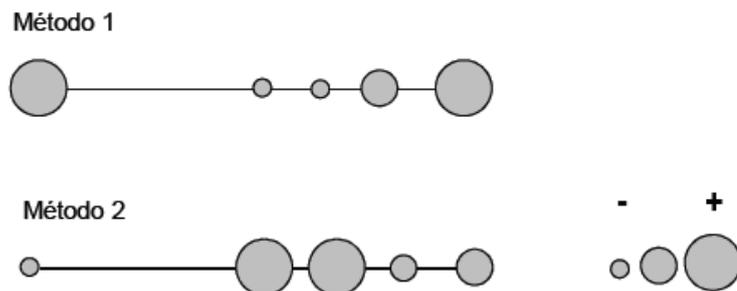


Figura 8 – Visualização dos resultados da medida

Observando os resultados, na Figura 8, ao utilizar o primeiro método de cálculo, os nós das extremidades (1 e 5) foram os que obtiveram maiores valores. Significa dizer que são os nós que possuem mais gente morando longe dos empregos. A quantidade de população também influencia na medida, de modo que o nó 5, apesar de estar um pouco mais próximo dos locais de emprego, ficou com valor maior do que o 1. Os nós 2 e 3, além serem os mais próximos dos locais de emprego, são também os que contém menor população. Significa, segundo esse indicador, que são aqueles que possuem menor potencial de gerar grandes fluxos de deslocamento. Aparentemente, o método de cálculo correspondeu à expectativa.

O segundo método de cálculo, por utilizar o inverso das distâncias, exige uma leitura inversa. Dessa forma, os valores mais baixos são os que possuem maior potencial de gerar fluxos. Seria de se esperar, portanto, que o ranqueamento dos valores obtidos por esse método de cálculo fosse exatamente o contrário do método anterior, o que não ocorreu, como se pode ver na Figura 8.

Outro problema deste método é que, quando há situações com distância igual a zero – em outras palavras, quando uma entidade é carregada com ambos os tipos de atributos, de origem e de destino – o valor resultante fica excessivamente maior que os demais.

A ideia por trás do indicador proposto tem sua origem em medidas de acessibilidade que se baseiam em teorias e modelos gravitacionais, cuja ideia central é que a força de atração, ou seja, a tensão entre dois corpos é inversamente proporcional à distância entre eles. Significa assumir que interações espaciais tendem a enfraquecer conforme vão se aumentando as distâncias. Por esse motivo, um dos métodos de cálculo testados computa o inverso da distância. Voltando, porém, à proposta do indicador, de levar em conta distâncias reais, calculadas em unidades métricas, e de trabalhar com interações do tipo moradia-trabalho (ou firma-trabalhador, em outras palavras), não se tem muita vantagem em utilizar o inverso da distância no cálculo. Em primeiro lugar porque a escolha do local de emprego, em geral, não se dá em função do local de residência, e vice-versa, diferente do que ocorre na escolha por locais de consumo, compra ou serviços, quando o fator proximidade (distância) é mais relevante, e onde de fato, a probabilidade de interação diminui segundo a distância. Em segundo lugar, devido aos problemas de cálculo relatados anteriormente: principalmente quando o local de origem coincide com o local de destino, há distorção nos resultados.

Concluindo, a Acessibilidade Ponderada calculada com somatório dos inversos das distâncias (equação 2) não correspondeu aos resultados que se esperava obter com a medida, sendo preferível utilizar a medida de acessibilidade calculada com distâncias diretas (equação 1). Por esses motivos, a equação 1 foi utilizada nas experimentações dessa pesquisa para verificar acessibilidade aos locais de trabalho. Cabe lembrar que como o cálculo envolve somatório de distâncias, e não de inversos de distâncias, como é tradicionalmente utilizado, a medida tem uma leitura da seguinte forma: os valores mais baixos indicam acessibilidade mais alta, já que se referem a distâncias menores.

4.3.2. Indicador de dispersão urbana

Cidades consistem em artefatos extremamente diferentes entre si, sob uma ampla gama de aspectos, o que dificulta o trabalho de comparação por meio de indicadores. Ao comparar cidades, como lidar com variações no tamanho, na estrutura viária, na população total, no número de empregos ou na distribuição das atividades? Alterações em cada um desses aspectos, de modo particular, acabam influenciando nos resultados do indicador proposto, cuja base de cálculo se refere fundamentalmente a distâncias entre elementos.

O tipo de representação utilizado nessa pesquisa – abstrato e constituído por elementos discretos – permite homogeneizar tais aspectos sob uma mesma base descritiva, o que já representa um avanço e facilita análises comparativas entre sistemas urbanos diferentes, ainda que a montagem do grafo envolva um pouco de subjetividade. Uma rua sempre será representada por um segmento de linha, não importando o tipo de rua; e uma localização urbana que contenha formas edificadas sempre será representada por um ponto. Porém, restam ainda outros fatores que têm influência nos resultados, como, por exemplo, os pesos atribuídos aos nós de origem e aos nós de destino, e também as variações no tamanho dos grafos e na configuração das conexões entre os nós.

O que se propõe com o Indicador de Dispersão é procurar sintetizar os valores obtidos com o Indicador de Acessibilidade Ponderada em um índice geral para o sistema, permitindo estudos comparativos entre sistemas. A maneira encontrada para fazer isso foi por meio da média ponderada do conjunto de resultados encontrados, um método mais adequado que a média aritmética simples, já que o método de cálculo envolve a atribuição de diferentes pesos (de origem e de destino) que acabam influenciando fortemente os resultados. Por isso, não basta dividir o somatório dos resultados pelo número de entidades (média aritmética), é preciso dividi-lo pelo somatório dos pesos. Então, o Indicador de Dispersão de um sistema se refere à média ponderada dos resultados da medida de Acessibilidade Ponderada encontrados para cada entidade do sistema. Isso pode ser expresso pela seguinte equação:

$$I(D) = \frac{\sum \text{AceP}}{(\sum \text{at O} \times \sum \text{at D})} \quad (3)$$

Sendo,

$I(D)$ = Indicador de dispersão do sistema

AceP = Acessibilidade Ponderada

$\sum \text{at O}$ = somatório dos atributos de origem

$\sum \text{at D}$ = somatório dos atributos de destino

Esse índice de dispersão seria um indicador que mostra o

Esse indicador de dispersão se refere, portanto, à média das distâncias entre locais de residência e trabalho. Ao utilizá-lo para comparar diferentes sistemas espaciais, os resultados podem indicar quais sistemas oferecem maiores distâncias entre origem e destino, ou, em outras palavras, entre “conjuntos de agentes complementares ou potencialmente interativos” (Netto e Krafta, 2009, p.167). Com isso, tem-se um indicador de desempenho urbano sistêmico que captura a relação espacial entre as entidades analisadas.

4.4. ESTUDOS EXPLORATÓRIOS

Alguns estudos exploratórios foram realizados com o objetivo de testar a sensibilidade da medida de Acessibilidade Ponderada e do Indicador de Dispersão do sistema a variações nos padrões de localizações de atividades e na configuração espacial da malha viária. Para fins comparativos, foram utilizados pequenos sistemas teóricos, na forma de grafos, representando diferentes possibilidades de padrões urbanos. Procurou-se utilizar grafos bastante simples – cuja comparação fosse fácil e intuitiva. Esses estudos permitiram entender melhor como os resultados se comportam a partir de alterações em cada uma das variáveis, antes que fosse aplicado ao caso de estudo mais complexo, apresentado no capítulo 5. Considerando o tipo de representação adotado, por meio de grafos, diferentes possibilidades de variações nas propriedades do grafo foram testadas, conforme resumido no Quadro 3.

Propriedades	Possíveis variações no grafo
Configuração espacial da malha viária	<ul style="list-style-type: none"> • quantidade e configuração das ligações entre os nós • distâncias entre os nós
Atributos de destino (locais de trabalho, empregos, etc)	<ul style="list-style-type: none"> • quantidade total • distribuição (mais concentrada ou mais difusa)
Atributos de origem (população, unidades habitacionais, etc)	<ul style="list-style-type: none"> • quantidade total • distribuição (mais concentrada ou mais difusa)

Quadro 3 – Possíveis variações na representação de certas propriedades no grafo

Então, são apresentados a seguir os principais testes realizados, agrupados conforme as propriedades mencionadas no Quadro 3. Para cada teste se apresenta uma figura com os dados de entrada no modelo; e outra com visualização gráfica dos resultados encontrados para cada nó. Ao invés de utilizar gradiente de cores para a visualização dos resultados, optou-se por mostrar os intervalos de valores segundo tamanho das entidades, de modo que as entidades maiores representem valores maiores.

Apresenta-se também um resumo dos resultados sob a forma de estatísticas simples, como somatório, média aritmética, valores máximos e mínimos, desvio padrão, coeficiente de variação, já que as tabelas com os resultados completos ficaram de fora do trabalho. Por fim, é apresentada a média ponderada dos resultados de cada sistema, que é o Indicador de Dispersão do sistema.

A avaliação dos resultados foi feita mediante uma análise visual da figura com a representação dos resultados, verificando se o comportamento dos valores ficou dentro do

esperado; e também com a ajuda de métodos estatísticos para elaborar o ranking comparativo de cada conjunto de testes, verificando se as médias encontradas apresentavam diferenças significativas.

4.4.1. Variações na configuração da malha viária

Para testar a sensibilidade do indicador à configuração da malha viária, foram comparados os resultados para 5 sistemas teóricos de 36 nós cada (6x6), com variações no grau de conectividade dos nós, isto é, no número de ligações entre eles e na configuração dessas ligações, representando malhas urbanas com diferente graus de fragmentação. Dessa forma, conforme representado na Figura 9, o Sistema 1a corresponde a uma grelha com diagonais que cruzam o sistema, o Sistema 1b corresponde a uma grelha perfeita, o Sistema 1c corresponde a um sistema levemente fragmentado nas bordas, o Sistema 1d corresponde a uma configuração labiríntica, e o Sistema 1e corresponde a uma configuração em núcleos com poucas conexões entre si. Nestes testes todos os nós foram igualmente carregados com peso 1 para empregos e peso 1 para população, de modo que a medida calcula distâncias de todas entidades a todas as demais.

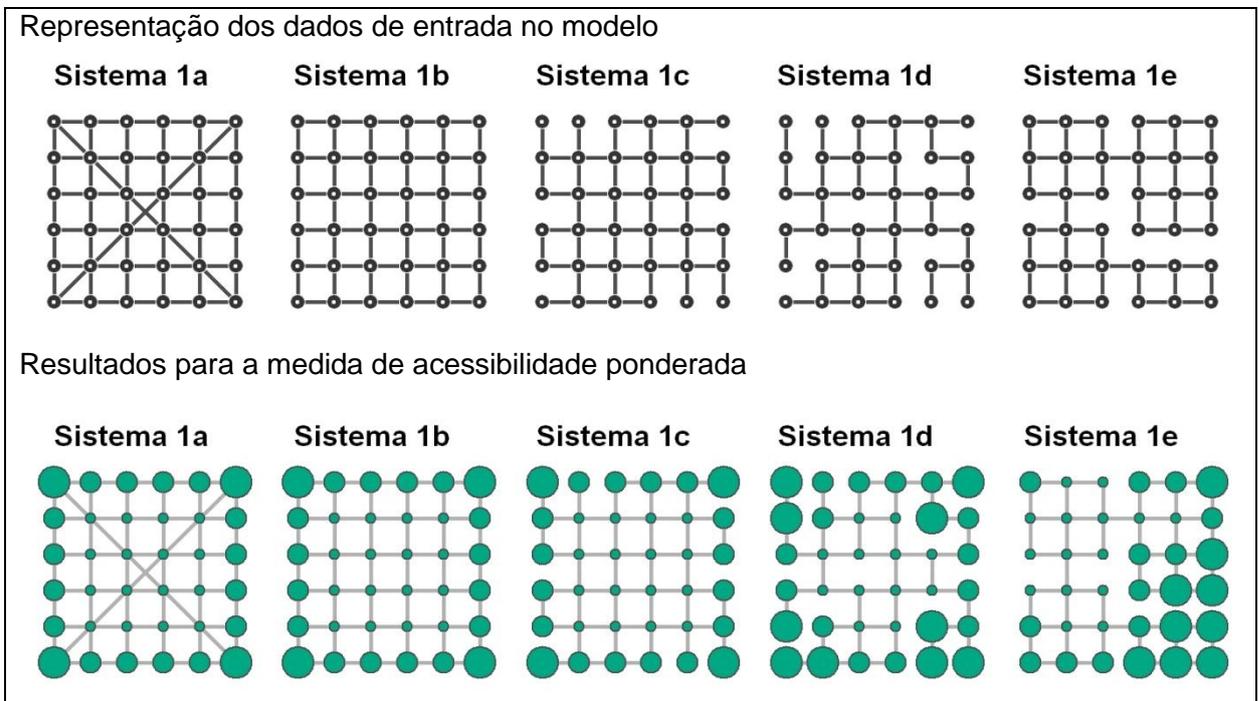
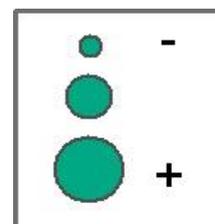


Figura 9 – Sistemas 1a, 1b, 1c, 1d e 1e com respectivos resultados

		1a	1b	1c	1d	1e
Dados de entrada	Total origem (população)	36	36	36	36	36
	Total destino (empregos)	36	36	36	36	36
Resumo dos resultados	somatório	443.312,48	504.000,00	520.000,00	605.200,00	674.800,00
	média	12.314,24	14.000,00	14.444,44	16.811,11	18.744,44
	valor mín	9.101,22	10.800,00	10.800,00	11.400,00	13.200,00
	valor máx.	14.778,20	18.000,00	19.600,00	25.000,00	28.200,00
	desvio padrão	1.803,98	2.146,63	2.616,48	3.622,77	3.774,69
	coef. variação	14,65	15,33	18,11	21,55	20,14
Dispersão	I (D)	12.314,24	14.000,00	14.444,44	16.811,11	18.744,44

Tabela 3 – Resumo dos resultados dos sistemas 1a, 1b, 1c, 1d e 1e

Constata-se, ao observar a visualização dos resultados da Figura 9, que aparecem padrões de diferenciações internas diferentes, conforme a configuração espacial testada. Essa figura mostra os nós do grafo classificados em diferentes tamanhos conforme sua posição no ranking. Já que todos os nós foram carregados com origem igual a 1 e peso igual a 1, os resultados se referem meramente a um somatório de distâncias. Sendo assim, os pontos maiores representam os nós que possuem maiores distâncias a todos os demais nós do sistema.



É possível constatar também, ao analisar as médias dos resultados, na Tabela 3, que, aparentemente, esta vai aumentando conforme se diminuem o número de conexões entre os nós, isto é, as distâncias percorridas para chegar a todos os destinos passam a ser maiores. Nesse caso, como não há pesos diferenciados nos pontos de origem e de destino, o Indicador de dispersão é a própria média aritmética dos valores. Para comparar essas médias procedeu-se a uma análise de variância simples (One-Way ANOVA), teste estatístico que permite comparar grupos de valores e descobrir se há diferença significativa entre eles. A maioria desses sistemas apresenta diferenças significativas, exceto na comparação entre 1c e 1d que apresentam altíssima probabilidade de serem iguais ($p=0,996$)²⁹, e entre 1d e 1e ($p=0,255$).

Esses exemplos foram suficientes para constatar que a medida captura adequadamente a questão da conectividade da malha, e o aumento das distâncias a serem percorridas, sendo este decorrente de descontinuidades na rede de ruas. Estes testes não levaram em conta a

²⁹ Quando p for maior do que 0,05 significa que há alta probabilidade de as médias analisadas serem iguais. Quanto mais próximo de 0, maior a probabilidade de serem diferentes.

distribuição dos locais de emprego nem a distribuição da população. Pode-se dizer que ao considerar todos os nós como origem e destino, com peso 1, o cálculo pode ser entendido como uma medida simples de acessibilidade (não ponderada), baseada no somatório de distâncias de cada nó a todos os demais do sistema.

4.4.2. Variações nos atributos de destino

Os atributos de destino, que se referem nessa pesquisa a atributos sobre locais de trabalho, podem variar enormemente de uma cidade a outra. Uma cidade pode apresentar diferentes padrões de distribuição dos locais de emprego, como, por exemplo, ter um centro principal, que concentra praticamente toda oferta de trabalho (padrão monocêntrico); pode ter diversos sub-centros (policêntrico); ou ainda pode ter um padrão mais difuso ou linear. Essas concentrações de locais de trabalho, por sua vez, podem apresentar diferentes configurações e distribuições, podem estar posicionadas em locais mais – ou menos – privilegiados em termos de acessibilidade em relação ao todo do sistema. O próprio número de postos de trabalho varia muito de uma cidade a outra. Aqui se procura testar algumas dessas situações, verificando como o indicador responde a mudanças nessas propriedades.

Todos os testes realizados assumem uma população distribuída homoganeamente (todos nós do sistema foram carregados com origem igual a 1) e foram realizados sobre a mesma base espacial, uma grelha perfeita com 49 nós (7x7) equidistantes entre si (100m). Foram, então, introduzidas alterações na: a) quantidade total de empregos ofertados; b) localização dos empregos ofertados; c) quantidade de locais com oferta de emprego. Os nós que contém atributos de emprego (destino) estão representados por pontos na cor preta, com o respectivo peso ou carregamento indicado ao lado.

Nestes testes, não se levou em conta a distribuição da população, logo o resultado de cada nó pode ser lido simplesmente como distância daquele nó a todos os nós que contém atributos de empregos. Os nós com valores resultantes mais altos podem ser entendidos como aqueles que se encontram mais distantes da oferta de empregos.

O sistema, inicialmente, foi carregado com 7 pontos de empregos (Sistema 2a), posicionados próximos ao centro geográfico do sistema, conforme mostra a Figura 10, e carregados com peso igual a 1. Em seguida, ao invés de colocar peso 1 para cada nó contendo emprego, se colocou peso 2, totalizando 14 empregos (Sistema 2b); e depois 6, totalizando 42 empregos (Sistema 2c).

Tendo em vista o objetivo de comparar diferentes cidades, sem verificar limiares de oferta e de demanda, apenas potencial de gerar deslocamentos maiores, o número total de empregos não deve ser um valor a influenciar no resultado, mas sim sua distribuição espacial em relação à distribuição espacial dos pontos de origem. No caso destes primeiros testes, essa relação não muda. Por isso, ao fazer uma análise visual dos resultados na Figura 10, percebe-se que a diferenciação interna dos resultados permanece a mesma, com os valores mais altos ocupando as bordas do sistema, ou seja, correspondem aos locais mais distantes dos locais de emprego. O que muda de um sistema para outro são os valores em si, influenciados pelo valor total de empregos, como se pode ver no resumo dos resultados mostrado na Tabela 4. Constatou-se que as médias aumentam proporcionalmente ao incremento no total de empregos, de modo a média obtida em 2b (2.514,29) é o dobro do que em 2a (5.028,57), e em 2c (15.085,71) é seis vezes maior.

Já o indicador de dispersão ficou igual para todos os sistemas (7,3303), o que corresponde à resposta esperada, já que os três sistemas são iguais no que se refere a desencontro entre locais de residência e emprego.

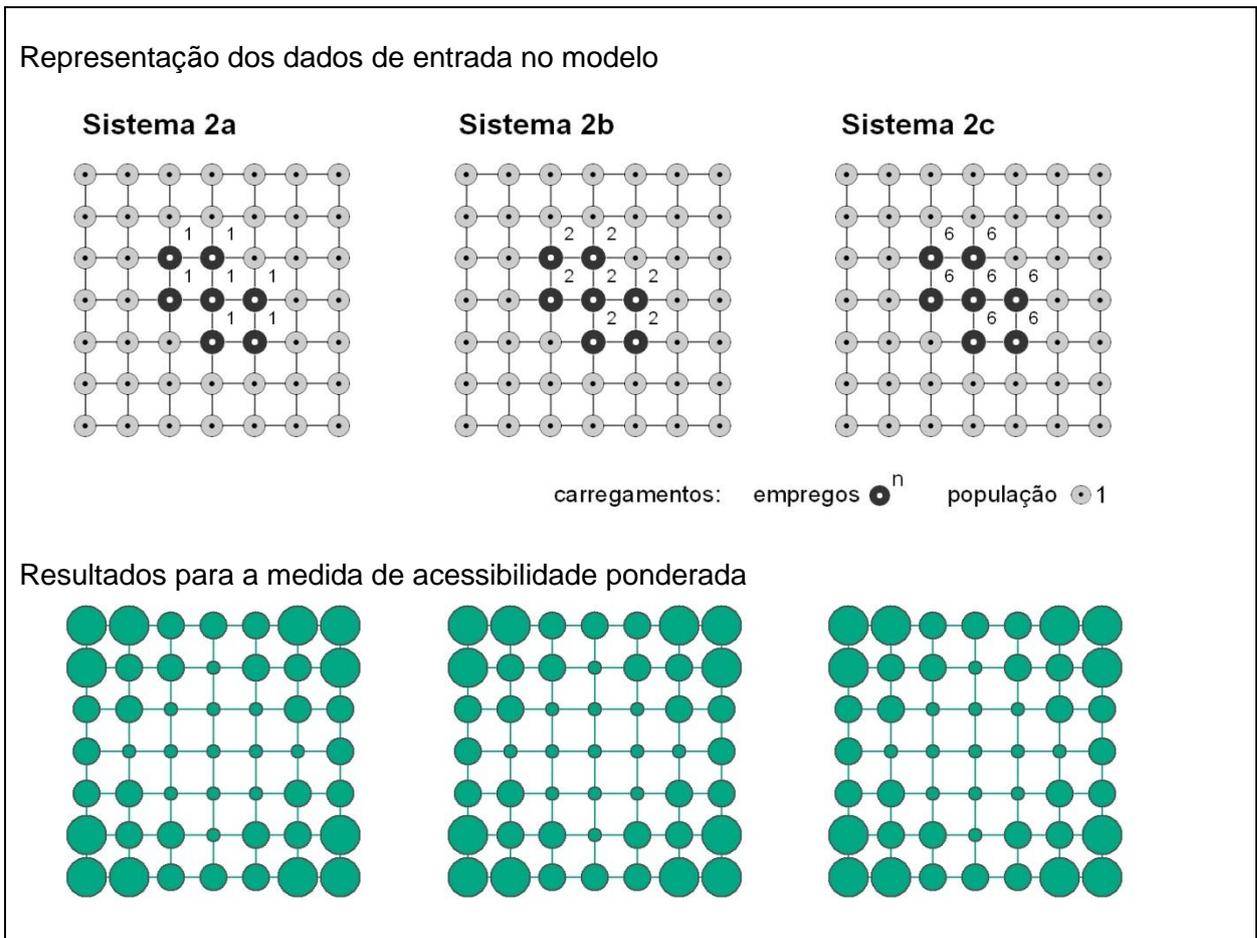


Figura 10 – Sistemas 2a, 2b e 2c, com respectivos resultados

		2a	2b	2c
Dados de entrada (input)	Total origem (população)	49	49	49
	Total destino (empregos)	7	14	42
Resumo dos resultados	somatório	123.200,00	246.400,00	739.200,00
	média	2.514,29	5.028,57	15.085,71
	valor mín	800,00	1.600,00	4.800,00
	valor 70ax.	4.200,00	8.400,00	25.200,00
	desvio padrão	906,46	1.812,92	5.438,75
	coef. Variação	36,05	36,05	36,05
Dispersão	I(D)	7,3303	7,3303	7,3303

Tabela 4 – Resumo dos resultados dos sistemas 2a, 2b e 2c

No segundo conjunto de testes se manteve o total de empregos igual a 42, distribuídos nos 7 nós próximos ao centro geográfico do sistema, mas dessa vez com uma distribuição não-homogênea, conforme mostra a Figura 11. Fazendo uma análise visual dos resultados percebe-se que as diferenças entre 2d e 2e correspondem às alterações nos dados de entrada. Ao analisar o Indicador de Dispersão, percebe-se que no Sistema 2d ele ficou um pouco maior (7,5385) do que nos testes anteriores (7,3303), enquanto que no Sistema 2e ficou um pouco menor (7,0526). Esses testes mostram que o indicador, consegue apresentar diferenças em relação à maneira como os valores se distribuem dentro do sistema. No Sistema 2e, a maior parte dos empregos está concentrada no nó mais acessível do sistema, de maneira que diminua a distância média a ser percorrida a partir de todos os pontos do sistema, e, por isso, a média resultante foi menor.

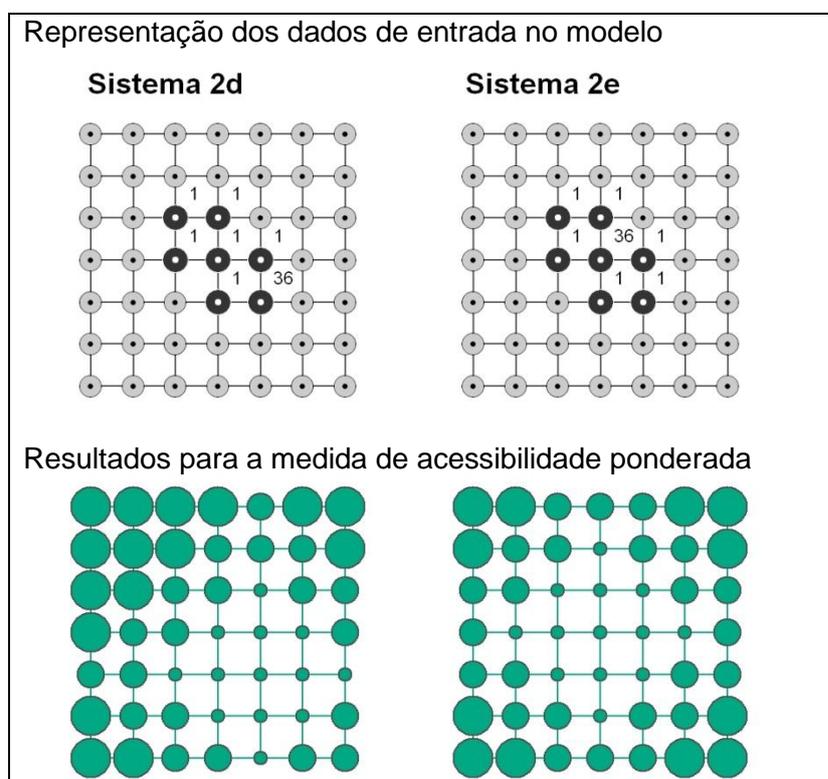


Figura 11 – Sistemas 2e e 2d com respectivos resultados

		2d	2e
Dados de entrada (input)	Total origem (população)	49	49
	Total destino (empregos)	42	42
Resumo dos resultados	somatório	760.200,00	711.200,00
	média	15.514,29	14.514,29
	valor mín	1.400,00	800,00
	valor max.	32.200,00	25.200,00
	desvio padrão	6.861,49	6.048,14
	coef. Variação	44,23	41,67
Dispersão	I(D)	7,5385	7,0526

Tabela 5 – Resumo dos resultados dos sistemas 2d e 2e

No terceiro conjunto de testes, objetivando examinar melhor a sensibilidade do indicador à distribuição das variáveis, as medidas foram aplicadas a sistemas com padrões de distribuição dos locais de empregos bem diferentes entre si, conforme mostrado na Figura 12. Todos contêm sete nós carregados com atributos de emprego de mesmo peso (1), porém com diferentes padrões de distribuição. No Sistema 2f os empregos estão concentrados em um único núcleo em um dos cantos do sistema; no Sistema 2g estão distribuídos linearmente; no Sistema 2h há dois núcleos; e no Sistema 2i a distribuição é difusa. Ao fazer a análise visual dos resultados, novamente se constata que as diferenciações internas dos valores – ou seja, seu ranqueamento – corresponde corretamente aos dados de entrada utilizados. Na Figura 12, os nós representados por pontos maiores são os mais distantes de todos os locais de emprego.

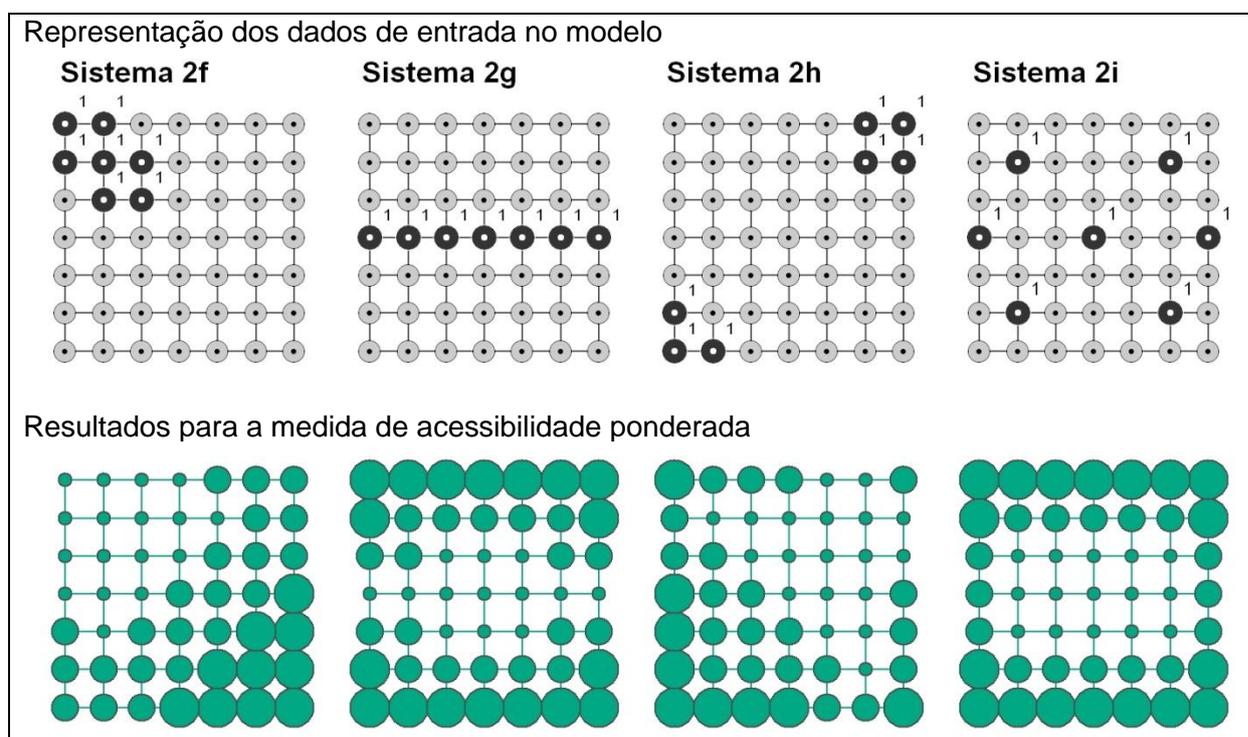


Figura 12 – Sistemas 2f, 2g, 2h e 2i com respectivos resultados

		2f	2g	2h	2i
Dados de entrada (input)	Total origem (população)	49	49	49	49
	Total destino (empregos)	7	7	7	7
Resumo dos resultados	somatório	162.400,00	137.200,00	184.800,00	152.600,00
	média	3.314,29	2.800,00	3.771,43	3.114,29
	valor mín	800,00	1.200,00	3.200,00	2.200,00
	valor 72ax.	7.000,00	4.200,00	4.600,00	4.200,00
	desvio padrão	1.563,12	808,29	300,00	543,14
	coef. Variação	47,16	28,87	7,95	17,44
Dispersão	I(D)	9,6626	8,1633	10,9954	9,0796

Tabela 6 – Resumo dos resultados dos sistemas 2f, 2g, 2h e 2i

Para facilitar a leitura dos resultados, a Figura 13 mostra os sistemas ordenados conforme seu Indicador de Dispersão. O Sistema 2a também foi incluído. Constata-se que o Sistema 2a é o que produz deslocamentos menores, e que o Sistema 2h é o que produz uma maior média de deslocamentos. Isso se explica pelo fato de 2h ter a oferta de emprego toda na periferia do sistema, nos nós que estão mais distantes dos demais.

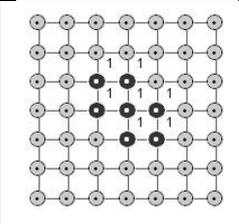
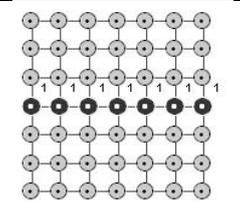
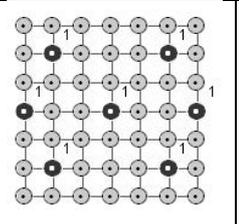
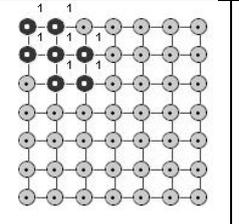
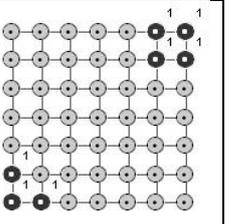
Sistema 2a	Sistema 2g	Sistema 2i	Sistema 2f	Sistema 2h
				
I(D) = 7,3303	I(D) = 8,1633	I(D) = 9,0796	I(D) = 9,6626	I(D) = 10,9954

Figura 13 – Comparações entre as médias obtidas para cada Sistema

Para comparar as médias se fez a análise de variância simples (One-Way ANOVA). Segundo esse teste, o Sistema 2a tem alta probabilidade de ser igual ao Sistema 1g ($p=0,651$). Isso provavelmente se explica pelo fato de ambos apresentarem os empregos concentrados em um núcleo próximo ao centro geográfico do sistema, ou seja, em nós com menor somatório de distâncias. O Sistema 2i, por sua vez, possui alta probabilidade de ser igual aos Sistemas 2g ($p=0,230$) e 2f ($p=0,993$). Já o sistema 2f possui alta probabilidade de ser igual aos Sistemas 2g ($p=0,356$), 2i ($p=0,384$) e 2h ($p=0,993$). Constata-se que essas probabilidades sempre se mostram altas ao comparar sistemas que mantêm alguma semelhança no padrão de distribuição das variáveis de emprego. Quando o padrão é radicalmente diferente, como em 2a e 2h, por exemplo, o teste aponta médias altamente

diferentes ($p=0,000$). Pode-se concluir que o indicador não é sensível a alterações pequenas, pelo menos para esse tamanho de amostra.

A principal conclusão após esse conjunto de testes é quanto mais central for a concentração dos empregos, menor será o valor encontrado para o indicador de dispersão. Outra conclusão, a partir destes resultados, é que o indicador não serve, aparentemente, para analisar equidade da distribuição da oferta de empregos. Em 2a e 2f, por exemplo, há pontos do sistema que são claramente privilegiados em termos de localização perante a oferta de empregos, enquanto outros se encontram em desvantagem. Nos sistemas 2h e 2i essas diferenças de privilégio diminuem, uma vez que a oferta de empregos apresenta uma distribuição mais equilibrada, menos concentrada. Pode-se dizer que são sistemas mais equânimes. Em outras palavras, em 2a quem mora nas bordas tem que se deslocar bastante, e quem mora no centro não precisa se deslocar praticamente nada. Já em 2i, os deslocamentos de todos os pontos são relativamente parecidos entre si. A média dos resultados não captura esses aspectos, então é preciso olhar para o coeficiente de variação³⁰ dos valores resultantes – 2f possui coeficiente de variação mais alto de todos (47,16%), enquanto 2h e 2i apresentam os menores, (7,95% e 17,44%, respectivamente). Isso significa que 2h possui variabilidade menor nos resultados, em relação à média.

4.4.3. Variações nos atributos de origem

A maneira como a população se distribui pelo território também varia de cidade para cidade, apresentando diferentes padrões. Os estudos da seção 4.4.2 revelaram que ao considerar uma distribuição homogênea de população, os resultados podem ser lidos como: quanto maior o valor resultante para medida de acessibilidade ponderada, mais distante este ponto está dos locais de emprego. Aqui se procuram acrescentar pesos diferenciados aos locais de origem, a fim de verificar quão descontraídos estão os locais de origem dos locais de destino. O objetivo é que o valor expresse uma quantificação que leve em conta não apenas distâncias, mas também quantidade de população, ou seja, potencial de gerar viagens em maior número. Logo, os conjuntos de testes apresentados nessa seção envolvem sistemas que introduzem variações na distribuição da população.

No primeiro conjunto de testes, um sistema com 81 nós foi carregado com total de empregos igual a 9 e população igual a 162. Duas diferentes distribuições dos empregos foram testadas: a) empregos concentrados em um núcleo no centro geográfico; b) empregos concentrados em um núcleo na borda do sistema. Para cada uma delas se testou a medida

³⁰ Quanto menor o coeficiente de variação mais homogêneo é o conjunto de dados.

com três possíveis distribuições de população, conforme ilustrado na Figura 14. Nos Sistemas 3a e 3d a população se concentra em um único núcleo que coincide com os locais onde há oferta de empregos. Nos Sistemas 3b e 3e a população se concentra em um único núcleo deslocado dos locais de emprego. Nos Sistemas 3c e 3f a população se concentra em três núcleos também deslocados dos locais de emprego.

Conforme se percebe na Figura 14, com a visualização dos resultados, os maiores valores visivelmente coincidem com os nós que foram carregados com maior peso, ou com maior quantidade de população, em outras palavras. Os nós mais distantes dos locais de emprego também assumem valores altos, mesmo tendo como dado de entrada um valor baixo de população. Isso é claramente percebido no Sistema 3d.

Para comparar as médias se fez uma análise de variância fatorial (Factorial ANOVA)³¹, pois existem dois fatores influenciando nos resultados (distribuição de pesos nas origens e distribuição de pesos nos destinos). Este teste apontou para a análise dos dois fatores isoladamente, após comprovar que são independentes (ou seja, *não interação*, para usar um termo da estatística).

Foi feito, então, um teste de *post-hoc de Fisher* para comparar o comportamento dos resultados para cada um dos fatores (origens e destinos). Este teste confirmou que, independentemente dos locais de origem, quando os locais de destino encontram-se concentrados no centro do sistema (nos casos 3a, 3b e 3c) os valores resultantes são menores, ou seja, as distâncias entre origem e destino tendem a cair com esse padrão de distribuição espacial. Analisando os três padrões de distribuições dos pesos de origem, o teste apontou que, independentemente de onde estejam os locais de destino, quando a população se concentra no centro (3a e 3d) os valores resultantes são significativamente menores do que quando se concentram em um dos cantos ou em múltiplos agrupamentos nas bordas ($p=0,004$ e $p=0,008$, respectivamente). Através desse teste se verificou também que não há diferença significativa entre 3b e 3c, ou entre 3e e 3f ($p=0,812$), ou seja, se os locais de origem estão desconcentrados dos locais de destinos, tanto faz se estão concentrados em um único núcleo (3b e 3e) ou em vários núcleos (3c e 3g).

³¹ Teste estatístico utilizado para comparar médias de grupos onde dois ou mais fatores influenciam os resultados.

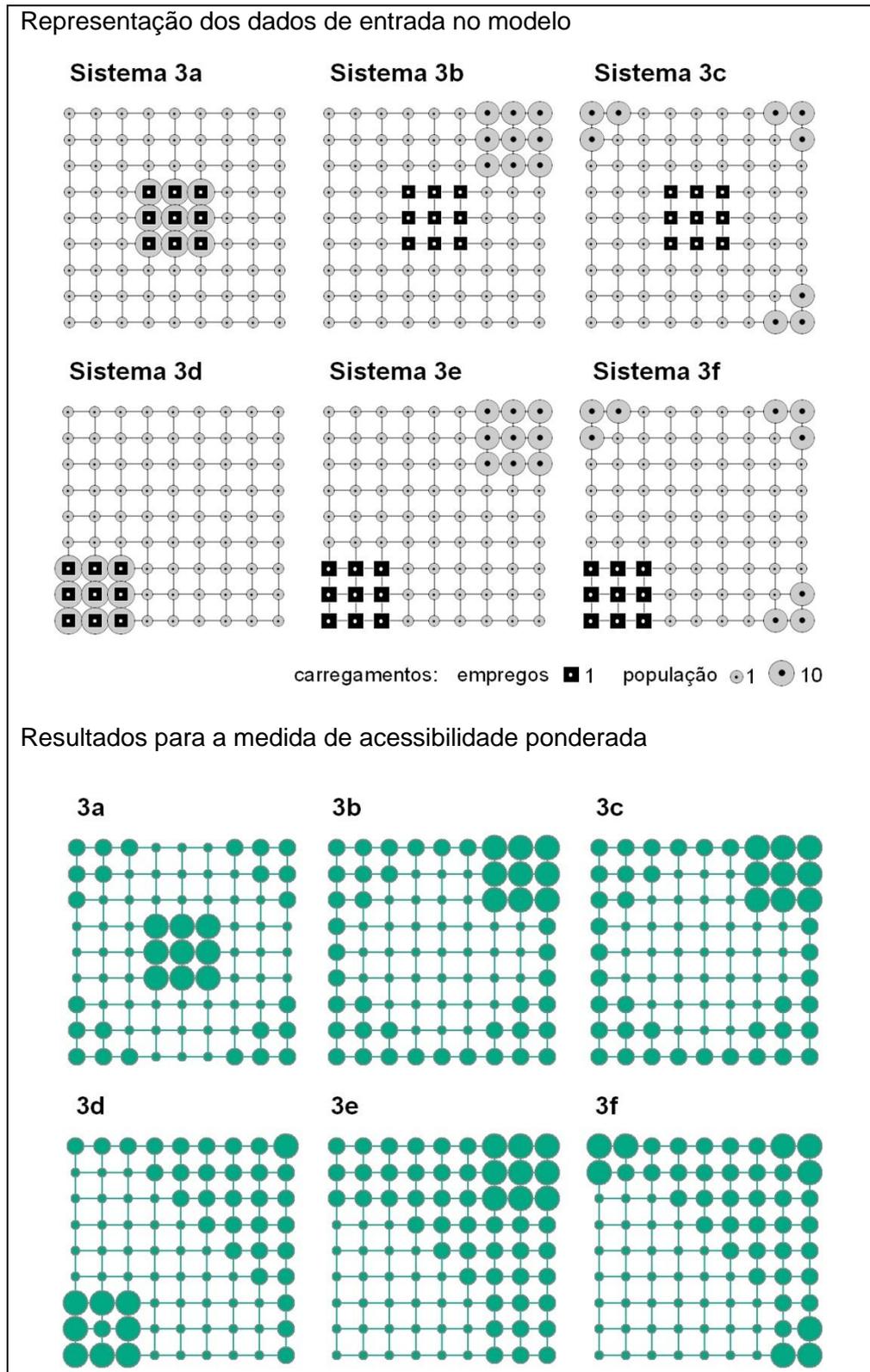


Figura 14 – Sistemas 3a, 3b, 3c, 3d, 3e e 3f, com respectivos resultados

		3a	3b	3c
Dados de entrada (input)	Total origem (população)	162	162	162
	Total destino (empregos)	9	9	9
Resumo dos resultados	somatório	464.400,00	772.200,00	869.400,00
	média	5.733,33	9.533,33	10.733,33
	valor mín	2.400,00	1.200,00	1.200,00
	valor 76ax.	18.000,00	72.000,00	72.000,00
	desvio padrão	3.916,70	16.261,69	19.752,84
	coef. Variação	68,31	170,58	184,03
Dispersão	I(D)	3,9323	6,5386	7,3617
		3d	3e	3f
Dados de entrada (input)	Total origem (população)	162	162	162
	Total destino (empregos)	9	9	9
Resumo dos resultados	somatório	610.200,00	1.355.400,00	1.171.800,00
	média	7.533,3333	16.733,33	14.466,66
	valor mín	2.400,00	1.200,00	1.200,00
	valor máx.	18.000,00	12.6000,00	12.6000,00
	desvio padrão	3885,5502	32729,23	26670,953
	coef. Variação	51,57	195,59	184,36
Dispersão	I(D)	5,1669	11,4769	9,9223

Tabela 7 – Resumo dos resultados dos sistemas 3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f, 3g e 3h

Além disso, se fez também um teste desprotegido³², cujos resultados encontram-se no gráfico da Figura 15, o qual permitiu comparar simultaneamente todos os sistemas. Percebe-se que quando os empregos estão na borda do sistema (destino B), as distâncias sempre aumentam em relação aos sistemas com os empregos no centro geográfico (destino A). Quando a população está desencontrada dos locais de emprego (origem 2 e 3) as distâncias também aumentam, e esse aumento é visivelmente mais expressivo se os empregos estiverem nas bordas do sistema, conforme destacado no gráfico.

³² Fazer um teste desprotegido significa, na linguagem estatística, comparar todos os grupos entre si, mesmo que a análise tenha apontado que os fatores que influenciam no resultado são independentes.

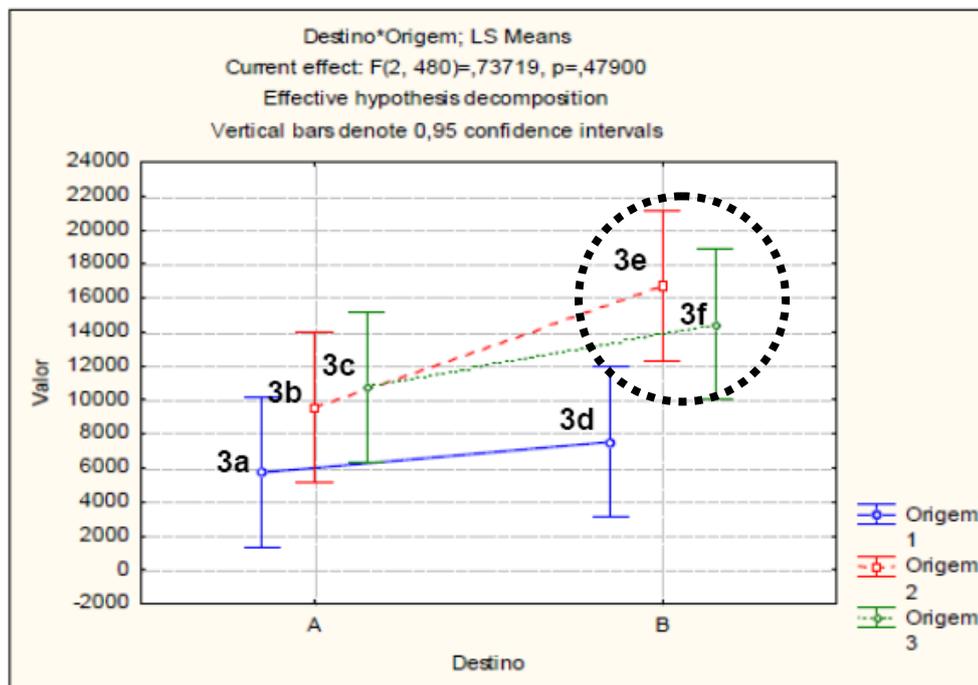


Figura 15 – Resultado do teste estatístico

Destino A = empregos no centro

Destino B = empregos na borda

Origem 1 = residências coincidem com os empregos

Origem 2 = residências desencontradas dos empregos, concentradas em um único núcleo

Origem 3 = residências desencontradas dos empregos, concentradas em três núcleos

Os resultados deste conjunto de testes demonstram, portanto, que o indicador é sensível tanto à mudança na posição relativa do núcleo de empregos quanto à distribuição da população. Conforme se percebe ao analisar os resultados da esquerda para a direita, quanto mais distantes as concentrações residenciais estiverem de concentrações de empregos, maiores ficam as médias. Da mesma forma, ao comparar os testes 3a, 3b e 3c com 3d, 3e e 3f, se percebe que quando o núcleo de empregos está mais longe do centro geográfico do sistema, isto é, longe dos locais mais acessíveis, a média aumenta.

Nos exemplos acima todos os testes tinham a mesma quantidade de população. O próximo teste mostra comparações entre sistemas com população total diferente. O Sistema 3g mostra um sistema com população total igual a 36 e no Sistema 3h a população total é igual a 72. Ambas encontram-se homogeneamente distribuídas pelo sistema, ou seja, a relação entre localizações residenciais e não residenciais é a mesma para ambos os sistemas, apesar de um deles ter o dobro da população. Já o Sistema 3i, também foi carregado com população total de 72, porém com distribuição diferente.

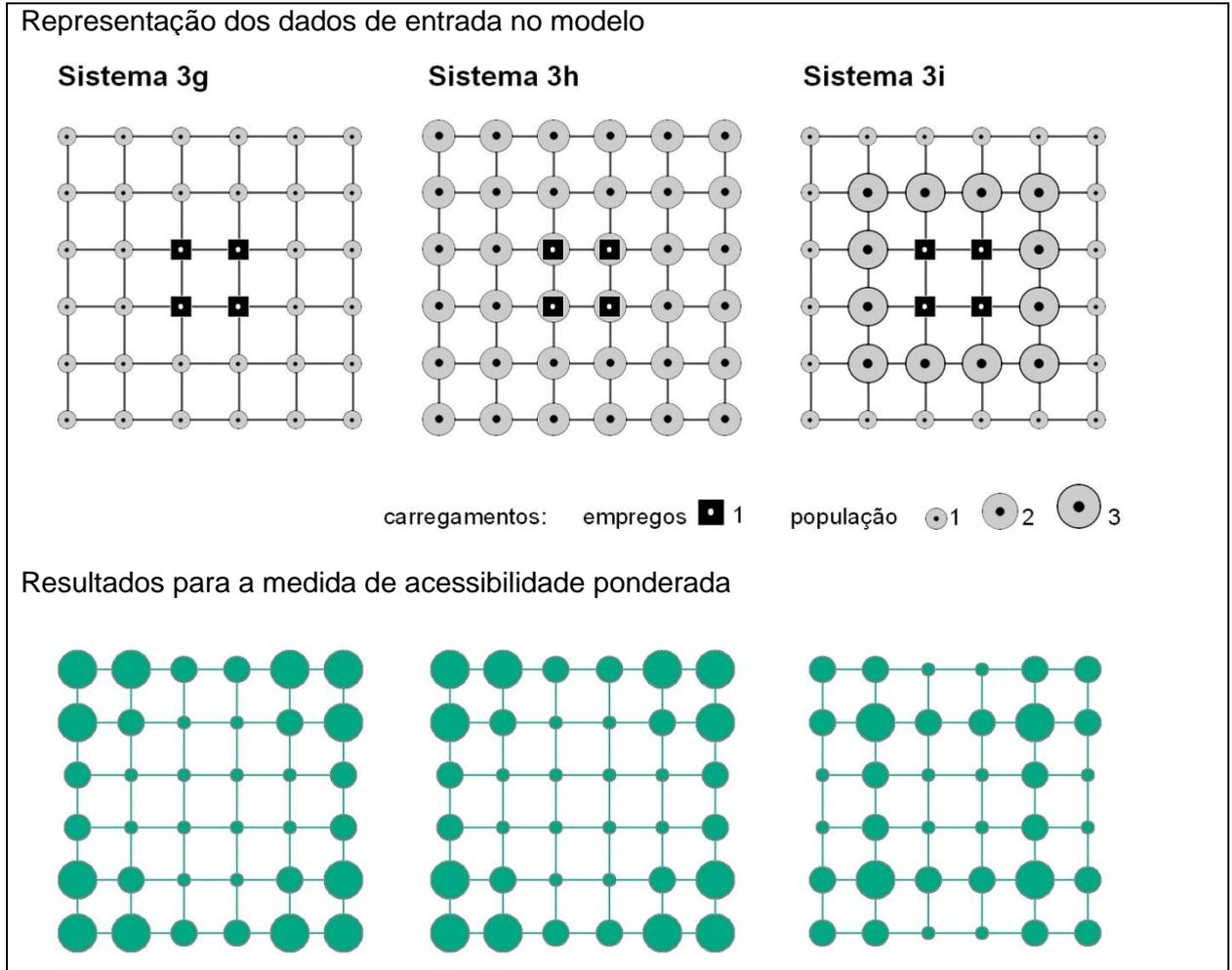


Figura 16 – Sistemas 3g, 3h e 3i com respectivos resultados

		3g	3h	3i
Dados de entrada (input)	Total origem (população)	36	72	72
	Total destino (empregos)	4	4	4
Resumo dos resultados	somatório	43.200,00	86.400,00	65.600,00
	média	1.200,00	2.400,00	1.822,22
	valor mín	400	800	400
	valor 78ax.	2.000,00	4.000,00	3.600,00
	desvio padrão	468,43	936,86	878,67
	coef. Variação	39,04	39,04	48,22
Dispersão	I(D)	8,3333	8,3333	6,3272

Tabela 8 – Resumo dos resultados dos sistemas 3g, 3h e 3i

Analisando os resultados do Indicador de Dispersão (média ponderada), percebe-se que fica igual para os testes 3g e 3h, o que significa que estes dois sistemas possuem a mesma relação de distâncias entre locais de emprego e residência; e fica menor para 3i, pois neste último, as localizações residenciais estão concentradas no entorno dos locais de emprego, resultando em distâncias menores.

4.5. COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O MÉTODO PROPOSTO

Aqui se discute as principais constatações sobre o método proposto, tendo em vista os estudos exploratórios realizados.

- A representação nodal é a mais adequada para o tipo de indicador proposto, uma vez que permite precisão tanto na descrição das variáveis de origem e destino, como na mensuração das distâncias entre elas.
- O método de cálculo 2, que utiliza os inversos das distâncias não demonstrou resultados coerentes com aquilo que se esperava do indicador, por isso o Método 1 foi escolhido para a realização de alguns estudos exploratórios.
- Qualquer alteração nos atributos de empregos irá produzir alterações em todas demais entidades residenciais (*origens*), uma vez que os locais de emprego são computados como *destinos*. Já alterações nos atributos residenciais produzem alterações apenas nos nós que foram alterados, mas afetam diretamente a medida geral do sistema.
- Conforme são carregados pesos e atributos aos nós do grafo, têm-se três possibilidades de aplicação da medida proposta de Acessibilidade Ponderada. Se todas as origens e todos os destinos forem carregados com peso igual a 1, o modelo calcula uma medida de acessibilidade simples, ou seja, um somatório de distâncias gerado pela interação espacial de cada entidade com todas as demais (testes da seção 4.3.1). Se forem introduzidos pesos diferenciados para os nós de destino (testes da seção 4.3.2) são computadas as distâncias de cada nó de origem a todos os nós de destino, nesse caso a análise é direcionada (das origens a todos os destinos) e ponderada (pelos pesos de destino). Ao introduzir pesos diferenciados também para os locais de origem (testes da seção 4.3.3) tem-se um terceiro nível de leitura, onde a análise é direcionada (origem-destino) e ponderada por pesos de origem e também de destino.
- Tanto o Indicador de Acessibilidade Ponderada como o Indicador de Dispersão permitem capturar diferenças na configuração da rede viária. Nós com maior número de conexões, e melhor posicionados no sistema tendem a ter distâncias menores, e isso se reflete na média do sistema (Indicador de Dispersão) que tende a diminuir quando há maior conectividade entre os nós.
- O Indicador de Acessibilidade Ponderada captura adequadamente diferenças internas e entre sistemas com diferentes padrões de distribuição da oferta de empregos (locais de destino). Quanto mais os empregos estiverem concentrados nos nós mais acessíveis do sistema, menor será a distância média entre locais de

residência e emprego – independentemente da distribuição da população. Se os empregos estiverem mais difusos ou localizados em pontos de baixa acessibilidade, a média de distâncias aumenta significativamente.

- Ao considerar a distribuição da população e representá-la com pesos diferenciados para os locais de origem se pensou que o Indicador de Acessibilidade Ponderada poderia ser interpretado como um indicador sobre potencial de cada nó de gerar deslocamentos em maior quantidade e maiores distâncias. Nesse caso há duas variáveis influenciando o resultado: a) capacidade do nó de gerar fluxos; e b) distância daquele nó aos locais de emprego. Valores resultantes altos podem ser decorrentes tanto de uma como de outra variável. A análise visual dos resultados destes estudos exploratórios mostra certa incoerência com os resultados esperados, uma vez que foram demasiadamente influenciados pelo peso na origem, e o que se esperava era um papel maior das variáveis de distâncias. Isso torna a leitura dos resultados pouco intuitiva, diminuindo seu potencial como indicador de desempenho. Este indicador teria que ser mais desenvolvido, futuramente, para aplicação em estudos sobre dispersão urbana. Tal fato não invalida o uso desse indicador para compor o Indicador de Dispersão, por meio de uma média ponderada dos resultados.
- O Indicador de Dispersão captura adequadamente diferenças entre sistemas com diferentes padrões de distribuição de população e empregos. Ainda que os valores isolados não tenham se mostrado coerentes, sua síntese por meio de média ponderada se mostrou eficaz para obter um indicador geral do nível de dispersão do sistema, correspondendo aos resultados que se esperava.
- Sistemas de tamanhos diferentes (variando o número de entidades) também podem ser comparados, uma vez que a média dá conta de relativizar o número de entidades.

Tendo em vista o comportamento dos resultados, a conclusão do capítulo é que dois indicadores podem ser utilizados para avaliar a dispersão urbana sob o ponto de vista do desempenho urbano, e aplicados ao estudo de caso. O primeiro se refere ao cálculo da Acessibilidade Ponderada de cada entidade, utilizando todos os nós de origem com peso igual a 1. Dessa maneira, trata-se de uma medida de acessibilidade aos locais de emprego, onde os valores mais altos correspondem aos locais mais distantes de toda a oferta de empregos. Apesar de simples, o indicador é útil, pois mostra uma hierarquia das localizações mais privilegiadas em termos de distâncias à oferta de empregos, permitindo verificar isso com alto nível de precisão (levando em conta a rede de ruas), inclusive em sistemas cujo padrão de distribuição dos locais de emprego seja mais complexo, com múltiplos centros. Representa um avanço metodológico em relação aos indicadores

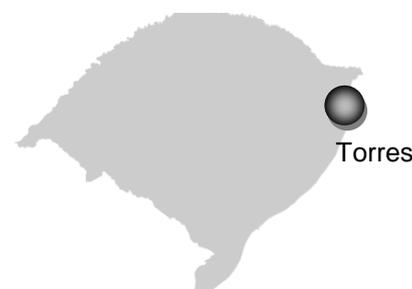
frequentemente utilizados em estudos sobre dispersão urbana, que consideram apenas distâncias em relação a um único centro.

O segundo se refere à distância média aos locais de emprego, aqui chamado de Indicador de Dispersão, calculado pela média ponderada dos resultados obtidos para cada entidade com a medida de Acessibilidade Ponderada, sendo esta última calculada com pesos diferenciados tanto no destino como na origem. O indicador pode ser interpretado como o grau de distanciamento – ou de desencontro, em outras palavras – entre locais de residência e de emprego.

A aplicação de ambos os indicadores foi explorada em estudo de caso empírico, conforme apresentado no próximo capítulo.

5. ESTUDO DE CASO: TORRES – RS

Tendo em vista o objetivo da dissertação, de explorar metodologicamente maneiras de mensurar dispersão urbana, este capítulo mostra a aplicação dos indicadores desenvolvidos no capítulo anterior a um estudo empírico – o município de Torres, no Rio Grande do Sul – com o intuito de verificar potencialidades e limitações do método proposto ao se trabalhar com sistemas maiores e mais complexos, bem como explorar possibilidades de utilização de dados reais.



5.1 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA

A análise do desencontro entre atividades residenciais e não residenciais, se por um lado requer dados facilmente obtidos junto ao IBGE (população, domicílios); por outro, requer dados de difícil obtenção, como de empregos e localizações não residenciais³³, considerando o nível de desagregação proposto. O município de Torres foi o escolhido em função da disponibilidade de dados, uma vez que já foi objeto de estudo de outros integrantes do Grupo de Pesquisa dos Sistemas Configuracionais Urbanos (Gheno, 2009).

A temática do trabalho sugere a exploração de um estudo de caso contextualizado em alguma capital ou grande região metropolitana brasileira, porém o levantamento e sistematização das atividades não residenciais de uma cidade ou região inteira seria inviável dado o tempo disponível para a pesquisa. De fato, as grandes metrópoles (capitais) são os casos mais contundentes da dispersão urbana, onde o distanciamento entre áreas residenciais de áreas de trabalho/estudo se revela mais problemático e os padrões de localização mais complexos. Por outro lado, a utilização de um município menor como estudo de caso de maneira alguma invalida o estudo, uma vez que o foco do trabalho está no desenvolvimento de metodologias para fins comparativos, ou seja, que possam ser aplicadas a qualquer cidade independentemente de seu tamanho. Além disso, a cidade de Torres possui um tecido urbano fragmentado, particularidade relevante ao fenômeno

³³ Algumas capitais brasileiras possuem estimativas de emprego, feitas com base em pesquisas de origem/destino. Esse tipo de pesquisa, feita por órgãos responsáveis pelo transporte urbano, utiliza como unidade de análise zonas da cidade, ou seja, são dados com nível de desagregação razoável (considerando que esse tipo de informação geralmente vem agregada por município); e que poderiam servir para verificar distâncias intra-urbanas entre locais de residência e emprego.

abordado e que foi explorada neste trabalho no sentido de evidenciar que características configuracionais da rede de ruas influem no indicador.

5.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL E RECORTE DA ÁREA DE ESTUDO

Conforme dados do Censo 2010³⁴, a população total de Torres nesse ano era de 33.365 habitantes, dos quais apenas 4% faziam parte da área rural. O território rural ficou de fora do estudo, uma vez que sua população é pouco expressiva em relação ao total. O foco do trabalho está, portanto, no território que o IBGE classifica como urbano³⁵, que abriga a maior parte da população (96%) e que corresponde a 43% do município.

O IBGE classifica o território urbano conforme sua situação, em área urbanizada ou não urbanizada. Conforme mostra a Figura 17, que mostra os setores censitários urbanos do município, existem, em Torres, núcleos urbanizados não contínuos, sendo que os núcleos principais correspondem a: 1) centro e arredores; 2) bairro São João; e 3) balneários.

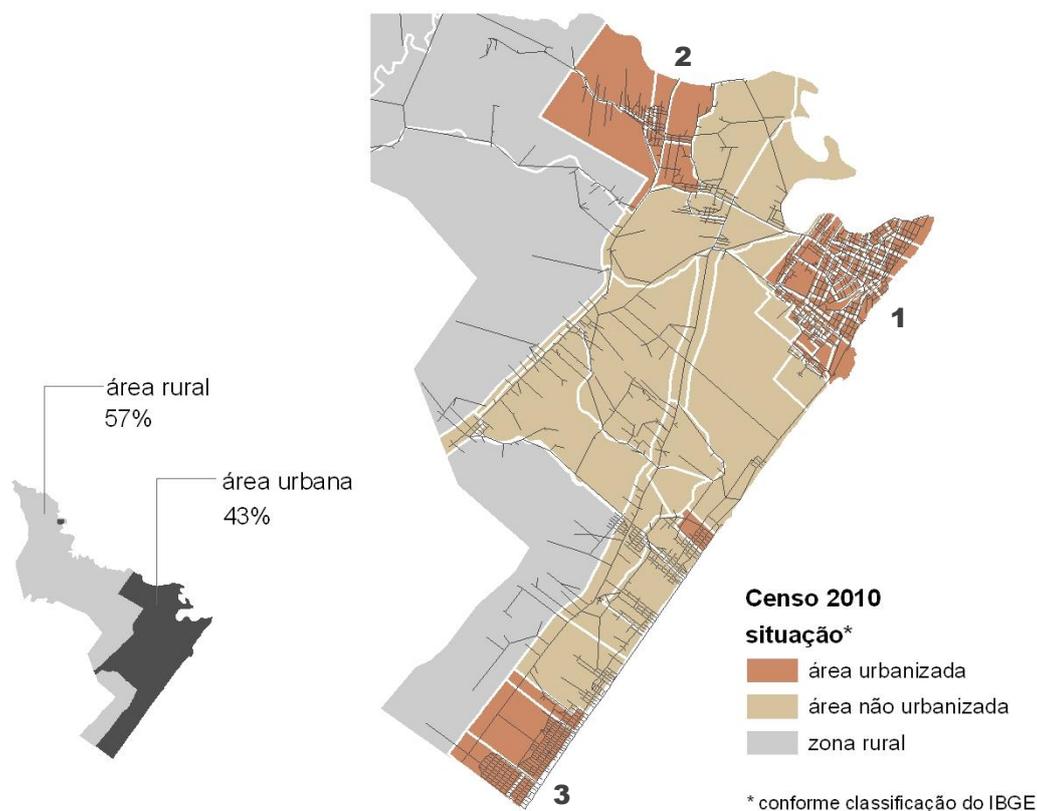


Figura 17 – Áreas urbanas (urbanizadas e não urbanizadas) e zona rural de Torres

³⁴ Dados da Sinopse, Censo 2010.IBGE.

³⁵ Há um pequeno núcleo urbano, com 125 habitantes, na parte norte do município, no distrito Glória, que também ficou de fora do estudo.

A Figura 18 mostra como esses núcleos urbanos se conectam entre si. A estrutura viária principal é composta pela BR-101, RS- 389 (Estrada do Mar) e pelas Avenidas Castelo Branco e Barão do Rio Branco que servem de acesso ao Centro, e que o conectam à BR 101 e ao bairro São João. O Centro e o bairro São João constituem os dois principais núcleos urbanos de Torres. Há também os núcleos que correspondem aos balneários do município, os quais se conectam com o restante da estrutura por meio da Estrada do Mar. Boa parte da área não urbanizada, mostrada na Figura 18, entre o núcleo central e os balneários, corresponde ao Parque Itapeva, uma extensa área de preservação ambiental.

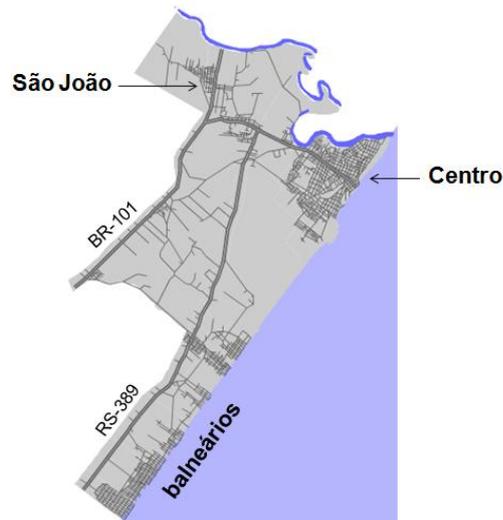


Figura 18 – Estrutura urbana

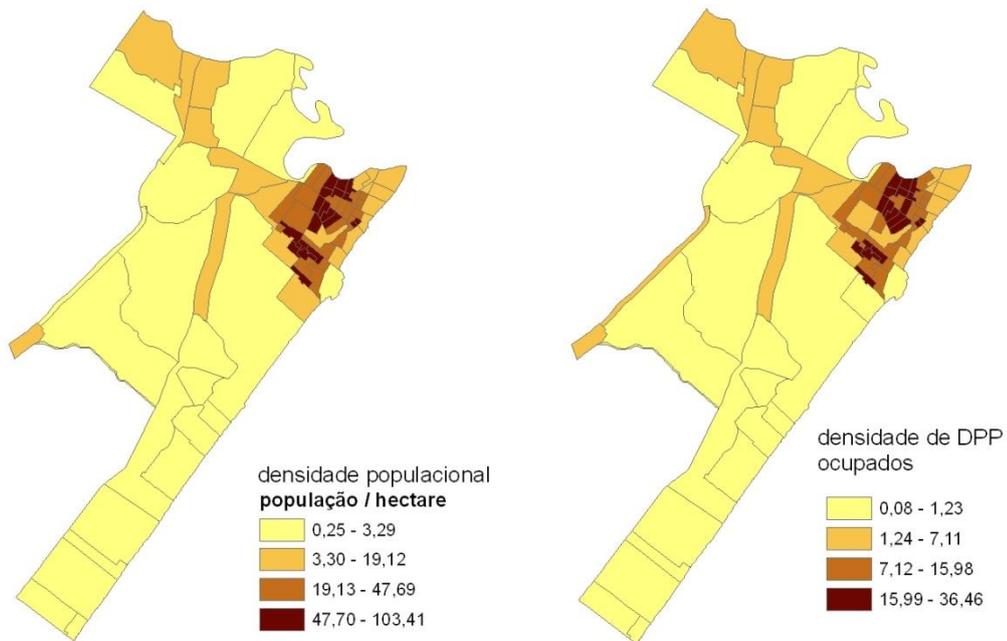


Figura 19 – Setores censitários (Censo 2010) classificados segundo densidade populacional e densidade de domicílios particulares permanentes ocupados.

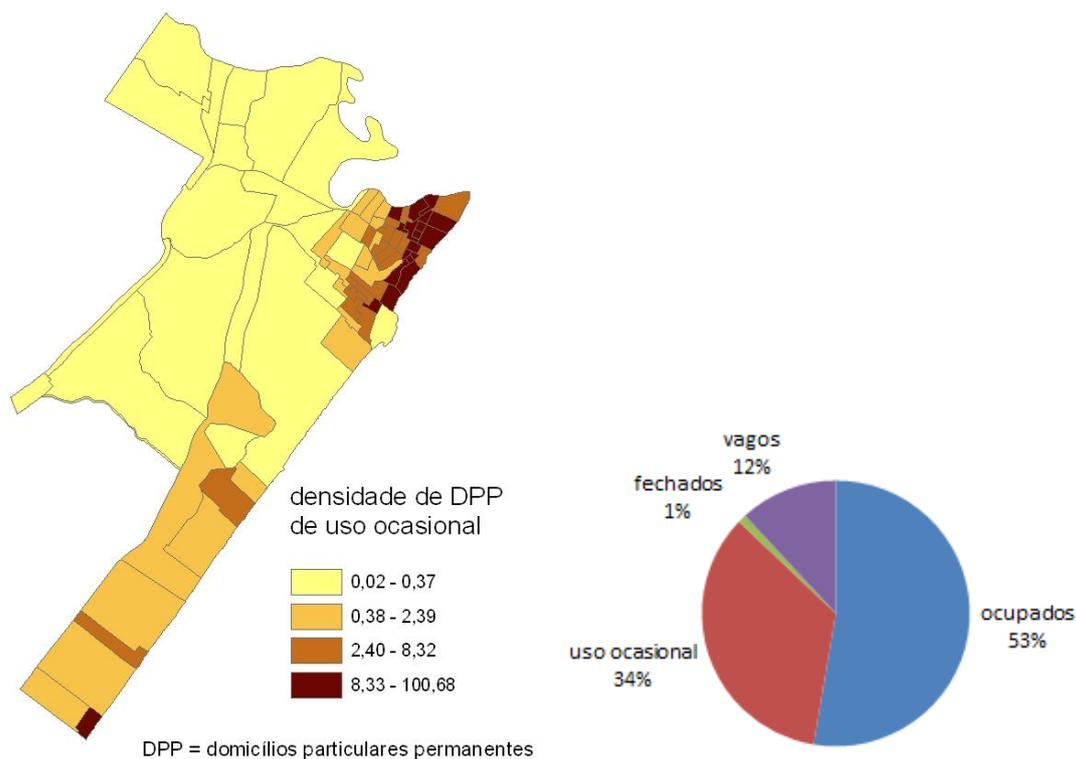


Figura 20 – Densidade de domicílios particulares permanentes (DPP) de uso ocasional de cada setor censitário (Censo 2010) de Torres e gráfico mostrando a porcentagem de DPP de cada tipo

Conforme se vê na Figura 19, que mostra os setores censitários (Censo 2010) classificados, respectivamente, segundo sua densidade populacional e densidade de domicílios particulares permanentes ocupados, há claramente um núcleo principal, que concentra as maiores densidades, e que corresponde aproximadamente ao Centro de Torres. Percebe-se também alguns prolongamentos desse núcleo mais denso em direção ao distrito São João, à BR-101 e à Estrada do Mar.

A faixa litorânea possui baixa densidade em relação ao restante da área urbana. Cabe destacar que Torres trata-se de um balneário bastante procurado na época do verão, quando sua população aumenta consideravelmente. É possível perceber isso observando a composição e distribuição domiciliar no município. Do total de domicílios particulares permanentes, apenas metade deles (53%) são ocupados. E 34% são de uso ocasional, que muito provavelmente correspondem às casas e aos apartamentos de veraneio, visto que eles se concentram na faixa litorânea, conforme se vê na Figura 20. Em decorrência disso, a cidade possui uma vasta área residencial que fica afastada do Centro, e com baixíssima ocupação durante boa parte do ano.

O relatório técnico do Plano Diretor de Torres (Prefeitura Municipal de Torres, 2011) aponta, com base na série histórica dos dados do IBGE, para um crescimento populacional pouco

acelerado. Conforme o relatório, nem mesmo a duplicação da BR-101 – recentemente concluída – deverá ter efeito significativo sobre a atratividade do município, com exceção das áreas próximas à rodovia, que tendem a atrair novas ocupações. A população que reside em Torres, portanto, tende a se manter a mesma, embora sua distribuição possa sofrer pequenas alterações, como, por exemplo, aumento na densidade nas áreas próximas às rodovias.

Em 2008, a Prefeitura Municipal realizou um levantamento detalhado dos estabelecimentos de comércio e serviços, que foi utilizado neste estudo. Estas atividades se concentram nos setores com maior densidade, conforme se vê na Figura 21. Percebe-se claramente a existência de um centro comercial mais intensamente desenvolvido, e outros pequenos núcleos comerciais localizados, em geral, próximos às principais vias da cidade. Turismo e construção civil são os setores que mais empregam no município, com atividades (hotéis, bares, restaurantes, imobiliárias, etc) que se concentram no centro da cidade, conforme o relatório técnico do Plano Diretor de Torres aponta. Tal relatório aponta ainda, com base nos estudos apresentados no RUMOS 2015³⁶, segmentos com potencial de crescimento: o moveleiro e o de confecções. As empresas moveleiras existentes no município se concentram no distrito São João.

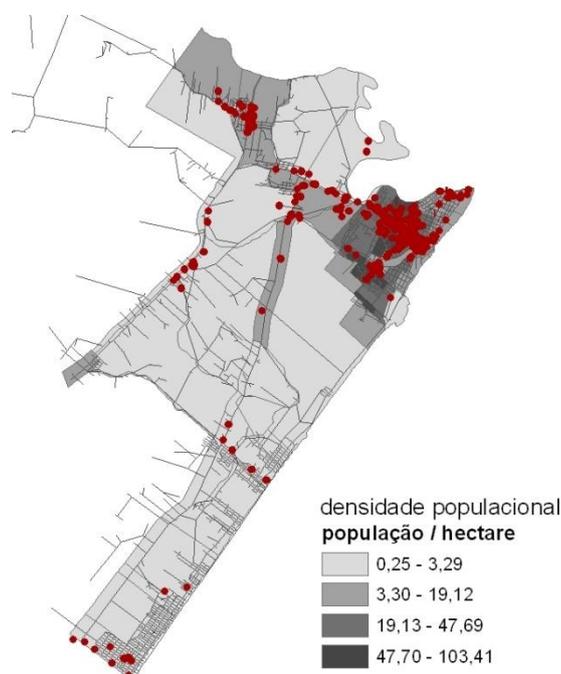


Figura 21 – Localização das atividades não residenciais no Município de Torres e sua relação com a densidade dos setores censitários

³⁶ RIO GRANDE DO SUL. Rumos 2015: estudo sobre desenvolvimento regional e logística de transportes no RS. Maio de 2005. 97 p

5.3 METODOLOGIA

A aplicação da metodologia proposta no capítulo 4 pode ser dividida em 3 etapas, cada qual envolvendo diferentes procedimentos e uso de diferentes plataformas computacionais, resumidas no Quadro 4 e na Figura 22. A seguir, é feita uma descrição mais detalhada de cada etapa do trabalho.

<p>1) Formatação e tratamento dos dados:</p>	<p>Fontes diversas foram utilizadas nessa pesquisa, para compor o conjunto de dados necessários, os quais foram uniformizados com o auxílio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e técnicas de geoprocessamento, compondo, dessa forma, um banco de dados para alimentar o modelo. A primeira etapa da metodologia consistiu na formatação e construção do modelo.</p>
<p>2) Cálculo do indicador</p>	<p>A segunda etapa envolveu a montagem do modelo, composto por um grafo carregado com atributos de origem e destino; cálculo da medida de acessibilidade ponderada em software específico (Numerópolis); cálculo do Indicador de Dispersão no Excel; e retorno dos resultados a um SIG para a visualização e armazenamento dos resultados.</p>
<p>3) Análise dos resultados</p>	<p>A terceira etapa se refere à avaliação dos resultados, realizada através de análises visuais e análises estatísticas.</p>

Quadro 4 – Resumo das etapas que compõem a metodologia

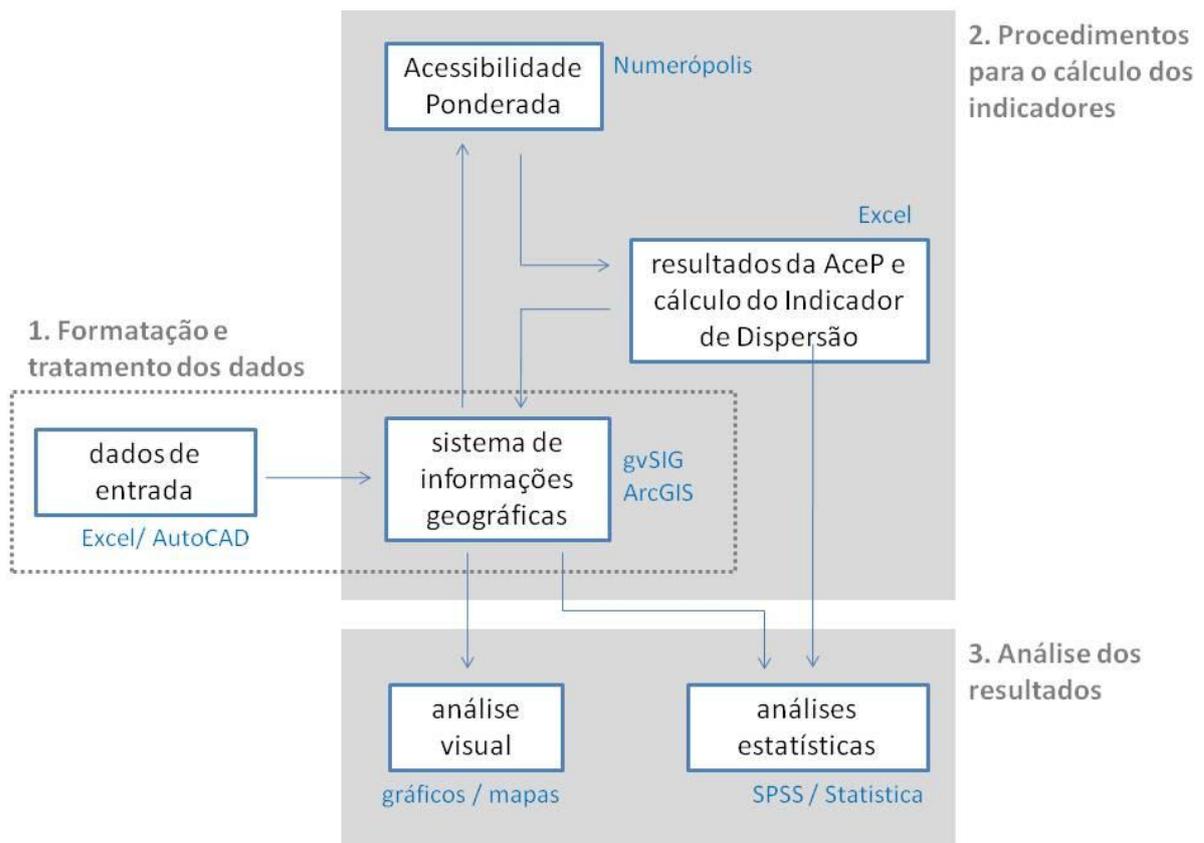


Figura 22 – Resumo dos procedimentos e suas respectivas plataformas computacionais.

5.3.1 Formatação e tratamento dos dados

Análises espaciais para fins de planejamento urbano as quais envolvem técnicas sofisticadas de modelagem urbana, frequentemente, requerem a utilização de dados oriundos de fontes diversas – em formatos diversos. Logo, surge a necessidade de compatibilização em uma base única de informações geográficas, onde técnicas de geoprocessamento têm papel central.

Tendo em vista o tipo de representação adotado, por meio de um grafo, os dados utilizados nessa pesquisa, tiveram que ser tratados para que pudessem ser utilizadas como dados de entrada no modelo que serve de base para calcular a acessibilidade ponderada. Isso foi feito com o auxílio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e técnicas de geoprocessamento, de maneira a compor um banco de dados, com informações de origem e destino para cada entidade.

O primeiro passo foi constituir as entidades (nós) do grafo a partir de uma base vetorial³⁷ construída em AutoCAD dos trechos de rua da cidade, representados por segmentos de linhas. A partir desses trechos foram extraídos os nós, com ferramentas do módulo Sextante, do gvSIG (ver Figura 23). Cada nó corresponde a uma intersecção ou extremidade de segmento de linha, conforme mostra a Figura 23, e representa uma porção de espaço urbano. O resultado foi um grafo da área de estudo com 1.732 nós.

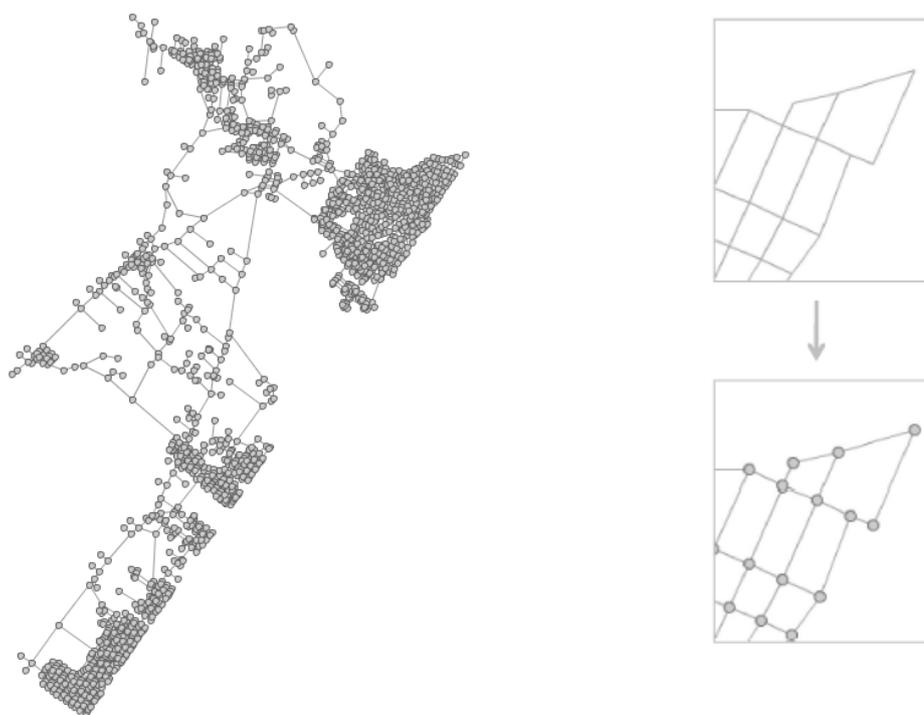


Figura 23 – Grafo de Torres e detalhe da extração dos nós.

O segundo passo envolveu a seleção e formatação dos dados para alimentar o grafo, isto é, atribuir carregamentos aos nós, tendo em vista que o modelo desejado requer que, para cada nó, sejam especificados valores (pesos) de origem e de destino. O presente estudo enfatiza as relações entre moradia e trabalho, considerando que origem se refere às localizações residenciais e destino se refere às localizações dos empregos. A maneira como esses dados são inseridos no modelo é detalhada a seguir.

Inicialmente se pensou em utilizar dados sobre quantidade de população para atribuir os pesos de origem e dados sobre quantidade de empregos para os de destino; porém os valores obtidos para cada nó extrapolaram a capacidade do software utilizado para o cálculo da acessibilidade, cujo valor máximo para carregamentos é 99. Por fim, optou-se por utilizar quantidades de domicílios ocupados e quantidades de estabelecimentos de comércio e serviços, que eram os dados que se tinham disponíveis para o município de Torres, e perfeitamente adequados aos propósitos da pesquisa.

³⁷ Base utilizada na pesquisa de Gheno (2009) e revisada conforme imagem do *Google Earth*.

Então, para o carregamento das localizações residenciais, ou seja, dos atributos de origem, foram utilizados número de *domicílios particulares permanentes ocupados*³⁸, obtidos na Sinopse do Censo Demográfico 2010³⁹ do IBGE. As unidades de análise que o IBGE utiliza para contabilizar esses valores são os setores censitários, descritos por polígonos, demandando desse modo a desagregação dos dados em unidades menores, ou seja, os nós do grafo. Ainda que isso, muitas vezes, não corresponda à realidade, assumiu-se nesse trabalho uma distribuição homogênea dentro de cada setor censitário, de modo que a quantidade de domicílios por setor censitário foi igualmente distribuída entre os nós correspondentes a cada setor.

Dessa forma, o primeiro passo foi cruzar o mapa de nós com os setores censitários do IBGE, para a verificação da quantidade de nós em cada setor. Isso foi feito com o auxílio do gvSIG⁴⁰, através de uma ferramenta de geoprocessamento do módulo Sextante (*Count points*) que conta o número de entidades representadas por ponto existentes dentro de cada entidade representadas por polígono. O segundo passo foi dividir o número de domicílios pelo número de nós, obtendo, para cada setor, uma medida de domicílios por nó. Por fim, esses valores foram atribuídos a cada nó (Figuras 24 e 25). Os valores obtidos foram arredondados para números inteiros, de modo que a soma total dos domicílios, 11.270, ficou ligeiramente diferente do valor do IBGE, que é de 11.924 domicílios para a área de estudo. Tomou-se o cuidado para que nenhum nó ficasse com valor igual a zero, pois a medida só é calculada para nós que tenham algum atributo de origem.

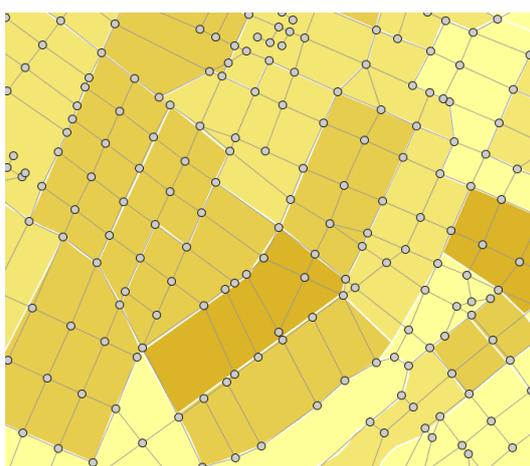


Figura 24 – Setores censitários classificados segundo número de domicílios. Cores mais escuras representam maior quantidade de domicílios por nó.

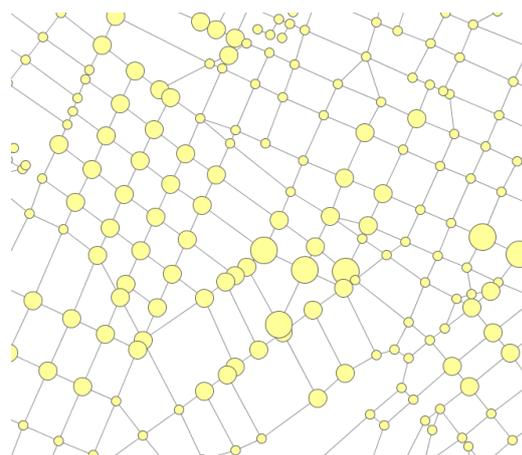


Figura 25 – Nós carregados com os dados dos setores censitários. Pontos maiores representam aqueles que possuem maior número de domicílios.

³⁸ Variável V003

³⁹ Dados da Sinopse são dados de população e domicílios com nível de desagregação por setor censitário, divulgados antes dos resultados finais. Não contém todas as variáveis do Censo, e são valores que ainda podem vir a ser revisados, porém suficientes para o nível de detalhe deste estudo.

⁴⁰ Software livre disponível em www.gvsig.org/

Para o carregamento das localizações de emprego – ou seja, os atributos de destino – utilizou-se o levantamento realizado pela Prefeitura Municipal, em 2008, sobre a localização de todos os estabelecimentos de comércio e serviços da cidade, na falta de informações mais detalhadas sobre localizações dos postos de trabalho. Trata-se, portanto, de um recorte no conjunto de atividades de trabalho, pois deixa de fora outras formas de trabalho, como, por exemplo, os empregos na construção civil.

Esse levantamento da prefeitura consistia de um mapa, em AutoCAD, onde a localização de cada estabelecimento foi marcada com um ponto, totalizando 1.413 pontos, dentro da área de estudo, que também foram importados para o SIG (figura 26). Para transpor essas informações aos nós do grafo e saber quantos estabelecimentos correspondiam a cada entidade foram necessários alguns procedimentos de geoprocessamento. O método de Thiessen⁴¹ foi utilizado para definir uma área de influência para cada nó do grafo de Torres (figura 27), que permitiu contabilizar o número de estabelecimentos dentro de cada área (figura 28). Esses valores foram, então, associados aos nós correspondentes (figura 29).

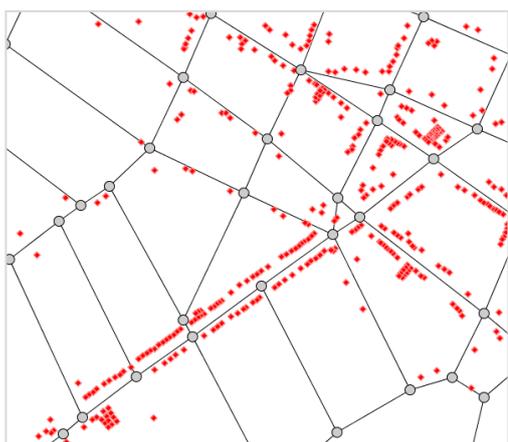


Figura 26 – Estabelecimentos comerciais

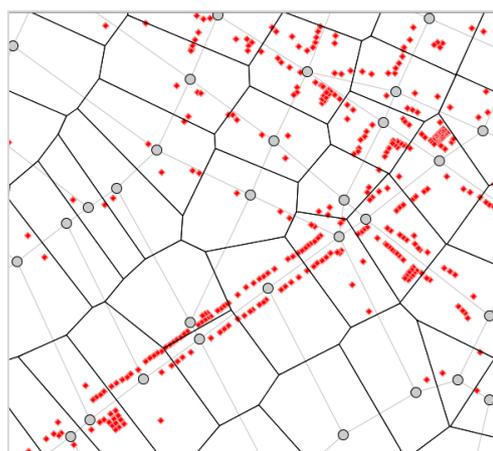


Figura 27 – Polígonos de Thiessen

⁴¹ Os *polígonos de Thiessen*, também conhecidos como *diagramas de Voronoi*, constituem uma construção geométrica que permite repartir um plano euclidiano em polígonos a partir de um conjunto de pontos. Cada polígono define uma área de influência no entorno de um ponto, de maneira que qualquer localização dentro do polígono está mais perto daquele ponto do que de qualquer outro (Fonte: <http://mathworld.wolfram.com/VoronoiDiagram.html> e <http://www.esri.com/>).

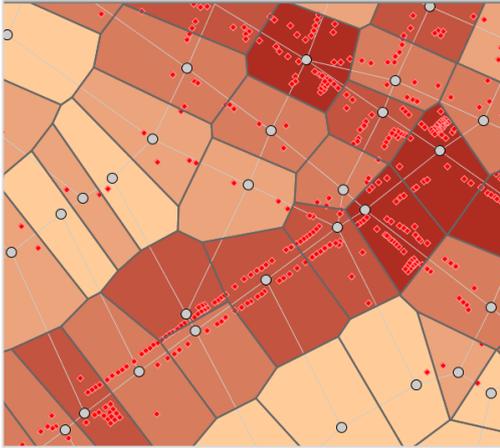


Figura 28 – Contagem do número de estabelecimentos em cada polígono

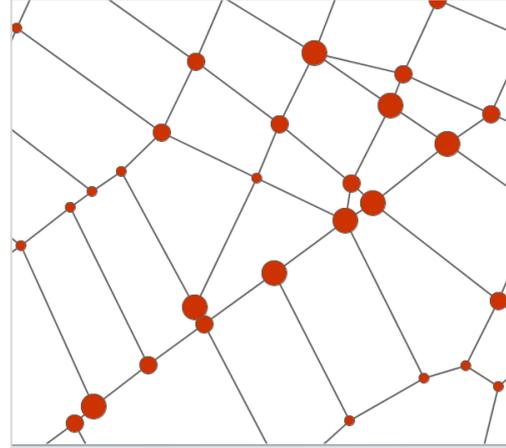


Figura 29 – Nós classificados segundo o número de estabelecimentos de comércio e serviços correspondente.

Com estes procedimentos foi possível atribuir a cada nó do grafo de Torres, valores sobre sua quantidade de domicílios e de estabelecimentos de comércio e serviços, que correspondem, respectivamente, a capacidade de cada local de gerar deslocamentos (origem) e atrair deslocamentos (destino). Estes valores foram atribuídos a um único grafo, mas são, aqui, representados em duas figuras (30 e 31) para facilitar a compreensão.

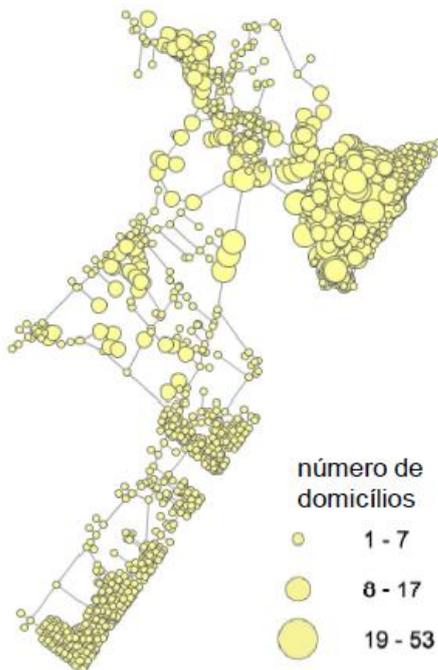


Figura 30 – Distribuição dos domicílios ocupados em Torres (Total = 11.270)

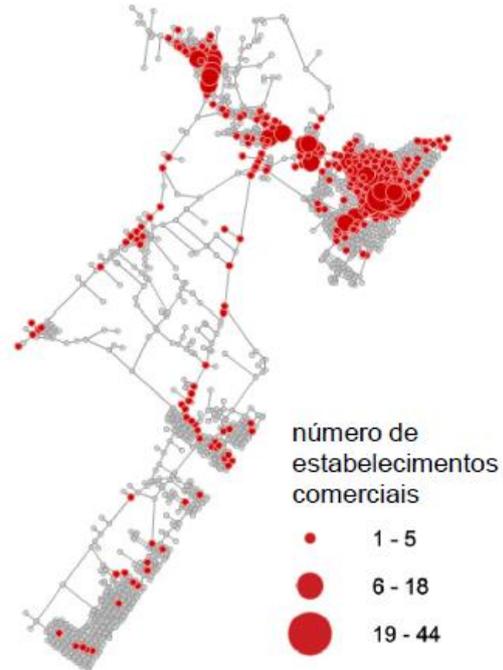


Figura 31 – Distribuição dos estabelecimentos de comércio e serviços em Torres (Total = 1.413)

Percebe-se que as maiores densidades, tanto de residências como de estabelecimentos comerciais, se concentram no núcleo que corresponde ao centro da cidade. Essa concentração se prolonga em direção ao bairro São João e às rodovias BR-101 e Estrada

do Mar. Tem-se também uma extensa área com baixas densidades, que corresponde à faixa de praia, já que o estudo não incluiu os domicílios vagos, fechados ou de uso ocasional. Todas essas constatações são consistentes com as observações feitas sobre os dados do IBGE e da Prefeitura Municipal, no início desse capítulo, podendo-se dizer, portanto, que o grafo e os carregamentos de atributos conseguem descrever adequadamente e detalhadamente a distribuição das atividades e ligações espaciais entre elas.

Além desse grafo de Torres, elaborado com dados empíricos, outros foram produzidos, com a introdução de variações na distribuição dos pesos de origem e de destino, objetivando fazer estudos comparativos, que são detalhados na no item 5.4.

5.3.2 Cálculo dos indicadores

Tendo em vista as observações feitas a partir dos estudos exploratórios do capítulo 4, concluiu-se que dois indicadores poderiam ser aplicados aos grafos de Torres para o estudo da dispersão urbana: a) indicador de acessibilidade aos locais de emprego, que mede a distância média de cada localização a todos os locais de emprego do sistema, verificado para cada entidade; e b) indicador de dispersão, que mede o desencontro – entre locais de residência e locais de emprego – verificado para todo o sistema. O primeiro permite comparações intra-urbanas, enquanto o segundo permite comparações entre sistemas.

Ambos os indicadores tem como base a medida de acessibilidade ponderada, já explicada na seção 4.3. Apesar do cálculo simples, a medida requer um grande volume de procedimentos e de cálculos, tendo em vista que todos os pares devem ser analisados, um a um. Por isso optou-se por utilizar um modelo, ou seja, um conjunto de algoritmos computacionais, para as experimentações da medida. A ferramenta utilizada foi o Numerópolis⁴², software programado com um conjunto de algoritmos que realizam todo o processo de cálculo da medida de acessibilidade ponderada. Após montar o grafo dentro do *software*, é preciso cadastrar usos do solo, que são identificados como demanda (origem) ou oferta (destino), e atribuir a cada nó do grafo seu respectivo uso do solo e carregamento (quantidade). O modelo considera sempre a interação espacial entre dois pontos, um de origem e outro de destino, sendo que a origem obrigatoriamente deve conter entidades cuja atividade é residencial e o destino, entidades cuja atividade é de trabalho ou estudo. Dessa forma, são considerados sempre pares origem-destino.

⁴² Software desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa Sistemas Configuracionais do Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional da UFRGS

O fluxograma da Figura 32 ilustra o processo de cálculo do modelo. Todos esses procedimentos são feitos internamente no programa, que tem como dado de saída uma planilha que mostra o resultado obtido par cada entidade (nó). Esses resultados podem, então, ser visualizados espacialmente no próprio *software* ou exportados para um Sistema de Informações Geográficas.

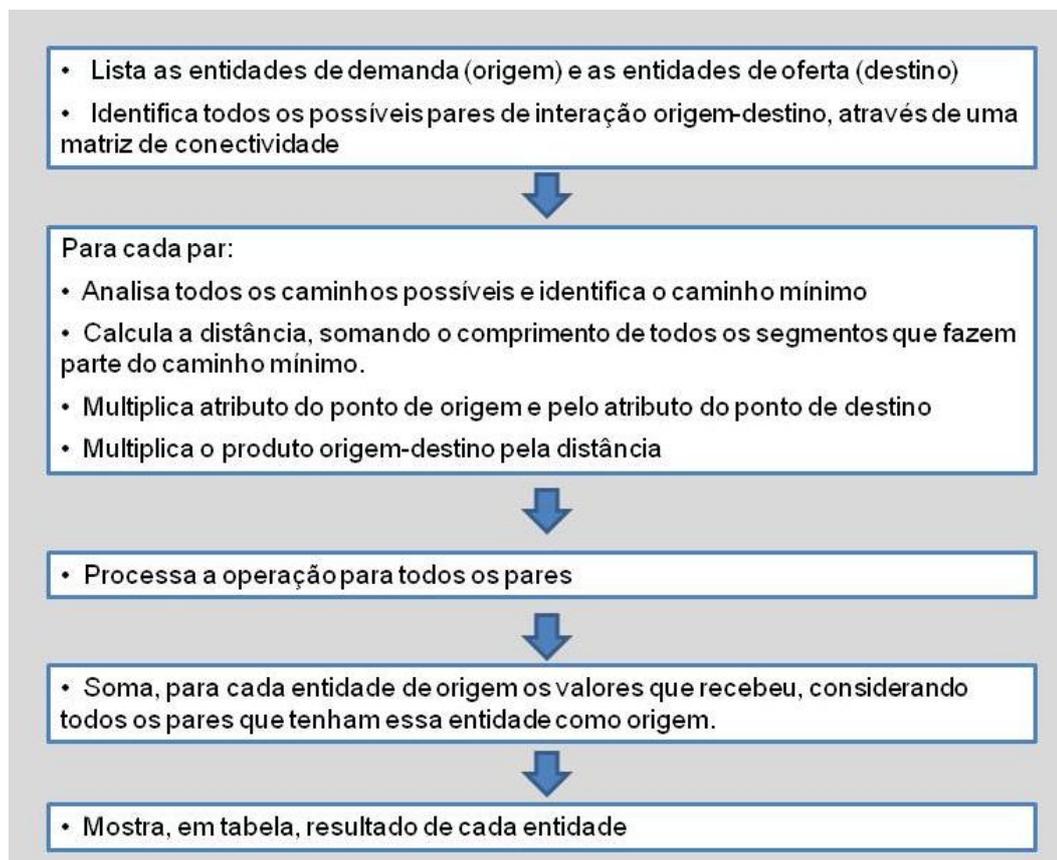


Figura 32 – Fluxograma de cálculo do modelo de acessibilidade ponderada

5.3.3 Métodos de análise

Dois tipos de análises foram utilizados para examinar os resultados obtidos.

- a) Análise visual de mapas para verificar distribuição interna dos resultados

A análise visual foi feita com base em mapas gerados a partir da importação dos resultados para um SIG. Para facilitar a compreensão da distribuição dos valores os resultados são mostrados no mapa nodal, sempre com dois tipos de visualização. Um deles classifica os

valores em cinco tons de cores (método *intervalos naturais*⁴³), onde as cores mais claras representam os valores mais baixos e as cores mais escuras os valores mais altos, que permite visualizar o gradiente dos valores. O outro mostra os valores extremos do ranqueamento, que permite rapidamente identificar os valores mais baixos e os mais altos (método *quantis*).

A partir destes mapas, foi possível fazer considerações sobre a distribuição espacial dos resultados, procurando identificar padrões de variação interna da medida de acessibilidade ponderada.

b) Análise estatística para os estudos comparativos entre sistemas

Os diferentes arranjos de distribuição de atividades testados foram comparados por meio de médias ponderadas – que correspondem ao Indicador de Dispersão explicado na seção 4.4 – obtidas para cada uma das situações. O objetivo foi verificar como a média se comporta perante modificações na distribuição das atividades residenciais e não residenciais. Essas médias foram analisadas por meio de teste estatístico de análise de variância fatorial.

5.4 APLICAÇÃO DOS INDICADORES

Para fins comparativos, o ideal seria ter uma série histórica com dados do município, para verificar se em uma perspectiva evolutiva tem havido maior desencontro dos locais de trabalho com locais de emprego. Na falta de dados referentes a outras épocas, optou-se por trabalhar com cenários hipotéticos representando diferentes distribuições de moradias e empregos, que foram confrontados com os dados reais de distribuição de atividades e com o as características configuracionais do sistema urbano de Torres, que são aqui apresentados segundo três níveis de análise, envolvendo a aplicação de: a) Acessibilidade Simples; b) Indicador de Acessibilidade Ponderada; e c) Indicador de Dispersão.

5.4.1 Acessibilidade Simples

A aplicação da medida de Acessibilidade Simples é mostrada aqui com o objetivo de compreender como se configura a rede viária de Torres, antes de incluir carregamentos nas localizações residenciais e não-residenciais. Seu cálculo envolve apenas um somatório de distâncias de cada ponto a todos os demais, sem levar em conta pesos diferenciados para

⁴³ Em inglês *natural breaks*, esse método baseia-se na minimização da variância dentro de cada classe, procurando agrupamentos que ocorrem naturalmente nos dados, o que proporciona maior homogeneidade para cada classe.

cada um. Os valores mais altos são aqueles que possuem o maior somatório de distâncias, ou seja, correspondem aos pontos de menor acessibilidade do sistema.

Percebe-se, ao observar a Figura 33, que os nós mais acessíveis do sistema – considerados aqui como aqueles 10% cujo somatório de distâncias apresentou o menor valor – se localizam em uma área que fica no caminho entre os principais núcleos urbanos e núcleos de concentração de atividades de comércio e serviços, próxima à área que corresponde à Universidade Luterana do Brasil (ULBRA).

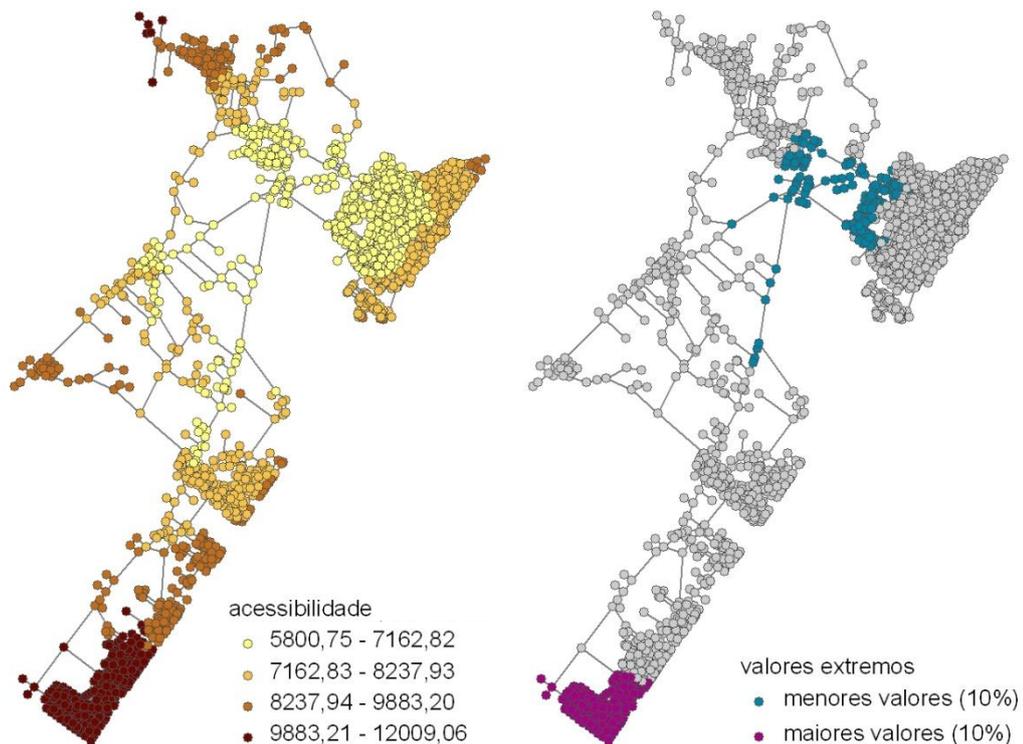
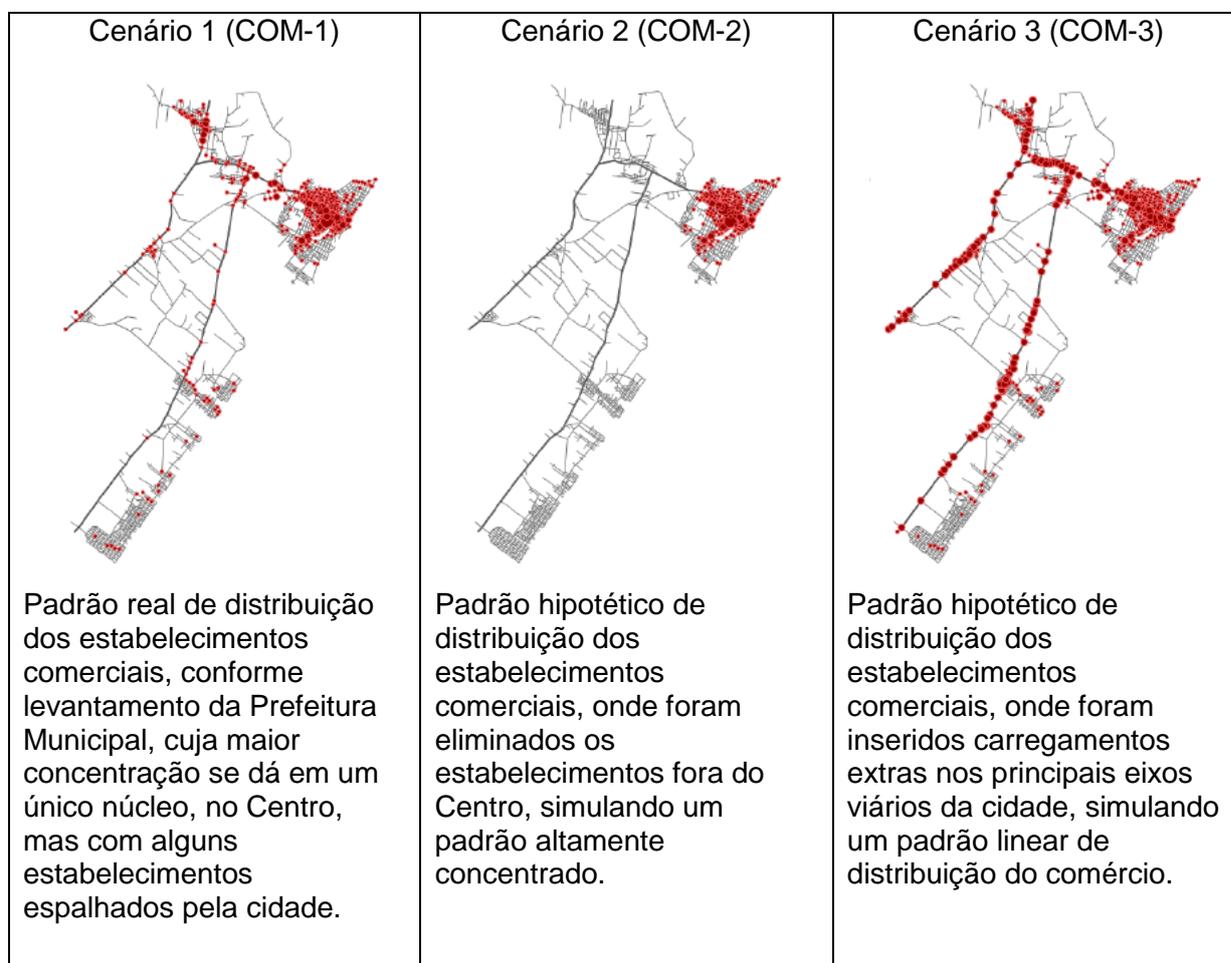


Figura 33 – Resultados para a medida de Acessibilidade Simples

5.4.2 Indicador de Acessibilidade Ponderada

O segundo conjunto de análises envolve a aplicação do indicador de Acessibilidade Ponderada – sem levar em conta a distribuição dos domicílios – a três grafos com diferentes padrões de distribuição de empregos, representados no Quadro 5, visando verificar a diferenciação interna dos resultados, mediante análise visual dos mesmos. O primeiro deles representa o cenário real, foi carregado com pesos que correspondem aos dados do levantamento feito pela Prefeitura Municipal. A concentração maior é no Centro, mas existem alguns estabelecimentos de comércio e serviços em outros locais também. O

segundo é uma variação desse cenário, porém com a representação apenas dos estabelecimentos comerciais localizados no Centro. O terceiro representa um cenário hipotético, caso fosse aumentada a concentração de empregos ao longo dos eixos estruturadores do município – BR-101, Estrada do Mar e vias de acesso ao Centro.



Quadro 5 – Diferentes padrões de distribuição dos empregos, para os quais os indicadores foram testados

Os resultados podem ser visualizados nas Figuras 34, 35 e 36. Nestes, o cálculo levou em conta ponderação conforme concentração de atividades de comércio e serviços. Aqui novamente os resultados têm uma leitura inversa, ou seja, os menores valores – aqueles com menor somatório de distâncias – correspondem à maior acessibilidade aos locais de emprego.

Como se pode ver nas figuras 34 e 35, visualmente há pouca alteração em relação aos resultados apresentados nos Cenários 1 e 2. Isso ocorre porque, no Cenário 1, que corresponde à distribuição real dos estabelecimentos comerciais, a maior concentração dessas atividades, de fato, já ocorre no Centro. O Cenário 2 apenas exagera esse padrão. Já no Cenário 3, mostrado na Figura 36, as diferenças nos resultados internos são mais

visíveis. Há um deslocamento dos menores valores em direção aos nós mais acessíveis do sistema.

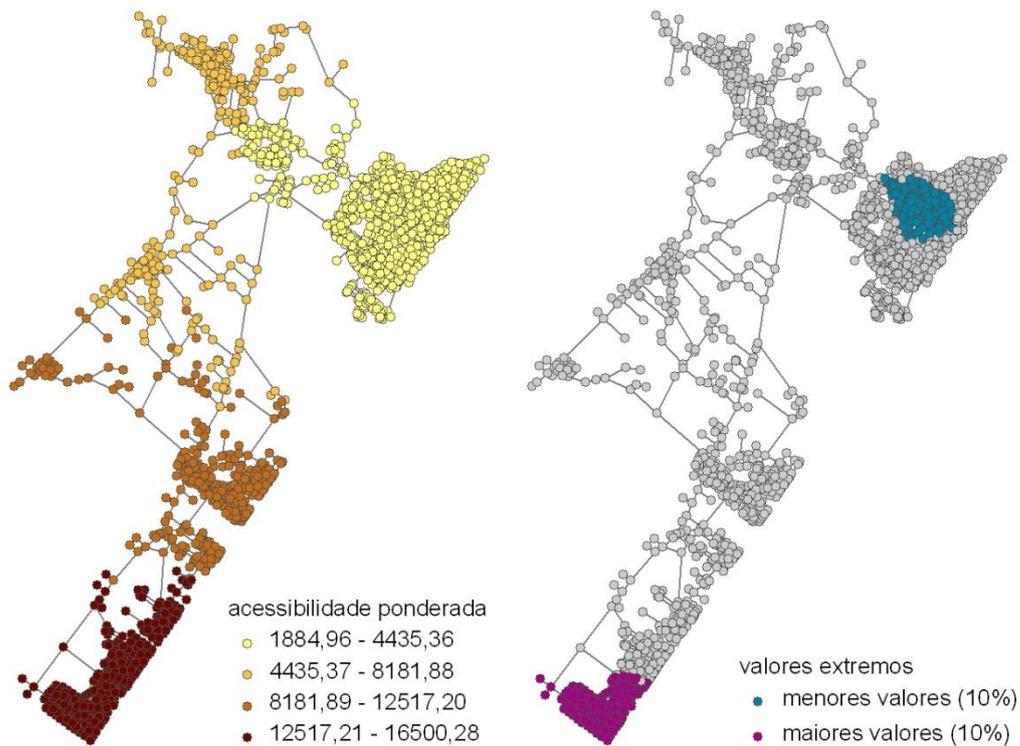


Figura 34 – Resultados do indicador de Acessibilidade Ponderada para o Cenário 1 de distribuição dos estabelecimentos comerciais

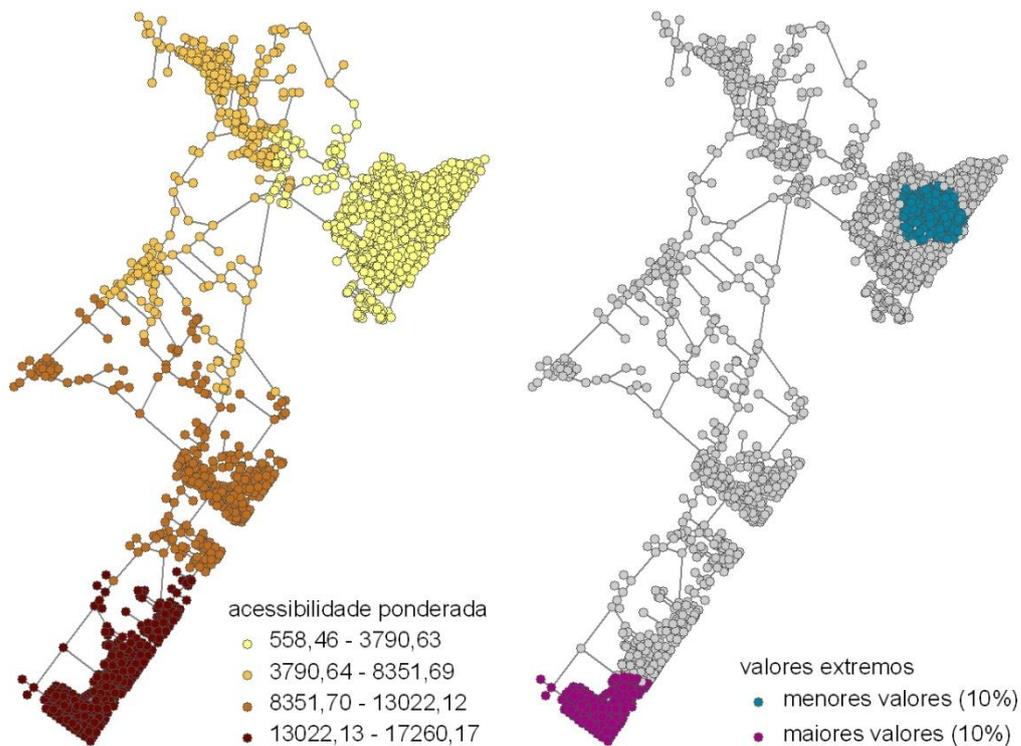


Figura 35 – Resultados do indicador de Acessibilidade Ponderada para o Cenário 2 de distribuição dos estabelecimentos comerciais

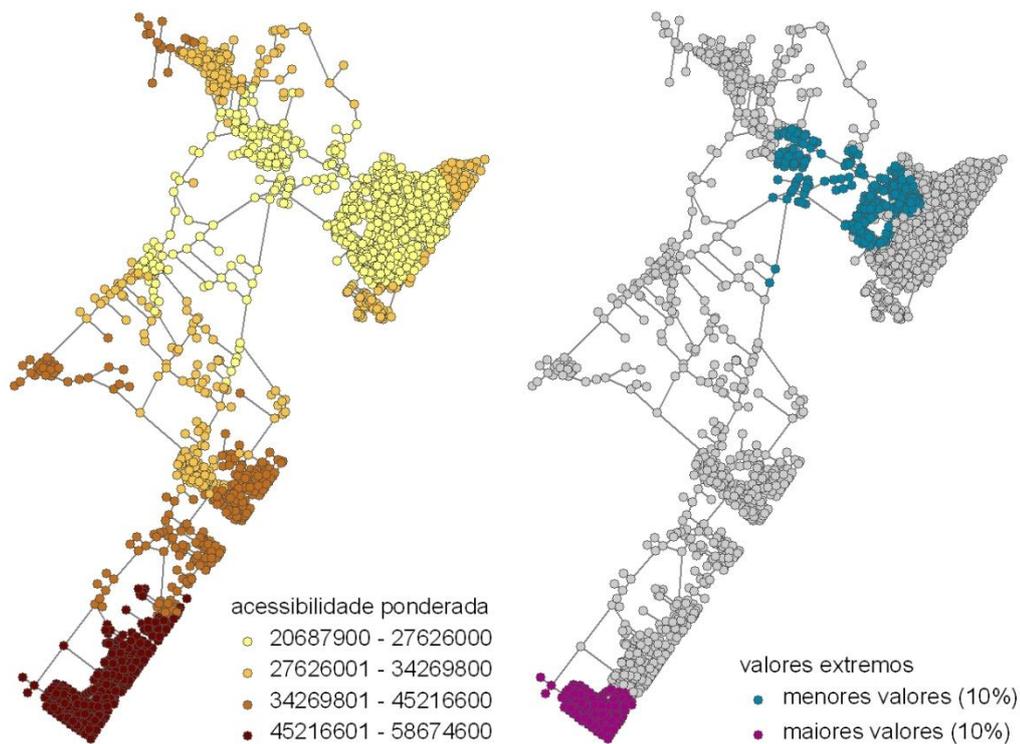
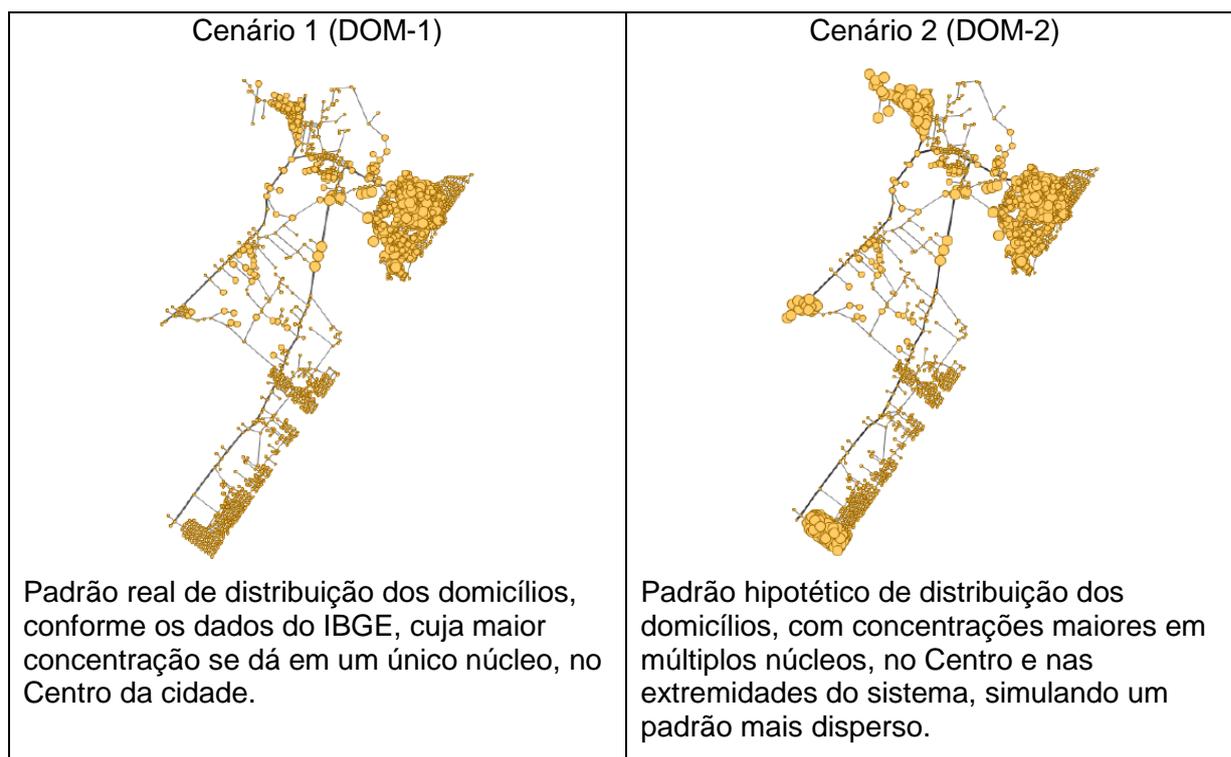


Figura 36 – Resultados do indicador de Acessibilidade Ponderada para o Cenário 3 de distribuição dos estabelecimentos comerciais

Esse indicador, de Acessibilidade Ponderada, permite comparar pontos internos do sistema entre si, em termos de hierarquia, verificando quais partes da cidade possuem maior acessibilidade aos empregos. O Indicador de Dispersão, do item 5.4.3, permite realizar comparações entre sistemas com diferentes padrões, por meio de um índice geral para o sistema, que verifica desencontro entre locais de residência e locais de emprego.

5.4.3 Indicador de Dispersão

Finalmente, são incluídos dados sobre a distribuição espacial dos domicílios, a fim de se calcular o Índice de Dispersão de cada sistema. Da mesma forma, diferentes cenários de distribuição de domicílios são testados, sendo: a) cenário real, que considera os valores obtidos através de dados do IBGE, do Censo 2010; b) cenário hipotético, onde são aumentadas as concentrações de domicílios nas extremidades do gráfico, configurando uma situação de maior dispersão da atividade residencial.



Quadro 6 – Diferentes padrões de distribuição dos domicílios, para os quais os indicadores foram testados

Cada um dos três padrões de distribuição de empregos apresentados anteriormente é combinado com esses dois padrões de distribuição de domicílios, totalizando 6 combinações de padrões de origem e destino, conforme sintetizado na tabela abaixo, com seus respectivos resultados:

	atributos de origem domicílios ocupados	atributos de destino estabelecimentos de comércio e de serviços	Resultados Indicador de Dispersão
A	DOM-1	COM-1	3.869
B	DOM-1	COM-2	3.181
C	DOM-1	COM-3	5.331
D	DOM-2	COM-1	6.144
E	DOM-2	COM-2	5.850
F	DOM-2	COM-3	6.810

Tabela 9 – Resultados do Indicador de Dispersão

Esses resultados foram analisados por meio de teste estatístico de variância fatorial (Factorial ANOVA), já que há dois fatores interferindo nos resultados. Essa análise confirma que os resultados apresentam diferenças altamente significativas entre si ($p=0,000$), e que os dois fatores (origem e destino) podem ser analisados isoladamente, uma vez que são independentes. Em seguida se fez o teste de *post-hoc* de Fisher para analisar cada um dos fatores.

O teste de *post-hoc* aponta, conforme mostrado no gráfico da Figura 37, que independentemente dos locais de origem, quando os destinos se concentram apenas no Centro (COM-2), ocorre uma pequena diminuição no Indicador de Dispersão, com significativa diferença ainda ($p=0,0000$). Quando os destinos assumem o padrão linear (COM-3), ou seja, quando estão menos concentradas no Centro, o aumento no Indicador de Dispersão é significativamente maior ($p=0,0000$), conforme se vê, também, na Figura 37.

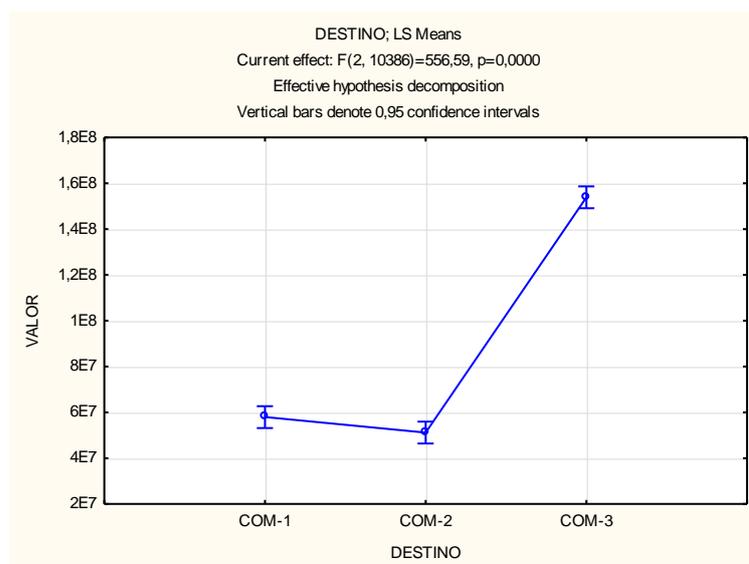


Figura 37 – Gráfico mostrando como os resultados se comportam para cada um dos destinos testados

Em relação às origens, independentemente do padrão de localização dos estabelecimentos de comércio e serviços, quando a concentração dos domicílios se dá em núcleos distantes dos pontos mais acessíveis do sistema, o Indicador aumenta significativamente ($p=0,0000$), conforme mostra o gráfico da figura 38.

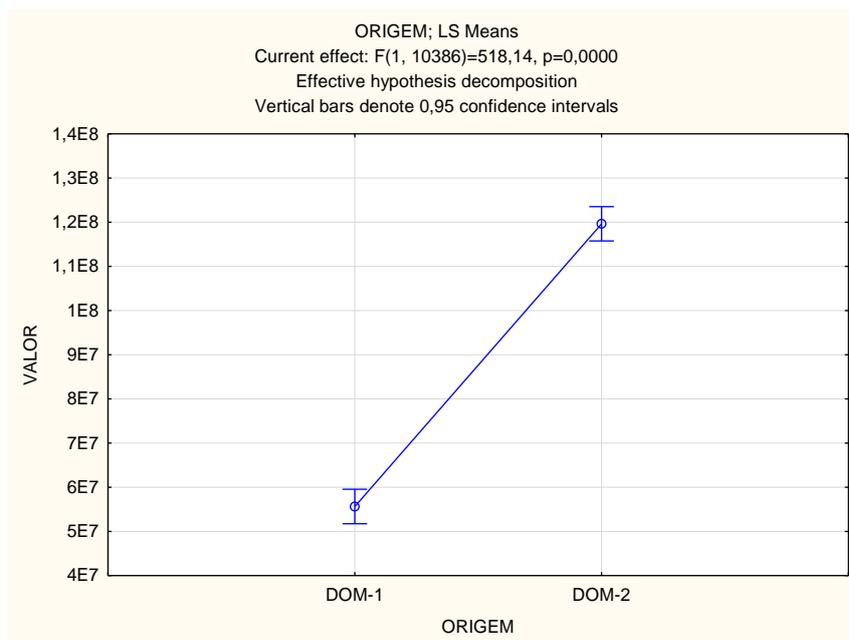


Figura 38 – Gráfico mostrando como os resultados se comportam para cada uma das origens testadas

5.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De modo geral, os resultados do estudo de caso permitiram confirmar as constatações feitas a respeito dos indicadores no capítulo 4. O Indicador de Acessibilidade Ponderada parece capturar adequadamente distâncias aos locais de empregos, com os resultados internos se alterando na medida em que vão sendo introduzidas modificações no padrão de distribuição dos mesmos. Os testes realizados com o Indicador de Dispersão também se mostraram coerentes, uma vez que seus resultados indicaram corretamente os sistemas com maior grau de desencontro entre locais de moradia e trabalho. O indicador de Acessibilidade Ponderada, portanto, permite identificar diferenciações internas a respeito de distanciamento em relação ao total da oferta de empregos; enquanto que o Indicador de Dispersão permite comparar sistemas com diferentes padrões de distribuição de atividades.

Constata-se que quanto mais a oferta de empregos estiver concentrada em locais bastante acessíveis, isto é, com as menores distâncias a todos demais locais do sistema, menores serão as distâncias médias, conforme apontam os testes realizados com os Indicadores de Acessibilidade Ponderada e de Dispersão. Da mesma forma, se os domicílios estiverem concentrados em locais bastante acessíveis, as distâncias médias caem. Assim, o topo do *ranking* foi ocupado pelo sistema que combina o padrão mais disperso de distribuição dos empregos com o padrão mais disperso de distribuição da população (Sistema F: DOM-2 e

COM-3). Tal resultado faz sentido, uma vez que esse arranjo é o que coloca as atividades em situação mais desencontrada, e por isso obteve o maior valor para o Indicador de Dispersão. A interpretação disso, é que esse sistema tenderia a apresentar grande quantidade de fluxos ocorrendo em distâncias maiores, em relação aos outros sistemas testados. O sistema representando ambas as atividades, residenciais e de trabalho concentradas em um único centro (Sistema B: DOM-1 e COM-2), por sua vez, obteve o menor valor para o Indicador de Dispersão.

Dessa forma, constata-se que os indicadores propostos possibilitam avaliar condições de interação espacial entre agentes, isto é, entre atividades potencialmente interativas, como é o caso das relações casa-trabalho, sendo, portanto, úteis à avaliação de desempenho urbano. Com foco em distâncias métricas, permitem verificar graus de acessibilidade entre agentes, que dependem da estrutura urbana que dá suporte a tal rede de interações.

Cabe ressaltar que o presente estudo de caso decorreu de enorme simplificação destas relações, uma vez que reconheceu apenas os pontos fixos de trabalho, contabilizados aqui pelo número de estabelecimentos de comércio e serviços. Trata-se de um recorte, que apesar da simplificação permanece válido para a averiguação do método. A relevância deste estudo não está tanto em seu valor empírico, mas sim no desenvolvimento metodológico delineado. Diferentes padrões de mobilidade dentro de Torres poderiam ser explorados em desenvolvimentos futuros.

6. CONCLUSÕES

Indicadores constituem importantes ferramentas para analisar padrões de urbanização, sendo, portanto, altamente relevantes para a compreensão e o monitoramento da dispersão urbana, que foi objeto de estudo deste trabalho.

A presente pesquisa se propôs a contribuir para o desenvolvimento de metodologias para avaliação da dispersão urbana, aprofundando questões espaciais relacionadas ao fenômeno e aferição de efeitos. Para tanto, buscou referências na investigação sobre indicadores urbanos, especialmente nos trabalhos que vem sendo desenvolvido pelo grupo de pesquisa Sistemas Configuracionais Urbanos da UFRGS sobre indicadores de desempenho. Procurou-se avançar na questão da mensuração/avaliação da dispersão urbana através da introdução de métodos descritivos mais detalhados e indicadores sistêmicos para avaliação de desempenho urbano.

A seguir são feitas considerações sobre o método explorado, quanto às suas potencialidades e limitações, e também sobre possibilidades de desdobramentos da pesquisa.

6.1. POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DO MÉTODO

Os testes realizados nessa pesquisa, tanto os estudos exploratórios como o estudo de caso envolvendo o município de Torres, indicam que o método mostra-se compatível com o problema da dispersão urbana, apresenta potencial para o estudo do fenômeno. O indicador de acessibilidade ponderada permite verificar quais localizações estão mais distantes, ou seja, mais desfavorecidas em relação à oferta de empregos, possibilitando comparações internas. Já o indicador de dispersão permite verificar em que grau isso ocorre no sistema, possibilitando comparar diferentes sistemas.

O método proposto permite representar a distribuição da oferta de empregos com maior precisão do que métodos tradicionalmente utilizados; e modelar sua relação, em termos de distâncias métricas, com a distribuição dos locais de habitação. A utilização de grafos para representar a cidade permitiu mensurar com maior precisão um dos aspectos característicos da dispersão urbana, o distanciamento entre locais de residência e locais de trabalho, bem como comparar o efeito de diferentes padrões de distribuição de atividades e configurações viárias, em termos de acessibilidade. As principais vantagens desse método descritivo, em relação aos métodos usualmente utilizados, são: a) possibilidade de evidenciar conexões

espaciais entre locais de residência e locais de emprego; e b) representação mais precisa da oferta de empregos, levando em conta a multiplicidade de padrões que esta pode assumir, e não apenas o padrão monocêntrico. Esse tipo de representação permitiu, portanto, avaliar aspectos espaciais, pouco explorados em estudos sobre dispersão urbana, oferecendo avanço em direção a uma abordagem que permite investigações que levem em conta particularidades intra-urbanas das cidades e seu caráter sistêmico.

Outra vantagem do método descritivo adotado é que permite a compatibilização de informações provenientes de fontes diversas, como IBGE, Prefeituras Municipais, universidades e outras instituições, que utilizam diferentes unidades de análise. No grafo essas informações podem ser desagregadas em unidades menores, os nós.

A representação abstrata dos elementos urbanos, se por um lado apresenta vantagens, como as expostas acima, por outro oferece limitações, no que se refere à compreensão do indicador de diferenciação espacial explorado – acessibilidade ponderada – uma vez que seu grau de simplificação/abstração o afasta da realidade. Muitas pessoas têm dificuldade em compreender a cidade representada por meio de grafos, ainda que essa seja a melhor maneira de representar e explorar o caráter sistêmico do urbano. A saída parece estar na síntese dos resultados por meio de índices mais gerais, cujo dado de saída acaba sendo um número que pode ser utilizado para fins comparativos entre unidades de análise mais agregadas. Os resultados do indicador de acessibilidade ponderada poderiam ser agregados em outras unidades de análise, como bairros ou setores, possibilitando sua utilização em conjunto com outros indicadores, além de uma compreensão facilitada.

Em relação à avaliação da dispersão urbana, os indicadores propostos apenas analisam um de seus aspectos, a acessibilidade, enfatizando o problema das distâncias intra-urbanas. Ressalta-se aqui a importância de verificá-los em conjunto com diferentes indicadores, representativos de outras dimensões igualmente relevantes da dispersão urbana, seguindo a tendência recente de tratar o fenômeno como multidimensional, e possibilitando uma visão mais abrangente.

O estudo sugere também que os indicadores explorados podem ser utilizados para fins de estudos configuracionais comparativos, mesmo fora do âmbito de pesquisa sobre dispersão urbana, uma vez que a noção de desempenho urbano extrapola esse limite e pode ser aplicada para outros recortes teóricos. Conforme visto na revisão bibliográfica, a modelagem urbana e os sistemas configuracionais são, ainda, campos em aberto para explorações, com alto potencial para fins de suporte à decisão em planejamento urbano e regional e modelagem de fenômenos urbanos. Nesse sentido, a principal contribuição do método desenvolvido nesta pesquisa, além da mensuração de distâncias levando em conta o

sistema espacial urbano, está nas possibilidades que ele abre de modelar redes de agentes com maior nível de complexidade, visto que a cidade é analisada como um sistema, constituído de partes interconectadas entre si.

O indicador de Acessibilidade Ponderada traz avanço por não considerar um cenário de acessibilidade generalizada, mas sim entre atividades complementares, ou seja, atividades previamente definidas como origem e destino. Dessa forma, o método poderia ser utilizado para detalhar qualquer tipo de relação/interação espacial baseada na noção de origem-destino, uma vez que possibilita integração entre características configuracionais – estrutura viária e porções de espaço construído – e características sociais urbanas – atividades, agentes, população.

É válido destacar que a metodologia proposta procurou uma aproximação com o debate sobre desempenho urbano. A relação de acessibilidade entre locais de emprego e de moradia é um aspecto chave para verificação de efeitos da dispersão, mas ainda não constitui um indicador verdadeiramente de desempenho urbano, o que envolveria maior complexidade metodológica. Para isso, o Indicador de Dispersão desenvolvido nesta pesquisa deveria, em primeiro momento, ser relacionado a categorias de desempenho, como eficiência, equidade e sustentabilidade, por exemplo. Eficiência urbana poderia ser tratada sob o ponto de vista da minimização das distâncias e sua implicância em aspectos como tempo de deslocamentos e custos de transporte. Equidade poderia ser abordada em termos de privilégios locacionais, isto é, a partir da identificação de localizações melhor posicionadas em relação às demais e sua correlação com determinadas classes sociais. Uma exploração maior com a questão da sustentabilidade também pode ser feita, a partir da inclusão de aspectos da relação cidade-ambiente e verificações temporais do processo de expansão urbana. O segundo estágio de tal exploração envolveria a correlação de indicadores morfológicos, como os indicadores propostos nesta pesquisa, com medidas sobre externalidades positivas e negativas a essas categorias, como, por exemplo, índices existentes sobre poluição, consumo de combustível e custos de transporte, entre outros.

Explorações como essa, delineada no parágrafo anterior, permitiriam uma maior compreensão a respeito dos efeitos da dispersão urbana e das relações entre forma urbana e desempenho urbano. Essa já seria uma possibilidade de exploração futura do método desenvolvido. Outras possibilidades de desdobramento da pesquisa são relatadas no próximo item.

6.2. POSSIBILIDADES DE DESDOBRAMENTOS DA PESQUISA

A configuração dos espaços públicos e a maneira como se distribuem as diferentes atividades urbanas, por si só, não determinam fluxos de deslocamentos, mas certamente influenciam, como vêm demonstrando os trabalhos da área de sistemas configuracionais. Cidades mais dispersas tendem a gerar deslocamentos maiores. O indicador de dispersão proposto se refere ao potencial de um sistema, com dado padrão de distribuição de atividades, de gerar deslocamentos em maior número e a maiores distâncias, ou seja, potencial de fluxos de deslocamentos. Então, outro possível desdobramento da pesquisa seria verificar níveis de correlação desse tipo de indicador com dados reais de fluxos, dentro de um estudo empírico mais aprofundado. Pesquisas sobre deslocamentos reais, como as pesquisas de origem-destino realizadas em algumas metrópoles brasileiras poderiam ser utilizadas para tal fim.

O estudo enfocou as relações moradia-trabalho, mas abre possibilidade também de explorar outros conjuntos de relações entre atividades urbanas, também centrais ao desempenho urbano, como as relações entre locais de moradia e locais de consumo, ou então interações entre atividades de produção, até o consumo final. Dessa forma, subsistemas podem ser detalhados e explorados metodologicamente neste tipo de abordagem, sendo que a limitação fica por conta da disponibilidade de dados empíricos. A presente pesquisa considerou a cidade inteira como um sistema, onde todas as entidades interagem com todas as demais. Isso poderia ser aperfeiçoado, no sentido de identificar subsistemas que fazem parte do sistema sócio-espacial urbano. A cidade é, na realidade, composta de diversas sub-redes, podendo o método ser aperfeiçoado através da modelagem destas. Diferentes tipos de origens poderiam ser especificados para diferentes tipos de destinos, como por exemplo, distinguir as origens por perfil socioeconômico e os destinos por tipos de empregos. Uma boa exploração futura do método seria verificar em que medida diferentes perfis socioeconômicos se distinguem em termos de acessibilidade aos locais de trabalho, uma vez que a população mais pobre é mais vulnerável à menor acessibilidade aos empregos e à falta de transporte público.

Por fim, cabe um comentário sobre as ferramentas utilizadas. O software utilizado (Numerópolis) possibilita modelar, de forma relativamente rápida, diferentes cenários com variações nas combinações de atributos de origem e destino. Com isso é possível prever, por exemplo, o potencial aumento de distâncias intra-urbanas que poderia ocorrer com a introdução de novas concentrações, tanto residenciais quanto comerciais, ou então com a expansão do tecido urbano. Do ponto de vista operacional, a integração entre Sistemas de Informações Geográficas e técnicas de modelagem urbana parece promissora, e também

poderia ser mais explorada, especialmente em termos de programação computacional. Através de técnicas de geoprocessamento se consegue manipular e extrair informações de bancos de dados pré-existentes, evitando o trabalho de alimentar o modelo manualmente. Nessa pesquisa, o modelo utilizado não estava integrado a um SIG, o que requereu certo esforço devido à alternância entre as diferentes plataformas computacionais empregadas. Recomenda-se, portanto, a integração dessas duas ferramentas em uma única plataforma.

REFERÊNCIAS

- ACIOLY, D.; DAVIDSON, F. **Densidade Urbana**: Um instrumento de planejamento e gestão urbana. Rio de Janeiro: Mauad, 1998.
- BATTY, M. (s.d.) **Urban Modelling**. Disponível em <<http://www.casa.ucl.ac.uk/andrew/repastmodels/presentations/Urban-Modelling-Revised1.pdf>>. Acesso em 29/05/2011.
- _____. **A new theory of space syntax**, CASA working papers, University College London, paper 75, 2004a. Disponível em <<http://www.casa.ucl.ac.uk/publications/workingpapers.asp>>. Acesso em 28/11/2009.
- _____. **Distance in space syntax**, CASA working papers, University College London, paper 80, 2004b. Disponível em <<http://www.casa.ucl.ac.uk/publications/workingpapers.asp>>. Acesso em 28/11/2009.
- _____. **Model Cities**. CASA Working Papers, University College London, paper 113, 2007a. Disponível em <<http://www.casa.ucl.ac.uk/publications/workingpapers.asp>>. Acesso em 28/11/2009.
- _____. **Complexity in city systems, understanding, evolution and design**. CASA Working Papers, University College London, paper 117, 2007b. Disponível em <<http://www.casa.ucl.ac.uk/publications/workingpapers.asp>>. Acesso em 20/03/2010.
- BERTAUD, A.; MALPEZZI, S. **The Spatial Distribution of Population in 48 World Cities: Implications for Economies in Transition**. Wisconsin Real Estate Department Working Paper, Madison, 2003. Disponível em <http://alain-bertaud.com/AB_Files/Spatia_%20Distribution_of_Pop_%2050_%20Cities.pdf>. Acesso em 19/06/2009.
- BERTUGLIA, C.; CLARKE, G.; WILSON, A. **Modelling the City: performance, policy and planning**. London: Routledge, 1994.
- BOTELHO, A. A cidade dispersa: uma nova escala da urbanização contemporânea. In: REIS, N. G. Reis. **Sobre dispersão urbana**. São Paulo: Via das Artes, 2009. p. 275-291.
- CERVERO, R.; ROOD, T.; APPELYARD, B. **Job accessibility as a performance indicator: An analysis of trends and their social policy implications in the San Francisco Bay area**, University of California Transportation Centre, Working Paper 366, April 1995.
- CHIN, N. (2002). **Unearthing the Roots of Urban Sprawl: A critical analysis of form, function and methodology**, CASA Working papers, paper 47, University College London, 2002. Disponível em <<http://www.casa.ucl.ac.uk/publications/workingpapers.asp>>. Acesso em 20/03/2010.
- CLARKE, G. P.; WILSON, A. G. (1994). Performance indicators in urban planning: the historical context. In: BERTUGLIA, C.; CLARKE, G.; WILSON, A. **Modelling the City: performance, policy and planning**. London: Routledge, 1994. Cap.2, p.4-19.
- CRUCITTI, P.; LATORA, V., PORTA S. Centrality measures in spatial networks of urban streets. **Physical Review E**, v.73, Issue 3, 2006a.
- CRUCITTI, P.; LATORA, V., PORTA S (2006b). Centrality in networks of urban streets, **Chaos**, Quarterly of the American Institute of Physics, v.16, 2006b.
- EDOM – ENTREVISTA DOMICILIAR. Pesquisa de Origem e Destino de Porto Alegre – Entrevista Domiciliar – EDOM 2003. Relatório Técnico. Porto Alegre: EPTC/Magna/TIS, 2004

- ECHENIQUE, M. (1976). El concepto de sistemas, modelos y teorías en los estudios urbanos. In: M. Echenique. **Modelos matemáticos de la estructura urbana**. Buenos Aires, SIAP, 1976. Cap.1, p. 13-45.
- EWING, R. Is Los Angeles-style sprawl desirable? **Journal of the American Planning Association**, V. 63, 1997, p.107-126.
- EWING R.; PENDALL, R.; CHEN, D. **Measuring sprawl and its impact**, technical report, v.1, Smart Growth America, Washington, 2002. Disponível em <<http://www.smartgrowthamerica.org/resources.html>>. Acesso em 30/05/2011.
- FRENKEL, A.; ASHKENAZI, M. Measuring urban sprawl: how can we deal with it, **Environment and Planning B: Planning and Design**, v.35, p. 56-79, 2008.
- 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, Issue 4, 681-717, 2001.
- GHENO, P. **Indicador de desempenho urbano: metodologia e perspectiva de integração**. 2009. 187f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2009.
- GONCALVES, A.R., KRAFTA, R. Measuring urban sprawl and environment sustainability. In: **Proceedings of the 4th URBENVIRON – International Seminar on Environmental Planning and Management**. Niteroi: School of Engineering of the Fluminense Federal University, 2010, p. 551-563.
- HAYNES, K. E.; FOTHERINGHAM, A. S. Gravity model: overview. In: _____. **Gravity and spatial interaction models**. Beverly Hills: Sage, 1984, p. 9-13.
- HARVEY, D. *Social Justice in the city*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1973.
- HILLIER, B.; HANSON J. **The social logic of space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- HILLIER B.; PENN, A.; HANSON, J.; GRAJEWSKI, T; XU, T. Natural movement: configuration and attraction in urban pedestrian movement, **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 20, 1993, p. 26-66.
- INGRAM, D. R. The concept of accessibility, **Regional Studies**, v.5, 1971, p. 101-107.
- JARET, C.; GHADÉ, R.; REID, L.; ADELMAN, R. The measurement of suburban sprawl: an evaluation, *American Sociological Association, City & Community*, v. 8, Washington, 2005, p.65-84.
- JENKS, M.; BURTON, E.; WILLIAMS, K. **The compact city: a sustainable urban form?** London: E & Fn Spon, 1996.
- KAWABATA, M. TAKAHASHI, A. Spatial dimensions of job accessibility by commuting time and mode in the Tokyo Metropolitan Area, **Theory and Applications of GIS**, v. 13, No. 2, 2005, p. 139-148.
- KRAFTA R. Modelling intraurban configurational development, **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 21, n.1, 1994, p.67-82
- _____. Urban convergence: morphology and attraction, **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 23, n.1, 1996, p.37-48.
- _____. Urban configurational Complexity: conceptualization and measurement. In: *Proceedings of the 1st International Symposium on Space Syntax*. London, 1997.
- _____. Spatial self-organization and the production of the city, **Revista Urbana**, Caracas, v. 24, 1999, p 49-62.

_____. **Urban centrality: a configurational model of a self-organized process.** In: Proceedings of the 3rd International Symposium on Space Syntax. Atlanta, 2001.

_____. Fundamentos del análisis de centralidad urbana. Centro-h, **Revista de la Organización Latinoamericana y del Caribe de Centros Históricos**, n.2, 2008a, p. 57-72

_____. **Numerópolis: Mapeamento do Desempenho Urbano.** Projeto de Pesquisa CNPq/CAPES-PNPD do Grupo "Sistemas Configuracionais Urbanos" da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 2008b.

_____. Estrutura espacial urbana, centralidade e ordem simbólica na região metropolitana de Porto Alegre. In: R. Krafta, **Análise espacial urbana: aplicações na RMPA.** Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2009, p.107-126.

_____. Desempenho da forma urbana. In: Krafta, R. **Notas de aula de morfologia urbana.** Porto Alegre: CRV, no prelo.

MAIER, G.; FRANZ, G.; SCHROCK, P. **Urban Sprawl: How Useful is this Concept?** ERSA Conference Papers, 2006. Disponível em <<http://www.sre.wu-wien.ac.at/ersa/ersaconfs/ersa06/papers/105.pdf>>. Acesso em 01/03/2011.

MARASCHIN, C. **Localização comercial intra-urbana: modelagem de crescimento através da distribuição logística.** 2009. 266f. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Porto Alegre, 2009.

MIESZKOSWSKI P. Urban economics, **The Palgrave Dictionary of Economics**, 1989.

NETTO, V.M. A materialidade da interação econômica. **Cadernos IPPUR**, Rio de Janeiro, no prelo.

_____. Morfologias para uma sustentabilidade arquitetônico-urbana In: **NUTAU 2008 – 7º Seminário Internacional: O Espaço Sustentável – Inovações em Edifícios e Cidades.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008.

NETTO, V.M., KRAFTA, R. A forma urbana como problema de desempenho: o impacto de propriedades espaciais sobre o comportamento urbano. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais (ANPUR)**, Rio de Janeiro, v.11, 2009, p.157-182.

_____. Urban form as a problem of performance: from indicators of urban features to systemic indicators of actual performance In: **Proceedings of the 4th URBENVIRON – International Seminar on Environmental Planning and Management 2010.** Niteroi: School of Engineering of the Fluminense Federal University, 2010, p.183-200.

NEWMAN, M.; BARABÁSI, A.-L.; WATTS, D. **The Structure and Dynamics of Networks.** New Jersey: Princeton University Press, 2006.

NYSTUEN, J. Identification of some fundamental spatial concepts. In: BERRY, J.; MARBLE, D. **Spatial analysis: a reader in statistical geography.** New Jersey and London: Prentice-Hall, 1968, p.35-41.

OJIMA, R. **Análise comparativa da dispersão urbana nas aglomerações urbanas brasileiras: elementos teóricos e metodológicos para o planejamento urbano e ambiental.** 2007. 166f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Programa de Doutorado em Demografia do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Campinas, 2007a.

_____. Dimensões da urbanização dispersa e proposta metodológica para estudos comparativos: uma abordagem socioespacial em aglomerações urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**, v. 24, n. 2, 2007b, p.277-300.

- PERES, O. M.; POLIDORI, M. C. Especulando sobre a fragmentação da forma urbana: dinâmicas do crescimento e ecologia urbana. In: Proceedings of the 54th World Congress of International Federation for Housing and Planning. Porto Alegre, 2010.
- POLIDORI, M. C.; KRAFTA, R. Simulando crescimento urbano com integração de fatores naturais, urbanos e institucionais, **GeoFocus**, N. 5, 2005, p. 156-179.
- REIF, B. Models in urban and regional planning. New York: Intertext Educational, 1973.
- REIS, N.G. **Notas sobre urbanização dispersa e novas formas de tecido urbano**. São Paulo: Vias das Artes, 2006.
- RIBEIRO, R. (2009) **Índices de qualidade configuracional urbana**. In: Anais do XIII Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional. Florianópolis, 2009.
- RIBEIRO, R.; HOLANDA, F. Proposta para análise do Índice de Dispersão Urbana. **Cadernos Metrôpole**, Observatório das Metrôpoles, n. 15, 2006, p. 49-70.
- TORRENS, P. (2008). A toolkit for measuring sprawl. **Applied Spatial Analysis and Policy** , v.1, 2008, p. 5-36.
- TORRENS, P.; ALBERTI, M. **Measuring Sprawl**. CASA working papers, University College London, paper 27, 2000. Disponível em <<http://www.casa.ucl.ac.uk/publications/workingpapers.asp>>. Acesso em 10/09/2008.
- WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social Network Analysis: Methods and Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- TSAI, Y-H. Quantifying Urban Form: Compactness versus 'Sprawl', **Urban Studies**, v.42, n.1, January 2005, p.141-161.
- WANG, F. Job proximity and accessibility for workers of various wage groups, **Urban Geography**, v.24, n.3, 2003, p. 253-271.
- WEGENER, M. Operational urban models: state of the art. **Journal of the American Planning Association**, Chicago, v. 60, n.1, p.17-29, 1994.
- WILSON, A.G. Urban and regional models in geography and planning. London: John Wiley, 1974.
- WOLMAN, H.; GALSTER, G.; HANSON, R.; RATCLIFFE, M.; FURDELL, K.; SARZYNSKI, A. The Fundamental Challenge in Measuring Sprawl: Which land should be considered? **The Professional Geographer**, Oxford, v. 57, n. 1, February 2005, p. 94-105.
- WONG, C. **Indicators for urban and regional planning: the interplay of policy and methods**. London: Routledge, 2006.