

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

GUSTAVO MACIEL GONÇALVES

Indicadores de Acessibilidade aos Empregos Baseados na Abordagem Configuracional

Porto Alegre
2022

GUSTAVO MACIEL GONÇALVES

Indicadores de Acessibilidade aos Empregos Baseados na Abordagem Configuracional

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

Orientadora:

Prof. Dra. Clarice Maraschin

Porto Alegre

2022

GUSTAVO MACIEL GONÇALVES

Indicadores de Acessibilidade aos Empregos Baseados na Abordagem Configuracional

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

Aprovada em 03 de agosto de 2022.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Ana Paula Neto de Faria
(Examinadora externa da Universidade Federal de Pelotas – UFPel)

Prof. Romulo Celso Krafta, PhD
(Examinador interno do PROPUR – UFRGS)

Prof. Dr. Júlio Celso Borello Vargas
(Examinador interno do PROPUR – UFRGS)

CIP - Catalogação na Publicação

Gonçalves, Gustavo Maciel
Indicadores de Acessibilidade aos Empregos Baseados
na Abordagem Configuracional / Gustavo Maciel
Gonçalves. -- 2022.
108 f.
Orientadora: Clarice Maraschin.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa
de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional,
Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Desigualdades socioespaciais. 2. Acessibilidade
aos empregos. 3. Modelos configuracionais urbanos. 4.
Indicadores de Desempenho Urbano. I. Maraschin,
Clarice, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e, especialmente, ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR), por proverem um ensino público de excelência.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo financiamento do PROPUR e desta pesquisa na forma de bolsa de mestrado durante a maior parte do curso.

À minha orientadora, a professora Clarice Maraschin, por me acolher e compartilhar comigo tanto conhecimento e carinho.

Aos membros da Banca Examinadora desse trabalho de dissertação, a quem tenho muito apreço como professores e pesquisadores, a professora Ana Paula Faria, o professor Romulo Krafta e o professor Júlio Vargas.

Aos integrantes do grupo de pesquisa Sistemas Configuracionais Urbanos, em especial à Ana Luisa Maffini, à Bárbara Giacom e ao Guilherme Dalcin.

Aos meus pais, Maria Jaqueline e Francisco Carlos, e à minha irmã, Débora, pelo amor e respeito inegociáveis e por fazerem o impossível para que eu pudesse me realizar.

A todos os meus familiares e amigos por me encherem de afeto e confiança e por contribuírem direta e indiretamente com a realização desta pesquisa.

RESUMO

A acessibilidade da população aos empregos é uma questão central ao desempenho das cidades e reflete as desigualdades socioespaciais envolvidas no processo de desenvolvimento urbano. Seu estudo implica em considerar que a empregabilidade da população contém uma problemática espacial que necessita ser tratada de alguma forma para a avaliação do desempenho urbano. Contudo, muitas variáveis atuam simultaneamente para a ocorrência do fenômeno, tornando a sua avaliação muito complexa de ser feita. Este trabalho procura contribuir com esse tema desenvolvendo instrumentos analíticos, na forma de indicadores sistêmicos e de métodos de análise espacial, que permitam auxiliar na avaliação da acessibilidade aos empregos. A dissertação trabalha com indicadores baseados em um modelo configuracional de acessibilidade direcionada e valorada. Eles capturam relações de proximidade entre locais de trabalho e de residência, considerando a intensidade da presença das ofertas de emprego e a competição entre a população pelos empregos decorrente da distribuição desigual das densidades populacionais. O modelo é baseado em um sistema descritivo detalhado que permite o tratamento da escala intraurbana do fenômeno e reflete características morfológicas dos sistemas urbanos, aspectos ausentes nos métodos de análise existentes. A metodologia proposta também permite incluir na análise a adequabilidade entre o tipo de emprego e o tipo de postulante, assim como o efeito da presença de modos de transporte coletivo. O trabalho desenvolve dois tipos de aplicação da metodologia desenvolvida, uma em sistemas teóricos e outra com dados empíricos de duas cidades médias do RS: Pelotas e Passo Fundo. As conclusões destacam as virtudes e limites da metodologia proposta, mostrando seu potencial para a avaliação da acessibilidade aos empregos. O método pode ser utilizado para estudos comparativos entre sistemas urbanos e categorias populacionais distintas, podendo subsidiar decisões de planejamento e formulações de políticas públicas urbanas.

Palavras-chave: Desigualdades Socioespaciais; Acessibilidade aos Empregos; Modelos Configuracionais Urbanos; Indicadores de Desempenho Urbano.

ABSTRACT

Job accessibility is a central issue for the performance of cities and reflects the socio-spatial inequalities involved in the process of urban development. Urban population employment has a spatial problem that needs to be treated in some way in the assessment of urban performance. This assessment is quite complex, though, as the phenomena is defined simultaneously by several variables. This Master's thesis seeks to contribute with this issue by developing analytical tools, such as systemic indicators and spatial analysis methods, in order to support the assessment of job accessibility. The thesis works with a set of indicators based on a street network directed and weighted accessibility model. They capture proximity relationships between the location of jobs and the residential location of workers, accounting for the presence and intensity of job supply and for the worker's competition for jobs that is due to the unequal distribution of population densities. The model is based on a detailed descriptive system that handles the intraurban scale and reflects morphological characteristics of urban systems. These aspects are absent in the existing analysis methods. The proposed methodology can also include the suitability between the types of workers and the types of jobs as well as the effect of public transport modes within the assessment of job accessibility. We implemented the methodology working both with theoretical systems and empirical data from two medium-sized cities in RS, Brazil: Pelotas and Passo Fundo. The conclusions highlight the potential and the limits of the proposed methodology for the assessment of job accessibility. It can support planning decisions and urban policies by providing the tools for comparative analysis between different urban systems and population categories.

Key words: Socio-spatial Inequalities; Job Accessibility; Urban Street Network Models; Urban Performance Indicators.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE QUADROS	10
LISTA DE EQUAÇÕES.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA E ESCOPO DA PESQUISA.....	14
1.2 QUESTÕES E HIPÓTESE DA PESQUISA	16
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA	16
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 ACESSIBILIDADE AOS EMPREGOS	17
2.2 MODELOS URBANOS CONFIGURACIONAIS.....	25
2.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA FORMA URBANA.....	32
3 CONSTRUÇÃO DOS INDICADORES	38
3.1 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	38
3.2 INDICADOR DAS PROPRIEDADES DOS COMPONENTES DA REDE	39
3.3 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL.....	43
3.4 INDICADORES DAS PROPRIEDADES GLOBAIS DA REDE.....	44
4 EXPERIMENTOS BASEADOS EM REDES TEÓRICAS	46
4.1 METODOLOGIA	46
4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.3 SÍNTESE DAS PROPRIEDADES DOS INDICADORES.....	64
5 EXPERIMENTOS BASEADOS EM DADOS EMPÍRICOS.....	67
5.1 METODOLOGIA	67
5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
5.3 DISCUSSÃO SOBRE A APLICAÇÃO EMPÍRICA DA ABORDAGEM	93
6 CONCLUSÃO.....	96
6.1 POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA	97
6.2 POSSIBILIDADES DE DESDOBRAMENTO DA PESQUISA	100
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Exemplos de conceitos da teoria dos grafos.....	27
Figura 2.2 Critérios de discretização do sistema espacial e grafos equivalentes. Adaptado de Gonçalves (2011).....	29
Figura 3.1 Esquema ilustrando os tipos de análises que podem ser feitas com o indicador. As setas indicam possibilidades de comparação entre grupos e/ou sistemas distintos.....	40
Figura 3.2 Resultados da medida para o sistema hipotético. “O” é a quantificação da oferta (empregos) e “D” é a quantificação da demanda (trabalhadores) em cada unidade.	42
Figura 3.3 Tomada de distâncias métricas nos scripts GAUS: a) rede discretizada pelo critério de discretização por conectividade, b) rede com a identificação do ponto médio dos segmentos viários e a distância tomada pelo modelo entre w e z , c) grafo equivalente com as ligações valoradas com a distância medida na rede $(lw/2 + lz/2)$	43
Figura 4.1 Distribuição espacial dos resultados da Acessibilidade Potencial das redes com variações de tamanho.	47
Figura 4.2 Gráficos que descrevem a distribuição e a desigualdade dos valores de AP para as redes com variações de tamanho: a) gráfico de dispersão (linhas) log-normal e b) Curvas de Lorenz.	48
Figura 4.3 Dados de entrada e distribuição espacial dos resultados da Acessibilidade Potencial para as redes com variações de topologia.	50
Figura 4.4 Gráficos que descrevem a distribuição e a desigualdade dos valores de AP para as redes com variações de topologia: a) gráfico de dispersão (linhas) e b) Curvas de Lorenz.	52
Figura 4.5 Gráficos que descrevem a distribuição dos valores de AP para as redes com variações de densidade dos carregamentos: a) gráfico de dispersão (linhas) e b) gráfico de dispersão log-normal (linhas).	54
Figura 4.6 Dados de entrada e resultados da distribuição espacial dos resultados da Acessibilidade Potencial para as redes com variações de distribuição das ofertas.	55
Figura 4.7 Gráficos que descrevem a distribuição e a desigualdade dos valores de AP para as redes com variações de distribuição das ofertas: a) gráfico de dispersão (linhas) e b) Curvas de Lorenz.	56
Figura 4.8 Dados de entrada e resultados da Acessibilidade Potencial para as redes com variações de distribuição das demandas, para ofertas uniformemente distribuídas.....	57
Figura 4.9 Gráficos que descrevem a distribuição e a desigualdade dos valores de AP para as redes com variações de distribuição das demandas: a) gráfico de dispersão (linhas) e b) Curvas de Lorenz.	59
Figura 4.10 Dados de entrada e resultados da Acessibilidade Potencial para as redes com variações de distribuição das demandas, para uma distribuição não uniforme das ofertas.	60
Figura 4.11 Gráficos que descrevem a distribuição e a desigualdade dos valores de AP para as redes com variações de distribuição das demandas, para uma distribuição não uniforme das ofertas: a) gráfico de dispersão (linhas) e b) Curvas de Lorenz.	61

Figura 4.12 Dados de entrada e resultados da Acessibilidade Potencial para as redes com variações proporcionais no tamanho e na densidade dos carregamentos, para uma mesma distribuição dos carregamentos de oferta e demanda.....	62
Figura 5.1 Relação entre a rede de ruas e as redes das linhas de ônibus no método proposto.	72
Figura 5.2 Esquema dos experimentos realizados.....	74
Figura 5.3 Procedimentos adotados para a associação dos dados de demanda ao sistema espacial.	75
Figura 5.4 Procedimentos adotados para a associação dos dados de oferta ao sistema espacial.	75
Figura 5.5 Procedimentos adotados para a criação das camadas das redes das linhas de ônibus.	77
Figura 5.6 Mapa de localização de Pelotas e Passo Fundo contendo os segmentos viários. Fonte: ESRI, 2021.....	79
Figura 5.7 Distribuição da População em Idade Ativa (PIA) de Baixa e Alta Renda, 2010. Fonte: IBGE (2011).	81
Figura 5.8 Distribuição espacial dos postos de empregos formais (Estimativa de Densidade de Kernel).	82
Figura 5.9 Mapeamentos da distribuição espacial das paradas de ônibus.	83
Figura 5.10 Distribuições espaciais dos valores de Acessibilidade Potencial ($R=N$).	85
Figura 5.11 Distribuições espaciais dos valores de Acessibilidade Potencial ($R=N$) com a incorporação do efeito do transporte coletivo por ônibus, sendo o valor de $P = 0,01$	90
Figura 5.12 Gráficos mostrando a distribuição dos valores de Acessibilidade Potencial para Pelotas e Passo Fundo sem e com a inclusão do efeito do transporte coletivo por ônibus: a) gráfico de dispersão (linhas) e b) gráficos de dispersão (linhas) log-normal.	92
Figura 5.13 Gráfico contendo as Curvas de Lorenz para Pelotas e Passo Fundo sem e com a inclusão do efeito do transporte coletivo por ônibus.....	92
Figura 5.14 Diferença entre os valores de Acessibilidade Potencial dos componentes das redes sem e com a inclusão do efeito do transporte por ônibus.	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 Objetivos secundários da pesquisa e respectivos procedimentos empregados.	16
Quadro 4.1 Variáveis que descrevem o comportamento das redes com variações de tamanho.	48
Quadro 4.2 Variáveis que descrevem o comportamento das redes com variações de topologia.	50
Quadro 4.3 Variáveis que descrevem o comportamento das redes com variações de densidade.	53
Quadro 4.4 Variáveis que descrevem o comportamento das redes com variações de distribuição das ofertas.	55
Quadro 4.5 Variáveis que descrevem o comportamento das redes com variações de distribuição das demandas, para ofertas uniformemente distribuídas.	58
Quadro 4.6 Variáveis e indicadores que descrevem o comportamento das redes com variações de distribuição das demandas, para uma distribuição não uniforme das ofertas.	60
Quadro 4.7 Variáveis e indicadores que descrevem o comportamento das redes com variações proporcionais no tamanho e na densidade dos carregamentos, para uma mesma distribuição dos carregamentos de oferta e demanda.	63
Quadro 5.1 Critério de estratificação socioeconômica proposta pela Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE) e variáveis do Censo Demográfico do IBGE de 2010 (IBGE, 2011) correspondentes aos estratos socioeconômicos. Fonte: Brasil (2012), Kamakura e Mazzon (2016) e IBGE (2011).	71
Quadro 5.2 Economia dos municípios em 2019. Fonte: IBGE (2021).	78
Quadro 5.3 Informações referentes a tamanho, população e densidades das cidades. Fonte: IBGE (2011).	79
Quadro 5.4 População em idade ativa (PIA) por categoria de renda, 2010. Fonte: IBGE (2011).	80
Quadro 5.5 Porcentagem de vínculos empregatícios ativos por setor da atividade econômica. A tabela inclui todos os registros administrativos do banco de dados. Para a modelagem da Acessibilidade Potencial, os vínculos de algumas atividades foram desconsiderados, conforme descrito na seção anterior. Fonte: MTE (2019).	82
Quadro 5.6 Variáveis que descrevem relações entre as redes espaciais e as paradas de ônibus nas cidades.	83
Quadro 5.7 Variáveis que descrevem o comportamento das redes espaciais de Pelotas e Passo Fundo em relação a medida de Acessibilidade Potencial.	86
Quadro 5.8 Valores de p da Anova a um fator comparando as médias dos valores de AP dos segmentos viários que possuem paradas de ônibus e daqueles que não possuem paradas de ônibus.	88
Quadro 5.9 Valores de ρ do Teste de correlação de Spearman, comparando o ranqueamento dos valores de AP da rede sem e com a introdução do efeito do transporte por ônibus para os diferentes valores de P adotados.	88
Quadro 5.10 Variáveis que descrevem o comportamento das redes espaciais de Pelotas e Passo Fundo em relação a medida de Acessibilidade Potencial sem e com a inclusão do efeito do transporte coletivo por ônibus.	91

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Acessibilidade do vértice (A).....	30
Equação 2 – Acessibilidade normalizada do vértice (A')	31
Equação 3 – Oportunidade Espacial do vértice (OE)	37
Equação 4 – Oportunidade Espacial ponderada pela população do vértice ($OEPP$).....	37
Equação 5 – Acessibilidade Ponderada do vértice ($AceP$).....	37
Equação 6 – Demanda Potencial incidente no vértice (DP)	40
Equação 7 – Acessibilidade Potencial do vértice (AP)	41
Equação 8 – Oferta Relativa do sistema (OR)	44
Equação 9 – Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial do sistema (ID)	45
Equação 10 – Efeito do ponderador P sobre o comprimento das ligações presentes na rede.....	72

1 INTRODUÇÃO

O tema abordado por esta pesquisa é a *Acessibilidade aos Empregos*¹. A noção de *Acessibilidade Urbana* se refere à facilidade com a qual pessoas conseguem alcançar atividades e destinos urbanos, que, em conjunto, podem ser denominados *Oportunidades*. No campo do planejamento urbano, diversos estudos relacionam a noção de acessibilidade com fatores como qualidade de vida, saúde física, felicidade e bem-estar. Mais do que isso, a melhoria da acessibilidade urbana tende a ser posta como um meio para alcançar objetivos mais amplos, como o desenvolvimento socioeconômico da população e a equidade espacial e social (FARRINGTON, 2007; NETTO; KRAFTA, 2009; PEREIRA et al., 2017; TALEN; ANSELIN, 1998).

O caso da acessibilidade aos empregos se refere a um quadro ainda mais específico, que pode ser endereçado a partir da noção de *Incompatibilidade Espacial*². O conceito postulado por Kain (1968) se refere a disparidade geográfica entre a população com baixa qualificação profissional e as oportunidades de emprego compatíveis com esse segmento da população. Desde a sua formulação, muitas pesquisas têm testado a hipótese de que o fenômeno tem implicações negativas sobre o desempenho da população envolvida no mercado de trabalho, influenciando indiretamente a empregabilidade da população, o comprometimento dos baixos salários com custos de deslocamento, a diminuição da mobilidade intergeracional e a pobreza persistente das famílias. Essa hipótese é formulada em alguns pressupostos como o que a população com baixa qualificação profissional tende a possuir baixo poder de escolha de localização residencial e alta dependência com o transporte público, por não portar automóvel individual.

Esse fenômeno parece ser muito influente nas cidades brasileiras, cujos níveis preocupantes de pobreza e desemprego são notadamente intensificados em épocas de crise econômica e sanitária³. Duas características do mercado de trabalho no Brasil merecem especial atenção, por trazerem desafios à análise e planejamento da acessibilidade aos empregos: o crescimento e consolidação da informalidade e a desespacialização dos locais de trabalho.

Sobretudo desde a década de 1990, a desestruturação do mercado de trabalho encontrou a conjuntura favorável para a ampliação da informalidade, do desemprego e da precarização das condições de trabalho. Sendo um fenômeno quase estritamente metropolitano nas décadas anteriores, o mercado de trabalho informal passa a avançar sobre as médias e pequenas cidades (PEREIRA; CABRAL, 2019). A ausência de monitoramento do trabalho informal nas cidades

¹*Job accessibility* é o termo mais utilizado na literatura internacional.

²*Spatial Mismatch* ou *Spatial/Skill Mismatch* são os termos mais utilizados na literatura internacional.

³Segundo os resultados da PNAD Contínua (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), o Brasil atingiu a taxa de desemprego (taxa de pessoas desocupadas pertencentes à força de trabalho) recorde de 14,7% no 1º trimestre de 2021, durante a pandemia da COVID-19, com cerca de 14,8 milhões de pessoas desocupadas.

implica que a análise da acessibilidade aos empregos esteja completamente alheia ao fenômeno, não sendo possível tratar a sua dimensão espacial⁴.

A desespacialização do local de trabalho é originada, dentre outros fatores, pela ampliação do teletrabalho e pela uberização das relações de trabalho. Com o surgimento das possibilidades de conexão remota, passa a ser possível o estabelecimento de grupos virtuais de trabalho e a desconexão espaço-tempo, sendo possível se trabalhar de qualquer lugar, 24 horas por dia (DUPAS, 1999). Não obstante, esse formato de trabalho, cuja ocorrência recrudescer significativamente durante a pandemia de COVID-19, não é uma opção para toda a população, sobretudo para alguns tipos de ocupação que demandam a presença física do funcionário.

Já a ideia de uberização se refere à criação de postos de trabalho habilitados por aplicativos de celular, a partir dos quais os compradores e os vendedores podem se conectar. Esse tipo de relação de trabalho, que tem impactado o modo de prestação dos mais diversos tipos de serviços, representa um modo muito diferente de se recrutar e pagar pelo trabalho em relação à organização do trabalho tradicional (DAVIS; SINHA, 2021). Além de constituir-se de um novo modo de trabalho informal, a uberização também implica na desespacialização do local de trabalho, aprofundando a complexidade do tratamento da acessibilidade aos empregos.

Mesmo reconhecendo as inúmeras transformações que estão em curso no mundo do trabalho, as relações espaciais entre os domicílios e os empregos ainda são extremamente relevantes para o planejamento urbano. Diversos fatores afetam a acessibilidade da população aos empregos. Por um lado, os postos de trabalho se apresentam de modo heterogêneo no território, tanto em termos de distribuição quanto de intensidade. A quantidade de empregos disponível em cada cidade depende de inúmeros fatores, tais como o nível de desenvolvimento econômico, a vocação produtiva, a presença de atividades dinâmicas e o perfil das empresas. Já a distribuição espacial dos empregos segue critérios de escolha locacional próprios às diferentes atividades econômicas urbanas (indústrias, comércios, serviços, etc.) e depende também de restrições impostas por legislações urbanas. Estes podem estar concentrados em uma mesma área, formando um centro urbano, ou difusos em diversas localidades, formando polos alternativos. Por outro lado, as localizações residenciais da população também não são distribuídas igualmente, pois dependem de fatores como preço da terra, distância aos centros urbanos, externalidades de vizinhança e critérios de escolha locacional que são específicas a cada categoria populacional.

A forma geral da cidade e a configuração espacial da malha urbana também condicionam a acessibilidade aos empregos. Fatores associados à gênese da forma urbana, como topografia, hidrografia, traçado, preexistências e tradições urbanísticas, influenciam a morfologia e a

⁴Algumas das poucas exceções se referem aos trabalhos de Pedro Abramo realizados na cidade do Rio de Janeiro e, sobretudo, a pesquisa da Rede Infosolo, cujos resultados foram publicados em 2009 no livro *Favela e mercado informal: a nova porta de entrada dos pobres nas cidades brasileiras*, organizado pelo mesmo autor. O livro contém pesquisas realizadas em amostras de assentamentos informais das cidades de Salvador (SOUZA; MONTEIRO, 2009), Florianópolis (SUGAI, 2009), Rio de Janeiro (ABRAMO; PULICI, 2009) e Brasília (CAMPOS; FARRET, 2009).

configuração da malha urbana. Dessa última emerge uma diferenciação espacial, ou hierarquias de acessibilidade, que atuam para promover fluxos desiguais sobre o território. Os sistemas de transportes também têm a capacidade de aproximar lugares e alterar características de acessibilidade entre as localizações. Tal processo de organização se reflete em uma *Estrutura Espacial Urbana* própria de cada cidade, com padrões dinâmicos e variados que geram desigualdades socioespaciais no acesso aos locais de emprego.

1.1 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA E ESCOPO DA PESQUISA

Estudos sobre a acessibilidade aos empregos formais para o contexto latino-americano tem se mostrado muito relevantes. Pesquisas atuais vêm apontando que baixos níveis de acessibilidade aos empregos formais em determinadas áreas urbanas podem estar associados a maior probabilidade da população residente em estar desempregada ou empregada no setor informal: veja, por exemplo, Suárez et al. (2016), Pereira (2019), Barboza et al. (2021), Boisjoly e El-Generdy (2017), Hernandez et al. (2020) e Matas et al. (2010).

Além disso, de acordo com autores como Cervero et al. (1995), Cervero et al. (2002), Jin e Paulsen (2018) e Pereira et al. (2019), existem evidências de que maiores níveis de acessibilidade, em termos da proximidade entre as localizações dos empregos formais e da população, têm se traduzido em impactos de curto prazo sobre os níveis de renda e empregabilidade da população. Esses resultados endossam o planejamento da acessibilidade urbana como um importante e atual paradigma do planejamento do espaço intraurbano, sobretudo nos países em desenvolvimento. Este trabalho procura contribuir nesse âmbito, através da proposição de indicadores que possam dar suporte ao planejamento urbano e às políticas públicas, notadamente em estratégias de incentivo à alocação de atividades urbanas, potencialmente geradoras de oportunidades de emprego, e de sistemas de transporte.

A melhoria na distribuição espacial das facilidades urbanas, dentre as quais podem ser colocadas as vagas de emprego, está muito vinculada à noção de Justiça Social. Este é um tema que, apesar de ser discutido pela filosofia política⁵ há muito tempo, teve uma mudança de foco para abarcar a sua dimensão espacial sobretudo a partir de obras como *O Direito à Cidade* de 1968 (LEFEBVRE, 2011) e *Justiça Social e a Cidade* (HARVEY, 1973). Apesar de ser um tema de longa data, ele se mantém atual e relevante na medida em que novos desafios se apresentam e novas formas de tratar o fenômeno são ensejadas pelo avanço nos campos teórico, metodológico e computacional. Esta pesquisa soma esforços a outros estudos que buscam produzir instrumentos analíticos para descrever e avaliar a acessibilidade da população aos empregos.

⁵Fainstein (2013) e Pereira et al. (2017) são exemplos de publicações recentes que se detiveram em organizar formulações sobre a questão da justiça social no campo da filosofia política e sua aplicabilidade para os estudos que tratam da dimensão espacial do fenômeno.

Do ponto de vista científico, a discussão sobre a acessibilidade aos empregos tem sido protagonizada pela área do planejamento de transportes, com o constante desenvolvimento teórico sobre os fatores que influenciam o fenômeno e a construção de indicadores espaciais. Em termos teóricos, duas importantes noções introduzidas por essa área de estudos são as de competição pelos empregos e de adequabilidade entre a população e os empregos. Os postos de empregos nas cidades, assim como outras oportunidades oferecidas no meio urbano, como os serviços educacionais e de saúde, possuem capacidade restrita. A competição entre a população, resultante dessa característica, possui uma dimensão espacial que deve ser tratada de alguma forma nos métodos de análise espacial. Já a adequabilidade se refere a correspondência entre o tipo de emprego e as condições sócio-ocupacionais da população. A noção de adequabilidade é complementar a de competição, já que ao considerar-se a primeira, a última passa a ocorrer entre pares de categorias da população e dos empregos que são correspondentes entre si.

Os indicadores de acessibilidade aos empregos existentes na literatura tendem a ser calculados a partir de escalas espaciais agregadas, como zonas de tráfego. Guardadas as suas virtudes, esse tipo de abordagem possui limitações que poderiam ser melhor desenvolvidas. Uma delas se deve ao fato de que os indicadores não captam adequadamente em seus resultados a diferenciação espacial decorrente da configuração da malha urbana, entendida como uma propriedade da forma das cidades contida em sua rede espacial. Outra limitação é que esses indicadores tendem a fornecer resultados altamente agregados, do ponto de vista espacial. Apesar de satisfazerem as pesquisas que os originaram, a agregação dos seus resultados tende a limitar as possibilidades de compreensão do fenômeno quando os casos empíricos são restritos em tamanho, como é o caso das cidades médias e pequenas.

Além disso, de acordo com o amplo e atual estudo denominado *Desigualdades Socioespaciais de Acesso a Oportunidades*, desenvolvido por pesquisadores do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (PEREIRA et al., 2019), a pesquisa sobre acessibilidade urbana no Brasil tem se limitado a estudos de caso em algumas poucas cidades, e ainda são raros os estudos que fazem análises comparativas. As análises existentes carecem de tentativas de desenvolver indicadores sintéticos que reflitam adequadamente a disparidade geográfica entre a população e os empregos em diferentes cidades, e que possam dar suporte à construção de índices de desigualdade quanto à acessibilidade aos empregos no âmbito intermunicipal, ou mesmo regional. Este trabalho procura construir alternativas a esse cenário, esforçando-se para desenvolver e implementar instrumentos que permitam realizar análises comparativas.

Esta pesquisa se insere no campo da modelagem urbana de enfoque configuracional e se propõe a desenvolver uma abordagem alternativa aos estudos existentes, conciliando potencialidades de diferentes campos de pesquisa. A adoção da abordagem configuracional vai ao encontro da incorporação do enfoque sistêmico no desenvolvimento de indicadores de desempenho urbano, o que permite descrever de modo relacional características de dinâmica socioeconômica, interações socioespaciais e morfologia urbana (BERTUGLIA et al. 1994; GHENO,

2009; KRAFTA, 2014; NETTO; KRAFTA, 2009). Esse tema tem sido um dos focos de estudo do grupo de pesquisa denominado *Sistemas Configuracionais Urbanos* do PROPUR/UFRGS, e esta pesquisa contribui com esse acúmulo de conhecimento ao introduzir novas possibilidades de modelagem direcionadas ao tratamento da acessibilidade aos empregos.

1.2 QUESTÕES E HIPÓTESE DA PESQUISA

As questões que se colocam para serem respondidas pela pesquisa são as seguintes:

- (1) Como analisar a acessibilidade aos empregos levando em conta a configuração da malha urbana, a competição pelos empregos e a adequabilidade entre a população e os empregos?
- (2) Como comparar padrões intraurbanos e padrões entre cidades no que se refere a acessibilidade da população aos empregos?

A hipótese tomada é a de que, partindo-se de métodos de análise configuracional, é possível quantificar e avaliar a acessibilidade aos empregos de modo sistêmico, incluindo certos fatores teóricos envolvidos no fenômeno e permitindo a comparação entre sistemas urbanos.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo principal da pesquisa é desenvolver um método baseado na abordagem configuracional que permita descrever e comparar níveis de acessibilidade aos empregos em sistemas urbanos. Os objetivos secundários da pesquisa e os procedimentos empregados para atingir esses objetivos constam no Quadro 1.1:

Objetivos secundários	Procedimentos empregados
(1) Desenvolver uma medida configuracional para descrever a acessibilidade aos empregos, considerando a competição pelos empregos e a adequabilidade entre os empregos e a população.	Definir matematicamente um indicador de acessibilidade aos empregos a partir de um sistema descritivo desagregado, buscando representar as variáveis mencionadas.
(2) Sistematizar um método de análise que permita comparar a acessibilidade aos empregos presente em diferentes sistemas urbanos, tanto na escala intraurbana quanto na escala global.	Desenvolver uma normalização da medida proposta e definir indicadores sintéticos que descrevem o comportamento geral dos sistemas em relação ao fenômeno sendo abordado.
(3) Verificar a sensibilidade dos indicadores propostos em refletir diferenças nas características e atributos dos sistemas urbanos representados.	Conduzir experimentos com redes teóricas, isolando as diferentes variáveis intervenientes nos indicadores e verificando como cada uma influencia os resultados.
(4) Testar a abordagem proposta em estudos empíricos, utilizando dados reais de cidades brasileiras.	Aplicar as abordagens propostas a duas cidades médias brasileiras situadas no estado do Rio Grande do Sul: Pelotas e Passo Fundo.

Quadro 1.1 Objetivos secundários da pesquisa e respectivos procedimentos empregados.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi dividida em seis capítulos, sendo o primeiro esta introdução. O segundo apresenta a fundamentação teórica do trabalho. O terceiro capítulo descreve a construção teórica e metodológica do processo de modelagem proposto, apresentando seu desenvolvimento teórico, sua formulação matemática e sua implementação computacional. O quarto reporta os resultados da aplicação da metodologia proposta a redes teóricas, demonstrando as propriedades dos indicadores e alguns modos de interpretação de seus resultados. O quinto capítulo apresenta a aplicação da abordagem aos casos empíricos e o sexto se refere às conclusões do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os tópicos teóricos que fundamentam a pesquisa, dividindo-se em três partes. A primeira contextualiza as noções de estrutura espacial urbana e acessibilidade aos empregos, pontuando importantes conceitos e indicadores desenvolvidos na literatura especializada. A segunda parte se refere às bases teórico-metodológicas da pesquisa, na qual as definições sobre a abordagem configuracional são explicitadas. A terceira parte trata da avaliação do desempenho da forma urbana, aprofundando-se especificamente em indicadores de acessibilidade baseados em modelos configuracionais urbanos.

2.1 ACESSIBILIDADE AOS EMPREGOS

O entendimento da cidade como uma *Estrutura Espacial Urbana* é um pressuposto para o tratamento da acessibilidade aos empregos. A estrutura espacial urbana resulta da interação entre as atividades urbanas no espaço urbano. As atividades urbanas se localizam e impactam o espaço, oportunizando a formação de centralidades funcionais, como polos de concentração de serviços e empregos (ANAS et al., 1998). Essas centralidades influenciam as densidades populacionais, o movimento e o preço da terra, criando condições desiguais para o processo de desenvolvimento urbano (PORTA et al. 2006a; 2006b; HILLIER; HANSON, 1984).

Por um lado, a distribuição dos empregos na estrutura espacial urbana tende a seguir padrões decorrentes dos critérios de decisão locacional relacionados às atividades econômicas que cada estabelecimento abriga (comércio, serviços, indústria, etc.). Por outro lado, a distribuição da população na estrutura espacial urbana também possui padrões específicos, muitas vezes regidos pela distribuição das atividades econômicas e dos empregos (VILLAÇA, 2001).

Já as localizações residenciais dos diferentes agrupamentos populacionais seguem padrões e tendências de segregação urbana. Cada agrupamento possui critérios de localização que são específicos e que têm relação com aspectos como preço da terra, poder de escolha de localização, níveis de acessibilidade às facilidades urbanas, externalidades de vizinhança e autossegregação.

Tomando o caso da segregação de origem socioeconômica, a população de renda mais alta tem maior poder de escolha de localização e tende a associá-lo a proximidade de vantagens e externalidades percebidas como positivas e a distância de externalidades percebidas como negativas. A população de mais baixa renda tem pouco ou nenhum poder de decisão locacional e, portanto, tende a ocupar localizações periféricas ou residuais (ABRAMO, 2007a; 2007b).

Esta primeira seção discorre sobre dois conceitos complementares e fundamentais para esta pesquisa: *Incompatibilidade Espacial* e *Acessibilidade aos Empregos*. São também elencados os modos como esses temas têm sido tratados em pesquisas atuais, explorando-se principalmente os tipos de indicadores espaciais voltados para o tratamento da acessibilidade aos empregos.

2.1.1 Incompatibilidade Espacial

A noção de *Incompatibilidade Espacial*⁶ se refere a disparidade geográfica entre a população com baixa qualificação profissional e as oportunidades de emprego compatíveis com esse segmento da população. O conceito, inicialmente introduzido por Kain (1968), define que a concentração de empregos em determinadas áreas e as limitações do poder de escolha residencial de certos grupos populacionais contribuem para a formação de zonas com significativo excedente de postulantes em relação aos empregos disponíveis.

A Hipótese da Incompatibilidade Espacial (SMH)⁷ é a de que o fenômeno tem implicações negativas sobre o mercado de trabalho da população envolvida (GOBILLON et al., 2007). Pesquisas vinculadas ao tema tendem a testar a hipótese buscando identificar se o fenômeno estaria associado a aspectos como desemprego, comprometimento dos baixos salários com custos de deslocamento, diminuição da mobilidade intergeracional e pobreza persistente⁸. Apesar de não ser a única causa desses últimos fatores, a literatura tem atestado que a disparidade geográfica entre concentrações de pessoas e empregos, fator chave do conceito de Incompatibilidade Espacial, possui influência significativa no acesso a empregos formais e na pobreza persistente através de gerações (BADINGER; URL, 2002; FILIZTEKIN, 2009; LYONS; EWING, 2021; RUPASINGHA; GOETZ, 2007; SANCHEZ, 2008; ZENOU, 2000).

De acordo com a revisão bibliográfica desenvolvida por Ihlanfeldt e Sjoquist (1998)⁹, a maioria dos resultados das pesquisas dá suporte a hipótese inicialmente postulada. Contudo, a significância do fenômeno para a determinação do desempenho da população no mercado de trabalho é variável e depende de aspectos como localizações, densidades e tamanho das áreas

⁶*Spatial Mismatch* ou *Spatial/Skill Mismatch*, no original em inglês. A grande maioria das pesquisas vinculadas ao tema tendem a se referir a ele nesse idioma, mesmo os trabalhos escritos em outros idiomas.

⁷*Spatial Mismatch Hypothesis* (SMH) (GOBILLON et al., 2007), no original em inglês.

⁸O conceito de *Mobilidade Intergeracional* está ligado a ideia de que uma pessoa pode pertencer a um grupo socioeconômico superior àquele em que nasceu. A diminuição da mobilidade intergeracional indica pobreza persistente e dificuldade de desenvolvimento socioeconômico das famílias (CORAK, 2013; LYONS; EWING, 2021).

⁹Referente às primeiras três décadas de estudo direcionado ao fenômeno (final dos anos 60 ao final dos anos 90).

estudadas, bem como diferenças dos sistemas de transporte e dos níveis de segregação residencial (IHLANFELDT; SJOQUIST, 1998).

Apesar de ter sido inicialmente apoiada no contexto da população negra nos Estados Unidos, pesquisas relacionadas ao tema têm abordado outros grupos populacionais historicamente desfavorecidos sob a ótica de realidades diferentes da norte-americana. De acordo com as localidades estudadas, aparecem pesquisas voltadas aos recortes de etnia (FERNANDEZ, 2008; PAINTER et al., 2007), renda (DELMELLE et al., 2021; WU et al., 2020, BARUFI; HADDAD, 2017), escolaridade (BITTENCOURT et al., 2020; CERVERO et al., 1995; GEURS; ECK, 2003) e gênero (MATAS et al., 2010).

Os sistemas de transporte urbanos e regionais influenciam significativamente a ocorrência do fenômeno. Cervero (1989) foi o precursor em articular a hipótese da Incompatibilidade Espacial ao campo dos estudos de planejamento integrado de transportes e uso do solo, estabelecendo relações entre o fenômeno e a mobilidade regional. O autor introduziu o constructo *Equilíbrio Emprego-Residência*¹⁰, definindo a necessidade de se chegar a um equilíbrio entre a quantidade de população e de postos de emprego em diferentes zonas urbanas, de modo que essas quantidades não fossem muito excedentes entre si.

Em estudos mais recentes, Cervero et al. (2002) e Sandoval et al. (2011) avançaram na relação entre as políticas de transporte e a capacidade da população em encontrar empregos nos Estados Unidos, identificando que a posse de automóvel motorizado e o nível de qualificação foram os principais fatores que determinaram o desenvolvimento socioeconômico da população. A pesquisa de Lyons e Ewing (2021), desenvolvida em escala nacional para os Estados Unidos, testou a relação entre a pobreza e o desemprego da população e uma série de variáveis. Os resultados demonstraram que as variáveis que mais tiveram efeito (inverso) sobre a pobreza e o desemprego foram, na seguinte ordem, *equilíbrio entre população e empregos* e *qualificação profissional das pessoas* (LYONS; EWING, 2021).

Para o Brasil, dois estudos recentes foram desenvolvidos por Haddad e Barufi (2016) para a Região Metropolitana de São Paulo e por Barufi e Haddad (2017) para 20 regiões metropolitanas brasileiras. Por um lado, as pesquisas não encontraram relação clara entre uma medida de acessibilidade aos empregos e a probabilidade da população em estar desempregada. Por outro lado, foi identificada uma relação clara entre baixas acessibilidades e baixos salários. Ou seja, a população que recebe os baixos salários precisa se deslocar muito para chegar ao local de trabalho.

A partir de uma revisão sobre a literatura que trata do fenômeno da Incompatibilidade Espacial, Gobillon e Selod (2014) propõem a delimitação de cinco mecanismos que explicam como a Incompatibilidade Espacial pode ser prejudicial às minorias étnicas e socioeconômicas:

¹⁰Jobs-housing balance, no original em inglês (CERVERO, 1989).

Mecanismo (1): se refere aos custos de deslocamento aos postos de trabalho. Postulantes podem recusar empregos muito distantes de sua residência pois os custos de deslocamento podem ser muito onerosos em relação aos salários oferecidos.

Mecanismo (2): se refere a eficiência da busca por empregos. A informação sobre a oferta de empregos diminui com o aumento da distância ao posto de trabalho, diminuindo a eficiência da busca da população residente em localidades distantes a eventuais novos postos. A limitação do alcance de informações sobre a oferta de empregos ocorre sobretudo para os empregos de baixa qualificação, pois o recrutamento tende a ocorrer em escala local.

Mecanismo (3): se refere aos custos da busca por empregos. A intensidade da busca em localidades distantes à residência dos postulantes é diminuída com os custos de deslocamento, sobretudo para pessoas que não dispõem de automóvel e que dependem do transporte público, muitas vezes ineficiente. Isso pode restringir a busca por empregos às proximidades da residência dos postulantes, ainda que as oportunidades sejam escassas.

Mecanismo (4): se refere ao impacto da distância entre postos de trabalho e postulantes no esforço da busca por empregos. Conforme os custos com habitação diminuem com a distância dos empregos, os postulantes que se encontram distantes dos empregos tendem a se sentir menos pressionados a procurá-los. Nesse caso, enquanto seus custos com moradia são menores, os postulantes admitem ficar desempregados por mais tempo do que se gastassem mais com aluguéis em áreas mais próximas aos postos de trabalho.

Mecanismo (5): se refere ao ponto de vista do empregador sobre a produtividade do empregado que reside em localidade distante. Postulantes que residem longe do posto de trabalho podem não conseguir a vaga pois o empregador admite uma maior probabilidade de o empregado chegar atrasado ou cansado em razão dos deslocamentos casa-trabalho.

Esses mecanismos indicam que, apesar de não ser a única, a variável espacial pode influenciar significativamente o desemprego e a pobreza por diversos motivos. Os autores sugerem novos estudos que testem esses mecanismos (GOBILLON; SELOD, 2014). De acordo com Ihlanfeldt e Sjoquist (1998), as pesquisas sobre a Incompatibilidade Espacial geralmente buscam avaliar o fenômeno a partir da relação de indicadores do mercado de trabalho (salários, ocupações, participação da força de trabalho, etc.) e indicadores espaciais de acessibilidade aos empregos. Esta pesquisa se aproxima deste tema de estudos na medida em que procura aprimorar os instrumentos analíticos de avaliação da incompatibilidade espacial entre a população e os empregos, a partir do desenvolvimento de indicadores de acessibilidade aos empregos. Esse último assunto será explorado na sequência.

2.1.2 Acessibilidade aos empregos

A ideia de *Acessibilidade aos Empregos* é central aos estudos sobre a incompatibilidade espacial, pois é capaz de articular os principais fatores espaciais envolvidos. Nos estudos urbanos

e regionais, a noção de acessibilidade se refere, genericamente, à facilidade em alcançar bens, serviços, atividades e destinos, que, em conjunto, podem ser denominados oportunidades.

Acessibilidade, Acesso a Oportunidades ou, ainda, *Oportunidade Espacial*, costumam ser conceitos muito ligados a ideia de desempenho urbano em termos de Equidade e Justiça Espacial (FAINSTEIN, 2013; PEREIRA; et al., 2017; TALEN, 1998; TALEN; ANSELIN, 1998; KRAFTA, 2014). Esses conceitos relacionam os aspectos espaciais que interferem nas facilidades de deslocamento nas cidades e, em certa medida, no bem-estar, na satisfação de necessidades individuais e sociais e na expansão da liberdade de escolha da população (FARRINGTON, 2007).

A discussão sobre acessibilidade urbana remonta à década de 1950 e foi marcada pelo trabalho clássico de Hansen (1959), que conceituou acessibilidade como o potencial das oportunidades em gerar interação espacial. Mais tarde, Ingram (1971) definiu acessibilidade como a característica inerente a uma localização em superar determinado atrito espacial, como custo, tempo ou distância de deslocamento.

Existem diversas definições de acessibilidade que variam de acordo com o ponto de vista com que as especificidades teóricas do fenômeno são tomadas. Segundo Pereira et al. (2019), a noção de *acessibilidade urbana* difere da de *mobilidade urbana* e da de *microacessibilidade*, ainda que seja complementar a essas últimas. A mobilidade urbana foca nos padrões cotidianos de deslocamento reais que a população adota. O desenho universal, cujo foco é a microacessibilidade, volta-se para o projeto de espaço urbano sem barreiras, adequado à diversidade funcional dos usuários (PEREIRA et al., 2019). A noção de acessibilidade urbana tratada neste trabalho direciona-se à avaliação da capacidade com que a população pode acessar oportunidades caso as desejem, e não em capturar ou descrever seus deslocamentos reais nas cidades.

Partindo do entendimento da cidade como um sistema complexo, a acessibilidade aos empregos pode ser inserida em uma estrutura conceitual composta por três subsistemas: o da população, o dos empregos e o dos deslocamentos (BATTY, 2009; CHENG; BERTOLINI, 2013). A ideia de acessibilidade aos empregos pode ser entendida como a condição de maior ou menor facilidade com que a articulação de sistemas de atividades urbanas (usos do solo) e de deslocamentos (diferenciação espacial e meios de transporte) permitem com que grupos de indivíduos acessem empregos (GEURS; WEE, 2004). De modo similar, Handy e Niemeier (1997) compreendem que a acessibilidade é configurada pela geografia, magnitude, natureza, qualidade e variedade das atividades localizadas nos destinos potenciais. Conforme os autores “[...] quanto menor o tempo e o custo gasto com deslocamentos, quanto mais lugares forem alcançados com determinado custo, maior é a acessibilidade” (HANDY; NIEMEIER, 1997, p. 1175, tradução nossa).

Três importantes mecanismos teóricos que a literatura recente vem advogando sobre a noção de acessibilidade aos empregos são o *decaimento da distância*, a *competição* e a *adequabilidade*. Esses mecanismos possuem enorme relevância para a questão da acessibilidade aos empregos e da incompatibilidade espacial.

O decaimento da distância consiste na ideia de que sempre existirão diferentes níveis de desencontro espacial entre pessoas e oportunidades, representados pelo custo, tempo ou distância de deslocamento, que são fatores inversos à acessibilidade. A literatura especializada vem atestando, desde trabalhos clássicos como os de Hansen (1959) e Ingram (1971), com base no comportamento empírico dos padrões de deslocamento urbanos e regionais, que a relação de distância entre locais de origem e destino e a disponibilidade das pessoas em se deslocar não é linear. Em outras palavras, a distribuição das frequências dos deslocamentos nas escalas intraurbanas, e mesmo regionais, tende a ser mais elevada para localizações mais próximas do que para localizações mais distantes. Mais detalhes sobre essa questão serão tratados no item 2.1.3.

Quando algum tipo de funcionalidade urbana tem oferta limitada, é provável que haja competição entre os indivíduos que a buscam. Em termos espaciais, a competição entre as oportunidades e a população se projeta na distribuição desigual dos usos do solo urbano. Essa competição baseada em localização pode ocorrer tanto do lado da demanda, quando as oportunidades se tornam escassas, quanto do lado das oportunidades, quando a demanda se torna escassa (CHENG; BERTOLINI, 2013; DAI et al., 2018; GEURS, 2018). A competição pelo lado da demanda é marcante na determinação da acessibilidade aos empregos nas cidades latino-americanas, em função das altas taxas de desemprego. A competição pelo lado da oferta não é dominante, sobretudo porque a competição por postulantes tende a acontecer somente para cargos especializados (CHENG; BERTOLINI, 2013; GEURS; WEE, 2004; HORNER, 2004). Desse modo, avaliar a acessibilidade aos empregos requer que, sobretudo a competição pelo lado da demanda, seja levada em conta (LEVINSON; KING, 2020; MERLIN; HU, 2017).

Outra noção importante para a acessibilidade aos empregos é a de adequabilidade. Nesse caso, parte-se da ideia de que, nas cidades, existem indivíduos com uma grande variedade de preferências e condições sociais em termos da procura por atividades, bem como existem atividades variadas distribuídas espacialmente de modo desigual. Foi em vista disso que Bertolini et al. (2005, p. 209) conceituaram acessibilidade como “a quantidade e diversidade de lugares que podem ser alcançados em determinado tempo ou custo de viagem”. Os empregos não são igualmente compatíveis e desejáveis por todas as pessoas e certos tipos de empregos são destinados a uma população específica (CHENG; BERTOLINI, 2013). Adequabilidade está, portanto, muito associada a ideia de Incompatibilidade Espacial (*Spatial/Skill Mismatch*), sugerindo que a acessibilidade deve ser compreendida não só como a proximidade entre pessoas e empregos, mas também que essa deve estar associada à satisfação de condições sócio-ocupacionais, níveis educacionais, expectativas salariais, dentre outros (CERVERO et al., 1995; GEURS; ECK, 2001; MATAS et al., 2010; WANG, 2003).

2.1.3 Indicadores de acessibilidade

Os conceitos de acessibilidade têm sido utilizados para embasar a construção matemática de indicadores espaciais, constituindo uma enorme gama de métodos para operacionalizar a sua

mensuração. Os indicadores possuem diferentes níveis de complexidade, combinações de fatores e tipos de discretização do sistema espacial, sendo que cada método emprega foco em aspectos que não são inteiramente capturados por outros (GEURS, 2018; LEVINSON; KING, 2020).

A maioria dos indicadores se baseia na discretização do espaço estudado com base em zonas de tráfego: um sistema de unidades espaciais poligonais às quais os dados são agregados. Na maioria dos casos, as zonas são delimitadas a partir de organizações territoriais pré-estabelecidas como bairros e distritos ou unidades censitárias das cidades. Em outros casos, são criadas representações próprias, seguindo critérios que variam de acordo com o estudo. Os indicadores espaciais utilizados para a avaliação da acessibilidade aos empregos podem ser organizados em pelo menos duas categorias: dos indicadores isócronos e dos indicadores de potencial (LEVINSON; KING, 2020; GEURS, 2018; KRAJZEWICZ et al., 2017; NEUTENS et al., 2010; TALEN; ANSELIN, 1998).

Os indicadores isócronos mais utilizados são os indicadores de distância ou tempo mínimos (DMIN – *minimum distance* ou TMIN – *minimum time*) e o indicador de oportunidades cumulativas (CUM) (BARBOZA et al., 2021). Os dois primeiros denotam a distância (DMIN) ou o tempo de viagem (TMIN) mínimos entre localizações residenciais e a localização da oportunidade mais próxima. O indicador de oportunidades cumulativas (CUM) captura o número de oportunidades acessíveis desde uma localização residencial dentro de um raio de distância, custo ou tempo de deslocamento estabelecido. Os indicadores isócronos possuem as vantagens de serem de fácil operacionalização e interpretação, além de não requererem um volume excessivo de dados. Não obstante, eles possuem algumas limitações teóricas quanto a fatores importantes que influenciam a mensuração da acessibilidade aos empregos. Um deles é que essas medidas não levam em conta a variável competição. Além disso, elas não consideram a percepção da população quanto às distâncias de deslocamento nem a noção de adequabilidade, assumindo que as oportunidades são igualmente desejadas por toda a população. Apesar disso, em razão das vantagens anteriormente apontadas, o indicador de oportunidades cumulativas (CUM) é muito utilizado recentemente: veja Barboza et al. (2021), Boisjoly et al. (2020), Boisjoly e El-Geneidy (2017), Hernandez (2018), Hernandez et al. (2020), Pereira et al. (2019) e Deboosere e El-Geneidy (2018), por exemplo.

Os indicadores de potencial são aqueles baseados em modelos gravitacionais. Os modelos gravitacionais são usados para analisar e prever padrões de interação espacial e recebem esse nome em analogia à lei da gravidade, em que a força de atração entre dois corpos é proporcional às suas massas e inversamente proporcional ao quadrado de sua distância. Em termos espaciais, isso significa considerar que as interações entre duas localizações dependem de um fator de grandeza que as caracteriza (tamanho, atratividade, quantidade, etc.) e enfraquecem quanto maior for a distância entre elas. Uma das primeiras e mais simples medidas de acessibilidade baseadas em modelos gravitacionais foi intuída por Hansen (1959).

Os indicadores de potencial geralmente adotam uma função não linear de decaimento da distância, a fim de capturar de modo mais preciso os padrões de viagens e as preferências da população nos deslocamentos. Diversas funções de decaimento da distância têm sido utilizadas para representar esse fenômeno, de acordo com o contexto empírico estudado. As funções que mais correntemente descrevem os padrões de viagem são a função exponencial (HANDY; NIEMEIER, 1997; WILSON, 1971) e, sobretudo, as funções normal e normal generalizada (FERRARI et al., 2021; INGRAM, 1971; REGGIANI et al., 2011). A determinação da função de decaimento da distância influencia significativamente os resultados dos indicadores. O tipo de função a ser adotada e a estimação dos seus parâmetros de ajuste são determinados através de dados empíricos sobre os deslocamentos na área estudada (cidade, região, etc.), o que depende da existência de pesquisas do tipo origem-destino para essa área.

Apesar disso, raramente as cidades dispõem de dados que permitam estimar os parâmetros de ajuste, sobretudo as cidades não metropolitanas. De acordo com Levinson e King (2020), a melhor alternativa a isso é a utilização da função recíproca. Nesse caso, a variável distância é tomada simplesmente pelo seu inverso para o cálculo da acessibilidade.

Os indicadores de potencial têm sido adotados alternativamente aos isócronos, em razão de superarem algumas de suas limitações teóricas. Dentre elas, pode-se citar que os primeiros permitem a incorporação de um fator de percepção da população sobre longas distâncias de deslocamento e sobre o sistema de transportes por meio da função de decaimento, bem como da incorporação da magnitude das oportunidades sendo ofertadas. Alguns indicadores de acessibilidade que consideram a competição pelas ofertas têm sido propostos através da adaptação dos fatores inversos de equilíbrio¹¹ presentes na família de modelos de interação espacial de Wilson (1971).

Existem diversos esforços em adaptar os indicadores de potencial de modo a incorporar os efeitos da competição entre a população pelos empregos e vice-versa, como em (CHENG; BERTOLINI, 2013) Allen e Farber (2019), Barboza et al. (2021), Cheng e Bertolini (2013), Dai et al. (2018), Kelobonye et al. (2020), Luo e Wang (2003), Roy e Thill (2004) e Shen (1998). Os trabalhos baseiam a aferição da acessibilidade na ideia de que o efeito da demanda desempenha um papel inverso ao da oferta. Ou seja, que a competição pelos empregos aumenta conforme aumenta a magnitude das demandas nas proximidades das ofertas de emprego.

A questão da adequabilidade tem sido tratada de duas principais formas em indicadores de acessibilidade aos empregos. A primeira consiste em medir separadamente a acessibilidade de cada grupo populacional a cada tipo de oferta (BARBOZA et al., 2021) (ex.: pessoas com baixo nível de qualificação e empregos que requerem baixo nível de qualificação), e posteriormente comparar o desempenho de cada grupo, ou do mesmo grupo em diferentes localidades. Para isso,

¹¹O desenvolvimento da primeira abordagem desse tipo é atribuída à Williams e Senior (1978 apud GEURS, 2018).

é necessário que os resultados dos indicadores sejam capazes de endereçar esse tipo de comparação, sem refletir características como os tamanhos dos sistemas e dos grupos.

A segunda consiste em considerar que a diversidade de tipos de emprego em determinada zona é um fator que implica no incremento da acessibilidade dessa zona (CHENG; BERTOLINI, 2013; DAI et al., 2018). Entende-se, no entanto, que a primeira forma é mais adequada para tratar o fenômeno da incompatibilidade espacial, pois a diversidade de tipos de empregos em uma zona não significa necessariamente que um grupo populacional específico seja especialmente favorecido por essa diversidade. Por exemplo, não parece plausível postular que a população com baixa qualificação tenha algum privilégio com o fato de haver diversos tipos de emprego nas suas proximidades, uma vez que o que elas necessitam são os empregos que aceitem trabalhadores com baixa qualificação.

2.2 MODELOS URBANOS CONFIGURACIONAIS

Modelos urbanos são representações simplificadas da realidade e são geralmente adotados para descrever fenômenos urbanos complexos (BATTY, 2013; PORTUGALI, 2011). Ao expressar as principais características do fenômeno, eles fornecem um quadro simplificado e inteligível da realidade e permitem a exploração e o teste de hipóteses (BATTY, 2007; ECHENIQUE, 1976).

O tipo de modelo envolvido nesta pesquisa, conforme a definição de Batty (2007), é simbólico, matemático e digital. É simbólico e matemático pois as características da realidade modelada são mapeadas através de símbolos (ex.: ruas de uma cidade são representadas por linhas) e as relações se expressam através de operações matemáticas. É digital pois, ao invés de envolver experimentações na cidade real, é construído a partir de simulações computacionais.

Modelos também podem representar um instante no tempo (estáticos), assim como mostrar como um fenômeno se modifica ao longo do tempo (dinâmicos) (ECHENIQUE, 1976). O modelo proposto nesta pesquisa busca caracterizar a acessibilidade aos empregos para sistemas urbanos em um momento específico no tempo, apesar de ser capaz de dar suporte a comparação do comportamento de sistemas urbanos desde diferentes recortes temporais.

A abordagem desenvolvida se refere a modelagem configuracional urbana. Essa abordagem permite que sistemas urbanos sejam representados considerando-se somente suas relações de conectividade interna, refletindo interações entre elementos existentes no ambiente espacial. A abordagem é muito utilizada para descrever e analisar a estrutura morfológica e configuracional urbana (CRUCITTI et al., 2006; FARIA, 2010; HILLIER; HANSON, 1984; JIANG, 2007; JIANG; CLARAMUNT, 2004; PORTA et al., 2006a; 2006b) e é reconhecidamente adequada para representar fenômenos vinculados a distribuição geográfica de atributos sócio-funcionais urbanos (ex.: densidades populacionais, serviços e equipamentos) (KRAFTA, 1994, 1996, 2014; KRÜGER, 1979; SEVTSUK; MEKONNEN, 2012), bem como expressar as interações entre esses atributos.

Nos modelos configuracionais urbanos, adota-se um abordagem sistêmica, perspectiva científica fundada na *Teoria Geral dos Sistemas* (BERTALANFFY, 1968). Um sistema é compreendido por um conjunto de elementos interdependentes, de modo que a alteração de quaisquer de suas partes conduz à mudança de estado do sistema como um todo (ECHENIQUE, 1976; MARTINS; THEÓPHILO, 2009). O enfoque sistêmico é extremamente conveniente para simular estados e processos dinâmicos de redes espaciais urbanas. Esta seção procura contextualizar questões teórico-metodológicas vinculadas à abordagem configuracional, elencando os aspectos mais diretamente relacionados ao problema da pesquisa.

2.2.1 Grafos e redes

A teoria dos grafos é a linguagem mais usualmente utilizada para analisar redes espaciais. Trata-se de um campo da matemática que estuda propriedades combinatórias de constructos artificiais denominados grafos. A seguir, são feitas algumas definições da teoria dos grafos, encontradas em Freeman (1977, 1979), Wasserman e Faust (1994), Faria (2010), Bianconi (2018) e Aleta e Moreno (2018), usualmente empregadas no estudo de redes espaciais, e que serão exploradas nesta pesquisa.

Um grafo G é um par ordenado de conjuntos disjuntos V e E , definido matematicamente como $G = (V, E)$, onde V é um conjunto discreto de elementos v denominados vértices, e $E \subseteq v, v$ é um conjunto de elementos e definido por relações binárias entre pares de elementos v de V , usualmente denominados ligações. Se E for um conjunto não-ordenado, o grafo é não-direcionado, enquanto que se for um conjunto ordenado, o grafo é direcionado.

As relações entre os vértices de um grafo são usualmente representadas através de uma matriz de adjacências. A matriz de adjacências A de um grafo não-direcionado é uma matriz simétrica de $N \times N$, onde N é a ordem do grafo (definida como o número total de vértices do grafo ou como o tamanho do grafo). Nesse caso, a matriz de adjacências é composta por elementos a_{ij} , de modo que $a_{ij} = 1$ se existe uma ligação entre i e j , e $a_{ij} = 0$ se esta última não existe.

Se o grafo é direcionado, a matriz de adjacências A passa a ser assimétrica, de modo que a_{ij} seria igual a 1 somente se houvesse uma ligação que começa em i e termina em j . Por essa razão, em um grafo direcionado, geralmente, mudanças no vértice em que a ligação termina geram efeitos no vértice em que a ligação começa, mas mudanças no vértice em que a ligação começa não afetam diretamente o vértice em que ligação termina, apesar ser possível que haja efeitos sobre esse último a partir de outros vértices.

Um grafo pode ainda ser não-valorado ou valorado. Em um grafo valorado, aos vértices e ligações são atribuídos valores numéricos diferenciados, de modo a representar suas capacidades variáveis de influenciarem no comportamento da rede. Um grafo que possui valores equivalentes para todos os elementos de V e E é denominado não-valorado.

Na aplicação desses recursos à análise de redes espaciais urbanas, grafos direcionados podem representar relações complementares de demanda e oferta de uma funcionalidade urbana. O artifício de valoração de vértices pode também ser utilizado para diferenciar a magnitude, natureza ou qualidade das mesmas demandas e ofertas. A abordagem desenvolvida nesta pesquisa se baseia em grafos direcionados e valorados.

As noções de percurso e distância são especialmente importantes para a aplicação da teoria de grafos à resolução de problemas vinculados a redes espaciais. Um percurso é um conjunto de ligações sucessivamente adjacentes. O comprimento de um percurso é o número de ligações pertencentes a ele. Um caminho é um tipo específico de percurso, no qual todos os vértices e ligações são distintos entre si.

As distâncias entre os vértices de um grafo podem ser obtidas de diferentes formas. A geodésica entre um par de vértices i e j é o menor caminho entre o par. O comprimento da geodésica entre um par de vértices é denominado distância geodésica. A distância topológica é definida como o menor número de ligações necessárias para conectar i e j . Um passo topológico é o comprimento do percurso entre dois vértices adjacentes. No estudo de redes espaciais urbanas, utiliza-se o artifício de valoração das ligações do grafo com a distância real (euclidiana) entre pares de vértices. Esta é alternativamente denominada distância geométrica ou métrica. Nesse caso, a matriz de adjacências A que compõe o grafo equivalente é definida por elementos $a_{ij} = w$, sendo w as distâncias métricas entre pares de vértices i e j , que podem ser variáveis.

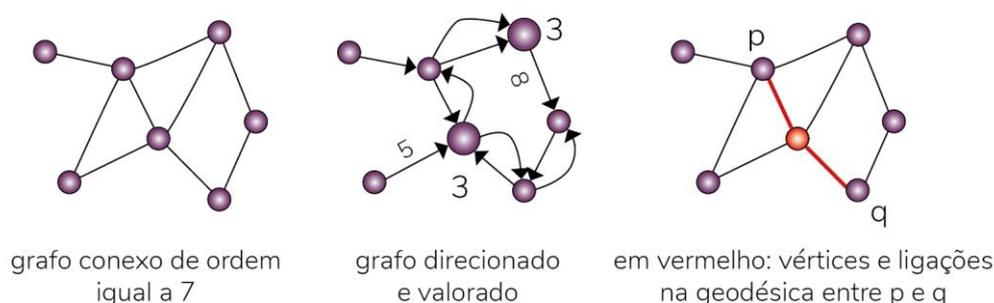


Figura 2.1 Exemplos de conceitos da teoria dos grafos.

Existem diferentes formas de denominar a situação de um vértice do grafo em relação à sua distância aos demais vértices. Um vértice é o centroide de um grafo quando ele apresenta a mínima soma de distâncias a todos os demais vértices. A excentricidade de um vértice pode ser definida como a maior distância geodésica que o separa de qualquer outro vértice da rede. Portanto, um vértice é periférico quando ele apresenta a máxima excentricidade da rede.

Um grafo é conexo quando existe pelo menos um percurso entre todo e qualquer par de vértices. Já a ideia de atingibilidade se refere a pares de vértices. Em um grafo, um vértice i é atingível a partir de um vértice j quando existe uma sequência de ligações que inicia em j e termina em i . Para este estudo, assim como para a maioria dos estudos aplicados a redes espaciais, grafos

são sempre conexos e todos os vértices das redes são atingíveis entre si. A Figura 2.1 ilustra alguns dos conceitos descritos nesta seção.

2.2.2 Descrição de redes espaciais urbanas como grafos

A noção de rede espacial urbana será tratada nesta pesquisa por meio da ideia de grafo urbano: uma discretização sintética do espaço urbano, na qual parcelas do espaço público aberto e do espaço construído são representadas pelos vértices e a permeabilidade entre os espaços é representada pelas ligações (KRAFTA, 1994; KRÜGER, 1979). A partir desse entendimento, artifícios provenientes da teoria dos grafos podem ser empregados para descrever propriedades de redes espaciais urbanas na forma de medidas de centralidade, como será visto.

A conversão do sistema urbano em uma representação composta por unidades espaciais é uma etapa fundamental da modelagem configuracional urbana. A definição de critérios de discretização do sistema urbano deve estar associada ao nível de desagregação espacial desejada e à sua adequação ao fenômeno abordado. O modo como o sistema é discretizado determina a topologia do grafo equivalente e, portanto, incorpora grande parte dos resultados das análises.

Independentemente do tipo de critério adotado, a topologia da rede está intimamente vinculada às características morfológicas da área estudada, estabelecendo uma forte sensibilidade entre as análises e seus respectivos resultados com a forma urbana. Existe uma porção de critérios para discretizar o espaço de modo a abordar o sistema urbano como rede. Três dos critérios de discretização mais usuais são: por axialidade, nodalidade e conectividade (KRAFTA, 2014).

Para a discretização por axialidade (HILLIER; HANSON, 1984), a unidade espacial é a máxima linha de visão, denominada de *linha axial*. No mapeamento resultante, a conexão entre unidades é definida pelo cruzamento das linhas axiais. O critério de discretização por axialidade é muito utilizado nos estudos da área da *Sintaxe Espacial*, difundida sobretudo a partir de Hillier e Hanson (1984). O critério simula o modo como os espaços abertos públicos são estruturados a partir da visão (continuidade), em detrimento do seu caráter geográfico. No grafo equivalente, as linhas axiais são transformadas nos vértices e as conexões entre elas nas ligações, gerando um grafo reduzido em tamanho que deforma drasticamente a geografia da rede (veja a Figura 2.2).

Para a discretização por nodalidade (BATTY, 2004), a unidade espacial é um nó posicionado sobre a interseção de vias ou sobre pontos de deflexão utilizados para representar uma mudança significativa na linha de visão. No mapeamento resultante, a conexão entre unidades é definida por linhas, representativas dos trechos de rua que conectam os nós. O grafo equivalente é idêntico à representação discretizada do sistema e, portanto, o caráter geográfico da rede é integralmente preservado. Por esse motivo, a discretização por nodalidade é adequada para estudos em que distâncias reais (euclidianas) são importantes.

Na discretização por conectividade (KRÜGER, 1979), a unidade espacial é o segmento viário entre interseções, com a deflexão dos segmentos viários nas mudanças significativas da linha de

visão. No mapeamento resultante, a conexão entre unidades é definida pela justaposição das extremidades dos segmentos viários. No grafo equivalente, os pontos médios dos segmentos viários são transformados nos vértices e as ligações representam conexões entre os segmentos. A discretização por conectividade abarca uma distorção geográfica sutil e a razoabilidade de sua utilização quando a distância real (euclidiana) importa é questionável. Contudo, esse critério tem a virtude de gerar mapeamentos que facilitam a apreensão visual dos resultados das análises.

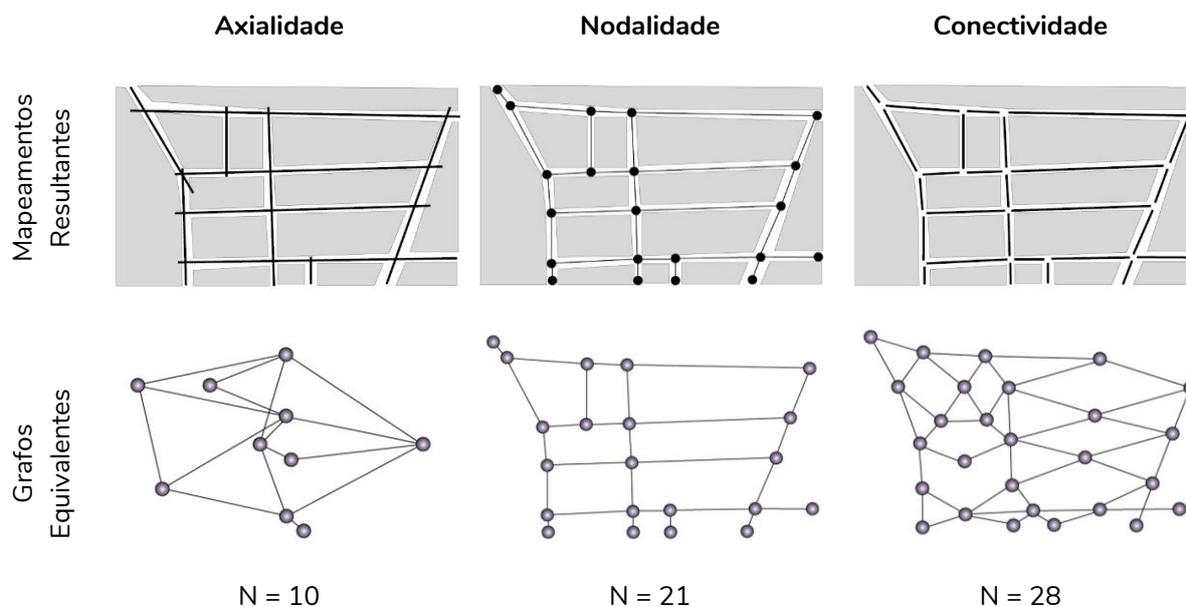


Figura 2.2 Critérios de discretização do sistema espacial e grafos equivalentes. Adaptado de Gonçalves (2011).

Enquanto a discretização por axialidade simula atributos de orientabilidade e estruturação visual do espaço urbano e embute boa parte dos resultados das análises no modo de representação espacial, os demais critérios priorizam descrições detalhadas das possibilidades de escolha de deslocamento dentro da rede. A característica de desagregação das discretizações por nodalidade e conectividade fornecem maior precisão para análises que introduzem valorações nos vértices e ligações da rede espacial urbana com carregamentos e custos diferenciais de deslocamento (impedâncias). A diferença é que no caso da nodalidade, os carregamentos são atribuídos aos nós e as impedâncias aos trechos entre os nós, enquanto que no caso da conectividade, ambos os atributos são compatibilizados em uma única unidade espacial: o segmento viário. A representação do espaço através de segmentos viários resulta em grafos urbanos sensivelmente maiores e mais detalhados que no caso dos nós (veja a Figura 2.2) além de possibilitarem que a modelagem se utilize de atributos de geometria das entidades (como comprimento, angulação, etc.). Pelos motivos citados, o critério de discretização por conectividade, cuja unidade espacial é o segmento viário, será adotado neste trabalho.

2.2.3 Centralidade em redes espaciais

No estudo de redes espaciais urbanas, existe um conjunto de medidas de centralidade que capturam propriedades e relações de conectividade indireta baseadas nos caminhos existentes

entre pares de vértices da rede. Elas servem para hierarquizar os vértices da rede a partir de sua capacidade em ser, a partir de alguma definição, central, assim como também podem ser capazes de descrever comportamentos globais das redes. Para as medidas de centralidade, é sempre necessário definir-se o percurso através do qual as relações entre os vértices serão medidas. Na imensa maioria dos casos, e como é o caso desta pesquisa, essas relações serão definidas estritamente pelo cômputo das distâncias geodésicas entre pares de vértices. Isso otimiza o processamento dos algoritmos computacionais que calculam as medidas para um grande sistema, ao passo que simula a racionalidade humana em economizar nos deslocamentos cotidianos.

Existem diferentes definições de centralidade em redes. Segundo autores como Aleta e Moreno (2018), Crucitti et al. (2006) e Krafta (2014), no estudo de redes espaciais urbanas, algumas das definições mais recorrentes advêm das noções de conectividade, intermediação, informação e proximidade. A medida de *Centralidade por Conectividade* define como centrais os vértices da rede que possuem maior número de ligações. A medida de *Centralidade por Intermediação* (FREEMAN, 1977) define como centrais os vértices que mais vezes compõem as geodésicas entre todos os pares de vértices da rede. Nesse caso, um vértice é central na medida em que serve como intermediário dos menores caminhos entre os demais vértices da rede. A medida de *Centralidade por Informação* (CRUCITTI et al. 2006; LATORA; MARCHIORI, 2007) toma como centrais os vértices com maior capacidade de interferir positivamente na eficiência da rede, de modo que a supressão desses vértices mais centrais, em termos de informação, incorreriam em uma maior perda de eficiência na rede.

O desenvolvimento da abordagem proposta nesta pesquisa está baseado na noção de proximidade. A medida de *Centralidade por Proximidade*¹² (BAVELAS, 1948; BEAUCHAMP, 1965; SABIDUSSI, 1966), expressa na Equação 1, assume como centrais os vértices que possuem a menor soma de distâncias entre si e com os demais vértices da rede. No estudo de redes espaciais, essa medida é correntemente denominada *Acessibilidade* (INGRAM, 1971), pois rebate a ideia por trás do conceito, descrevendo a facilidade com que um vértice pode ser alcançado a partir dos outros vértices da rede espacial. Quanto menor for a distância geodésica de um vértice a todos os demais vértices, em uma rede espacial, maior a sua acessibilidade.

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

onde A_i é a acessibilidade do vértice i e d_{ij} é a distância geodésica entre os vértices i e j , sendo que j é todo o vértice da rede com exceção de i .

A medida de *Acessibilidade* é vastamente utilizada nos estudos configuracionais, tendo como alguns dos seus expoentes Hillier e Hanson (1984), Crucitti et al. (2006) e Porta et al. (2006a;

¹²Em seus primeiros desenvolvimentos no campo das redes sociais, a medida era calculada pela distância direta (BAVELAS, 1948). A versão definida pelo inverso da distância foi formulada por Beauchamp (1965).

2006b), dentre muitos outros. Trata-se de uma medida que capta características de proximidade entre espaços urbanos, e se mostra apta a descrever características da estrutura espacial urbana relacionadas a níveis de facilidade de interação entre diferentes localizações.

Um aspecto importante a ser considerado é que os valores resultantes das medidas de centralidade não são padronizados. Os valores das medidas de centralidade para cada vértice de uma rede espacial são baseados no somatório de valores parciais, os quais são determinados pelo número total de vértices da rede. Ou seja, os valores integrais das medidas são sensíveis ao tamanho das redes espaciais urbanas em questão. Isso significa que os valores não podem ser utilizados para comparar estatisticamente o comportamento dos vértices de redes distintas nem o comportamento global de redes distintas em relação à propriedade sendo aferida.

Nos estudos de redes sociais e de redes espaciais urbanas, existem diversas abordagens orientadas para a normalização de medidas de centralidade¹³. O método mais comum de realizar a normalização das medidas é relativizando os seus valores resultantes com o valor máximo que um vértice pode assumir em uma rede de referência com ordem equivalente à cada rede sendo analisada. Para a medida de acessibilidade (Centralidade por Proximidade), a rede de referência mais usualmente utilizada é o *grafo completo*. Um grafo é completo quando possui a máxima conexidade possível, ou seja, todos os vértices são conectados entre si. Isso significa que o valor de acessibilidade dos vértices é máximo e igual a $N - 1$. Essa possibilidade de normalizar a medida (BEAUCHAMP, 1965) está expressa matematicamente na Equação 2.

$$A'_i = \frac{A_i}{N - 1} \quad (2)$$

onde A'_i é a acessibilidade normalizada do vértice i , A_i é o valor integral de acessibilidade do vértice i e N é a ordem do grafo equivalente.

Nos estudos urbanos, foram propostos alguns métodos de normalização mais robustos, se aproximando mais das características configuracionais de redes espaciais urbanas e dos critérios de discretização dos sistemas espaciais urbanos. Um exemplo disso é o método de normalização dos valores da medida de Integração (HILLIER; HANSON, 1984) desenvolvido por Teklenburg (1993). Nesse caso, a proposta é a de normalizar os valores da medida para sistemas urbanos descritos por meio de linhas axiais e coloca como rede de referência uma grelha perfeita de linhas axiais, cujo equivalente é um *grafo bipartido completo*. Para esse tipo de situação, o valor máximo da medida nessa rede de referência, utilizado para relativizar os valores correspondentes a redes reais sendo analisadas, é equivalente a $(3N - 4)/2$ para redes com um número par de vértices e $(3N^2 - 4N + 1)/2N$ para redes com um número ímpar de vértices.

As possibilidades de normalização comumente desenvolvidas, no entanto, se limitam a medidas baseadas em grafos não-valorados. Para o cálculo da medida de acessibilidade baseada

¹³Exemplos são os trabalhos de Beauchamp (1965) e Freeman (1977,1979) para redes sociais e Teklenburg (1993) e Faria (2010) para redes espaciais urbanas, dentre muitos outros.

em distâncias topológicas, no qual a distância entre pares de vértices é dada pelo número de ligações interpostas no caminho mínimo, esse método de normalização resulta em valores de acessibilidade para cada vértice entre 0 e 1, de modo que o valor 1 somente é atingido pelos vértices do grafo completo. Para o cálculo da mesma medida, porém baseada em distâncias métricas (medida de acessibilidade com valorações associadas às ligações do grafo correspondente), esse método de normalização não é absoluto, pois as distâncias entre os vértices não são equivalentes entre si, não se aplicando o intervalo de 0 a 1. Apesar disso, o método relativiza os valores de acessibilidade, refletindo a distância métrica média entre os vértices. Além disso, os estudos configuracionais também não têm se detido em desenvolver versões que padronizem medidas de centralidade que associam valorações aos vértices das redes, o que implica em deficiências nas possibilidades de comparação dos resultados das medidas para sistemas distintos.

2.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA FORMA URBANA

Com a crescente complexidade das questões urbanas e regionais, desde a década de 1960, tem sido crescente o desenvolvimento teórico e metodológico de sistemas de suporte à decisão para o planejamento, permitindo maior assertividade nas intervenções urbanas e na formulação de políticas públicas. Desde então, esses sistemas de suporte têm sido cada vez mais refinados com o avanço e a popularização dos *Sistemas de Informações Geográficas (SIG)* bem como com a crescente disponibilidade e possibilidade de manipulação de dados.

Por ser passível de ser avaliado, o desempenho da forma urbana tem sido um importante sistema de suporte à decisão que vem sendo desenvolvido na literatura recente. De acordo com Krafta (1997; 2014), o processo de avaliação tem a ver com a determinação do desempenho daquilo que está sendo examinado em relação a um sistema e uma escala de valores. Ou seja, depende de *indicadores* que afirmam o desempenho e de um *conjunto de valores sociais* pré-estabelecidos que contextualizem aquilo que os indicadores medem.

Nesta seção, serão discutidos, em um primeiro momento, critérios recorrentes de avaliação do desempenho urbano e sua relação com o tema discutido nesta pesquisa. Esses critérios representam conjuntos de valores sociais que têm sido levantados pelo planejamento urbano desde o início de sua prática. Em um segundo momento, é discorrido sobre indicadores de desempenho urbano, especificamente aqueles baseados em modelos configuracionais. Ao fim, são apresentados, de modo mais específico, os indicadores baseados em modelos configuracionais que possuem relação com o tema desta pesquisa.

2.3.1 Paradigmas de avaliação do desempenho urbano

Pelo menos desde a década de 1960, a avaliação do desempenho urbano tem se desenvolvido em diferentes fases, sendo que cada fase tendeu a priorizar algum aspecto em específico. Os aspectos que mais receberam atenção durante esse período foram *eficiência*,

equidade, qualidade espacial e sustentabilidade, constituindo-se de critérios sintéticos de avaliação do desempenho urbano (KRAFTA, 2014; NETTO; KRAFTA, 2009; 2010).

A perseguição da eficiência no meio urbano foi um tema emergente na década de 1960, evidenciada pelo desenvolvimento dos estudos de economia urbana¹⁴. A noção de eficiência urbana está muito ligada à maximização da utilidade e da renda e à provisão de serviços urbanos com vistas ao entendimento da cidade como um sistema a ser otimizado. A eficiência urbana pode ser buscada, por exemplo, no modo de implementação e operação de infraestruturas urbanas, no qual a eficiência ótima reside na minimização da extensão de redes de abastecimento e na maximização de sua abrangência. Outro aspecto em que a eficiência urbana está atrelada são as dinâmicas socioeconômicas, pois suas relações são definidas pelas possibilidades de interação moldadas pela rede espacial, gerando diferentes níveis de acessibilidade entre localizações. A eficiência nesses aspectos depende da distribuição espacial das atividades e da minimização de distâncias, ambas associadas à forma urbana.

Confrontando o pensamento economicista da eficácia de mercado e buscando a justiça social por meio da reparação das desigualdades socioespaciais, a *Equidade Espacial* tornou-se uma questão central na década de 1970¹⁵. Condicionada pela forma da cidade, a irreprodutibilidade das localizações urbanas implica em uma estrutura de valores de localização, que por sua vez, induz à competição pelas melhores localizações, geralmente condicionada por diferentes poderes de escolha da população envolvida. A equidade espacial está vinculada à mitigação das desigualdades sociais envolvidas nesse processo, sendo uma referência ética para o planejamento urbano quanto à distribuição justa dos benefícios (quem ganha) e dos custos (quem paga) envolvidos na ocupação do espaço urbano e no desenvolvimento urbano.

É importante destacar que a relação entre eficiência e equidade pode ser pensada como um paradoxo em certos casos, implicando na necessidade de equilíbrio entre os fatores em jogo nas tomadas de decisão. Por um lado, a alocação de recursos públicos na forma de equipamentos urbanos, por exemplo, pode ser feita de forma equânime, mesmo que não seja eficiente. Por outro lado, a alocação feita de modo eficiente implicaria em uma distribuição que prioriza o menor uso de recursos para atender um maior número de pessoas, o que, dependendo das características locais, não resultaria necessariamente em equidade espacial.

Já a noção de qualidade espacial foi um tema emergente da década de 1980, alertando para a avaliação das externalidades produzidas por determinadas ações sobre o ambiente e a vida urbana. Existem diversas externalidades que podem gerar impactos na qualidade espacial como a projeção de sombra por edifícios, congestionamento viário, violação de privacidade, urbanidade e

¹⁴São importantes contribuições desse época os modelos desenvolvidos por Lowry (1964) e Alonso (1964).

¹⁵O livro *Social Justice and the City* (HARVEY, 1973) foi um estudo pioneiro para a discussão do papel do espaço para a justiça social. São também importantes trabalhos na discussão sobre equidade social e espacial que merecem ser destacados: Fainstein (2013), Pereira et al., (2017), Rawls (1992) e Talen (1998).

geração de oportunidades. Como um fator de desempenho urbano, a qualidade espacial interfere na qualidade de vida da população. Em sua essência, a qualidade espacial faz referência a preferências individuais, e nesse sentido, a noção de diversidade poderia ser posta como uma importante qualidade espacial urbana, pois seria capaz de prover situações percebidas como positivas para diferentes pessoas (KRAFTA, 2014).

A sustentabilidade é uma categoria de desempenho urbano que despontou na década de 1990. É uma categoria que sumariza as demais, apesar de não as descartar, implicando em dificuldades de definição e tratamento em razão da enorme complexidade e extensão dos fatores intervenientes. A ideia de sustentabilidade pressupõe uma coexistência em equilíbrio instável de fatores sociais, econômicos, políticos, culturais e ambientais que seja capaz de ser sustentada ao longo do tempo. Segundo Netto e Krafta (2009), a sustentabilidade como um fator de desempenho inclui entendimentos das relações cidade-ambiente que considerem a subordinação da cidade à disponibilidade de recursos para retroalimentação das suas dinâmicas, bem como das externalidades negativas de tais dinâmicas sobre o ambiente, capazes de comprometer a continuidade do sistema urbano.

É interessante notar que todos esses paradigmas de avaliação do desempenho das cidades envolvem a forma da cidade e a sua configuração espacial. Daí a importância do desenvolvimento de abordagens desde esse ponto de vista. Além disso, cabe destacar que as noções complementares de *Incompatibilidade Espacial* e de *Acessibilidade aos Empregos*, vistas como situações urbanas cujos desempenhos são passíveis de serem avaliados, possuem relações importantes com as categorias de desempenho anteriormente discutidas.

Diferentes níveis de separação espacial entre as localizações residenciais e as localizações dos postos de trabalho podem indicar maior ou menor eficiência tanto para a população quanto para os empregadores. Essa situação também gera repercussões sobre questões de sustentabilidade, sobretudo nos âmbitos ambiental e socioeconômico. Um exemplo dessas repercussões tem relação com a intensidade de deslocamentos gerada pela existência de grandes distâncias entre esses pares de localizações urbanas.

O modo de distribuição da população e das atividades econômicas que suprem empregos na estrutura espacial urbana também pode, evidentemente, ser visto como um problema de equidade. Não obstante, isso depende do entendimento do que vem a ser uma distribuição justa e equânime dos postos de emprego e como seria possível intervir nessa questão para melhorá-la. Como os empregos são majoritariamente fornecidos pelo setor privado, a discussão sobre equidade e acessibilidade aos empregos está muito vinculada ao incentivo a alocação de empresas e de sistemas de transporte público de qualidade, estes sim capazes de serem mais facilmente gerenciados através de políticas públicas de modo a visar maior equidade no acesso aos empregos.

A noção de qualidade espacial, por sua vez, tem forte relação com a *Incompatibilidade Espacial*. Ser capaz de acessar oportunidades de emprego compatíveis com sua condição

ocupacional pode ser vista como uma qualidade das localizações sendo avaliadas. Por esse motivo, alguns estudos do campo da acessibilidade aos empregos tratam essa questão por meio da ideia de diversidade: quanto mais diversa for determinada zona em relação aos tipos de emprego ofertados, mais benéfico isso seria para a população, embora não signifique necessariamente que toda a população esteja contemplada pelas oportunidades.

Apesar de terem seus aspectos teóricos amplamente discutidos, esses paradigmas de avaliação do desempenho urbano necessitam de instrumentos que possibilitem sua análise. Como foi visto, esses instrumentos tendem a ser desenvolvidos na forma de indicadores urbanos.

2.3.2 Indicadores de desempenho urbano

Indicadores são instrumentos analíticos e estatísticos que tem a finalidade de aferir características de algum tema, identificando como esse tema é estruturado e como ocorrem modificações ao longo do tempo (BERTUGLIA et al., 1994; GONÇALVES, 2011; WONG, 2006). A utilização de indicadores para avaliar o desempenho urbano advém também da década de 1960, com o início da utilização extensa de indicadores econômicos (ex.: taxa de desemprego, renda per capita, PIB, etc.) e sociais (mobilidade social, taxa de mortalidade infantil, taxa de analfabetismo, etc.) para subsidiar decisões de planejamento.

Apesar de serem de enorme importância até os dias atuais, os exemplos citados são indicadores não espaciais. Para uma contextualização aprofundada sobre a evolução dos indicadores urbanos não espaciais, que fogem do foco deste trabalho, sugere-se a leitura de Gheno (2009). Cabe ressaltar também que os indicadores de acessibilidade mais comumente utilizados na área dos transportes, discutidos em profundidade no item 2.1.3, também podem ser postos como indicadores de desempenho urbano. No entanto, nesta seção, procura-se discutir o desenvolvimento de indicadores sistêmicos de desempenho urbano inseridos no campo da morfologia urbana. Uma contribuição notável para a concepção de um sistema de avaliação do desempenho urbano foi dada por Bertuglia et al. (1994), que elaboraram um quadro conceitual para desenvolver indicadores sistêmicos de desempenho urbano baseados em modelos.

Netto e Krafta (2009) revisitaram esses últimos autores e organizaram um sistema de avaliação do desempenho urbano que associa os critérios sintéticos de desempenho da forma urbana como eficiência, equidade, qualidade espacial e sustentabilidade às dimensões da forma urbana e da dinâmica socioeconômica. Esse tipo de abordagem está particularmente interessada em estabelecer análises de desempenho urbano focadas nas relações, ao menos parcialmente causais, entre as características morfológicas das cidades e os comportamentos da dinâmica espacial urbana (NETTO; KRAFTA, 2009).

O desenvolvimento de indicadores desse tipo tem sido uma referência para as pesquisas produzidas pelo grupo de pesquisa *Sistemas Configuracionais Urbanos*, do PROPUR-UFRGS. Diversos estudos vêm apontando para algumas limitações dos indicadores urbanos existentes e

trabalhando no sentido de aperfeiçoá-los a partir das metodologias da modelagem configuracional urbana. As limitações dos indicadores podem ser caracterizadas conforme três críticas principais.

A primeira crítica se refere às limitações dos indicadores que avaliam as partes do sistema urbano de forma isolada. Esses indicadores tendem a extrair medidas simples de proporção, como taxa de desemprego por zona urbana ou intensidade de presença ou de quantidade de determinado serviço por habitante dentro de uma zona urbana ou de um raio arbitrado, sem, contudo, explicitarem as relações entre as diferentes partes do sistema.

A segunda crítica está direcionada aos indicadores entendidos como pouco aptos a captar a influência da morfologia urbana, por estarem baseados em descrições de desempenho fixados em características superficiais da forma urbana, não havendo qualquer problematização das condições de conectividade ou acessibilidade inerentes à rede espacial urbana. Os indicadores baseados em zonas de tráfego discutidos no item 2.1.3 se enquadram nesta crítica. A discretização do sistema espacial através de zonas dificilmente seria capaz de incorporar em seus resultados os efeitos decorrentes das características da forma urbana e sua delimitação espacial geralmente se baseia em critérios arbitrários. Nesse caso, entende-se também que há uma significativa inadequação na avaliação do desempenho urbano, pois ela é baseada em aspectos muitas vezes não-sistêmicos, inviabilizando o entendimento da cidade a partir de suas dinâmicas e interações espaciais e a possibilidade de considerar cenários alternativos àqueles sendo avaliados.

A terceira crítica se refere à desagregação espacial das análises. O nível de desagregação espacial dos resultados dos indicadores é um fator chave para que seja possível mensurar fenômenos com independência ao tamanho do sistema em questão. Os estudos que adotam indicadores baseados em zonas de tráfego geralmente se detêm a grandes cidades, nas quais a agregação de dados em zonas é razoável. Em sistemas urbanos menores, no entanto, a artificialização dos resultados desses indicadores pode distorcer ou homogeneizar excessivamente o comportamento do fenômeno sendo abordado. Claro que a desagregação espacial não é uma qualidade em si e nem sempre é desejada. A abordagem configuracional se mostra como uma alternativa a essas questões, pois permite justamente que diferentes níveis de desagregação espacial sejam embutidos no critério de discretização do sistema espacial, mantendo-se sempre, de alguma forma, sensível às características da morfologia urbana.

2.3.3 Indicadores de acessibilidade baseados na abordagem configuracional

Existem três indicadores de acessibilidade baseados na abordagem configuracional que merecem ser aqui estacados. Eles são importantes pois embasaram o desenvolvimento do indicador proposto por este trabalho.

O modelo de Oportunidade Espacial, desenvolvido por Krafta (1996), é baseado em uma medida configuracional de acessibilidade direcionada que, como o próprio nome sugere, funciona como um indicador do privilégio locacional dos componentes de uma rede espacial urbana, que representam a população neles residente, em relação a um sistema de oportunidades ofertadas. A

Oportunidade Espacial de um componente i é igual à razão entre o carregamento das ofertas do componente j e a distância geodésica entre as entidades i e j (Equação 3).

$$OE_i = \sum_{i,j \in G} \frac{O_j}{d_{ij}} \quad (3)$$

onde OE_i é a Oportunidade Espacial do componente i , O_j é o carregamento das ofertas do componente j e d_{ij} é a distância geodésica entre os componentes i e j .

O carregamento das ofertas reflete a magnitude das oportunidades sendo ofertadas e as relações espaciais consideradas se limitam aos pares de componentes da rede que contém demandas e ofertas. Esse modelo tem sido aplicado em alguns estudos para avaliar o acesso da população a oportunidades como estabelecimentos comerciais, educacionais, de saúde, e a espaços de lazer como praças e parques urbanos (COSTA, 2016; FRANÇA, 2004; GHENO, 2009; MARASCHIN et al., 2017; SILVEIRA, 2019; GONÇALVES; MARASCHIN, 2021). O modelo não capta relações de competição decorrentes das variações na distribuição das demandas.

Gheno (2009) desenvolveu uma versão do modelo de Oportunidade Espacial ponderada pela população, procurando introduzir o fator de competição pelas oportunidades através de um componente de probabilidade, conforme a Equação 4. Parte do cálculo do indicador não está incorporada no seu algoritmo e, apesar de representar uma tentativa de introduzir a competição pelas oportunidades, o indicador não capta os efeitos dos componentes que contém demandas sobre outros componentes que contém demandas. Em outras palavras, parte do cálculo não é plenamente sistêmico já que descreve uma característica global como uma influência distribuída de forma homogênea a todos os seus componentes.

$$OEPP_i = OE_i / \frac{\sum O}{\sum D} D_i \quad (4)$$

onde $OEPP_i$ é a Oportunidade Espacial ponderada pela população do componente i , OE_i é a oportunidade espacial do componente i , $\sum O$ é o somatório dos carregamentos de oferta da rede, $\sum D$ é o somatório dos carregamentos de demanda da rede e D_i é o carregamento de demanda do componente i .

Mais recentemente, Gonçalves (2011) propôs um modelo de Acessibilidade Ponderada ($AceP$) (Equação 5). O modelo capta o nível de dispersão entre locais de residência e de empregos. Os componentes da rede com maiores valores são as localizações residenciais mais dispersas em relação aos empregos e que, portanto, possuiriam maior potencial de gerar deslocamentos.

$$AceP_i = \sum O_i D_j d_{ij} \quad (5)$$

onde $AceP_i$ é a acessibilidade ponderada do componente i , O_i é o carregamento das ofertas do componente i , D_j é o carregamento das demandas j e d_{ij} é a distância geodésica entre os componentes i e j .

Os indicadores de acessibilidade baseados em modelos configuracionais apresentados possuem as potencialidades de serem sistêmicos, de serem altamente referentes às características

da forma urbana e de apresentarem diversas possibilidades de desagregação espacial dos seus resultados. Contudo, eles poderiam ser melhor desenvolvidos de modo a tratar a questão da acessibilidade aos empregos. Um fator importante seria introduzir a noção de competição pelo lado da demanda de modo mais refinado e adequado, melhor endereçando o problema da incompatibilidade espacial em um modelo configuracional. Também ainda não houveram desenvolvimentos de abordagens que incorporassem aos métodos de análise a característica de adequabilidade entre ofertas e demandas de determinado serviço ou facilidade urbana. Outra importante limitação dos indicadores mencionados é que eles são influenciados pelo tamanho do sistema e pela magnitude dos carregamentos utilizados em sua calibração. Ou seja, eles não permitem que sejam comparados os desempenhos de componentes de sistemas distintos, limitando sua capacidade de embasar análises comparativas.

3 CONSTRUÇÃO DOS INDICADORES

Com base nos pressupostos e nas lacunas apontadas no capítulo anterior, este capítulo apresenta o método de análise proposto e os indicadores utilizados nesta pesquisa. Os indicadores são baseados em um modelo configuracional urbano definido como Acessibilidade Potencial (*AP*). Em um primeiro momento, os pressupostos teóricos para a construção do modelo, seguida pela sua formulação matemática e implementação computacional. Ao fim, é descrita a proposição de algumas variáveis que descrevem propriedades globais da rede, baseadas no indicador de Acessibilidade Potencial (*AP*).

3.1 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

O indicador de Acessibilidade Potencial (*AP*) foi formulado com base em alguns indicadores de acessibilidade aos empregos existentes na literatura (SHEN, 1998; CHENG; BERTOLINI, 2013). Ele também está referenciado nos indicadores de acessibilidade baseados em modelos configuracionais como o modelo de Oportunidade Espacial (KRAFTA, 1996). A sua construção visa estimar a acessibilidade aos empregos incorporando as noções de competição e adequabilidade, partindo do ponto de vista da avaliação do desempenho da forma urbana.

Com base na revisão de literatura apresentada no capítulo anterior, os seguintes pressupostos teóricos foram adotados para a construção dos indicadores:

- (1) Os níveis de separação espacial entre localizações promovem impactos na acessibilidade: quanto maior a distância entre a residência e o local de emprego, menor é a acessibilidade.
- (2) A forma urbana implica em hierarquias de acessibilidade decorrentes da diferenciação espacial, condicionando a relação residência-emprego. O tratamento da forma urbana como uma rede espacial permite que essas diferenciações sejam captadas

(3) O porte das empresas, ou a quantidade de postos de emprego oferecidos, interferem positivamente a atratividade pelos empregos e a oportunidade de acesso aos empregos.

(4) Existe uma lógica de competição por empregos baseada em localização que é decorrente do fato de que as ofertas de emprego são limitadas. Essa competição se intensifica quanto maior for a quantidade de postulantes residentes nas proximidades das localizações das ofertas.

(5) De acordo com a teoria da Incompatibilidade Espacial (Spatial/Skill Mismatch), a adequabilidade entre o tipo de emprego ofertado e a condição sócio-ocupacional da população é de extrema importância para a mensuração da acessibilidade aos empregos, pois a competição entre a população pelos empregos tenderia a ocorrer mais fortemente dentro de cada categoria (ex.: pessoas de baixa qualificação profissional e empregos destinados a essa população).

(6) O transporte coletivo é um modo importante para a acessibilidade aos empregos, sobretudo para grupos populacionais que tem restrições em sua mobilidade cotidiana, em razão da ausência de automóvel individual. Modos de transporte coletivo geram o efeito de “aproximar” localizações para muitas pessoas ao mesmo tempo e, portanto, de afetar positivamente a acessibilidade.

3.2 INDICADOR DAS PROPRIEDADES DOS COMPONENTES DA REDE

O indicador de Acessibilidade Potencial (*AP*) se baseia em um modelo configuracional de acessibilidade direcionada e valorada e seus valores finais são atribuídos a cada componente da rede espacial sendo analisada. Esta deve ser representada por meio do critério de discretização por conectividade, em que a unidade espacial é o segmento viário. As interações aferidas pelo modelo são restritas a pares ordenados de demandas e ofertas. Os vértices da rede são valorados com os carregamentos de demanda e de oferta e as ligações são valoradas com as distâncias euclidianas entre pares de vértices, ou seja, computam-se distâncias métricas.

As demandas se referem à população, em termos de suas localizações residenciais, e devem ser caracterizadas conforme magnitude e tipo – ex.: número de pessoas de baixa escolaridade. As ofertas se referem aos postos de empregos, definidos como um sistema de oportunidades com capacidade limitada e que, portanto, geram competição entre a população postulante. As ofertas devem ser caracterizadas conforme magnitude e tipo – ex.: número de postos de emprego destinados a população de baixa escolaridade. Conforme os exemplos dados, as análises feitas a partir desse indicador devem sempre ser feitas considerando a adequabilidade entre ofertas e demandas, ou seja, ofertas e demandas devem ser coincidentes entre si.

A Figura 3.1 ilustra o tipo de avaliação que o modelo busca fazer. Cada análise deve considerar as demandas e as ofertas dentro de uma mesma categoria. As setas da figura indicam o tipo de comparação que pode ser feita a partir dos resultados da modelagem, ou seja, podem ser comparados os desempenhos de diferentes categorias populacionais em relação aos empregos compatíveis para um mesmo sistema e também entre categorias de sistemas distintos.

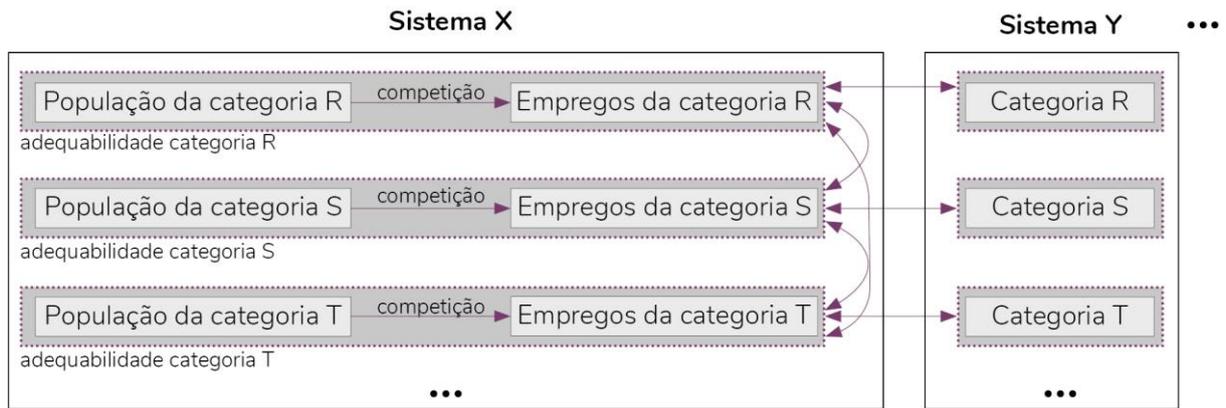


Figura 3.1 Esquema ilustrando os tipos de análises que podem ser feitas com o indicador. As setas indicam possibilidades de comparação entre grupos e/ou sistemas distintos.

O cálculo do indicador é feito em duas etapas. Primeiro calcula-se a Demanda Potencial (DP) (Equação 6) incidente em cada vértice j , que possui ofertas do tipo S , decorrente de sua interação com todos os vértices k , que contém demandas do tipo S . Trata-se de uma medida que caracteriza os componentes do sistema que contém ofertas, simulando a competição por essas ofertas de emprego. A DP do vértice j é igual ao somatório das razões entre os carregamentos das demandas em todos os vértices k e as distâncias geodésicas entre os vértices j e k .

$$DP_j^S = \sum_{\substack{j,k \in G \\ j \neq k}} \frac{D_k}{d_{jk}} \quad , \quad \forall k \in D, \forall j \in O \quad (6)$$

sendo $d_{jk} = \frac{l_k}{2}$ se $j = k$

onde:

- DP_j^S é a demanda potencial incidente nas ofertas do tipo S de todo vértice j a partir de sua relação com as demandas do tipo S de todo vértice k , sendo $j \neq k$
- D_k é o carregamento das demandas do tipo S de todo vértice k
- d_{jk} é a distância geodésica entre os vértices k e j
- l_k é o comprimento de k

A Demanda Potencial (DP) afere a competição sobre as ofertas (empregos) gerada pela demanda (população) existente no sistema. Quanto maior a magnitude e a proximidade das demandas dos vértices k em relação as ofertas dos vértices j , maior é a demanda potencial nos vértices j . Por isso, valores maiores de DP denotam maior probabilidade de haver competição pelas ofertas no vértice.

A Acessibilidade Potencial do vértice i , que contém demandas do tipo S , em relação às ofertas do tipo S dos vértices j (AP_i^S) (Equação 7) é o somatório das razões entre o carregamento das ofertas do vértice j e a Demanda Potencial incidente no vértice j (DP_j^S) multiplicada pela distância geodésica entre os vértices i e j .

$$AP_i^S = \sum_{\substack{i,j \in G \\ i \neq j}} \frac{O_j}{DP_j^S \cdot d_{ij}}, \quad \forall i \in D, \forall j \in O \quad (7)$$

$$\text{sendo } d_{ij} = \frac{l_i}{2} \text{ se } i = j$$

onde:

- AP_i^S é a acessibilidade potencial integral do vértice i , sendo que j é todo o vértice da rede com exceção de i , para todo o vértice i que contém demandas do tipo S e todo o vértice j que contém ofertas do tipo S .
- O_j é o carregamento das ofertas do tipo S no vértice j
- DP_j^S é a demanda potencial das ofertas do tipo S vértice j
- d_{ij} é a distância geodésica entre os vértices i e j
- l_i é o comprimento de i

O indicador de Acessibilidade Potencial (AP) é uma medida de acessibilidade direcionada e valorada cuja formulação matemática é definida sob três aspectos:

(1) Ela é uma medida que afere relações de proximidade baseadas nas distâncias existentes entre pares de componentes da rede que possuem ofertas e demandas de empregos. Essas distâncias são inversamente relacionadas à Acessibilidade Potencial, ou seja, maiores distâncias repercutem em menores valores da medida. Complementarmente, a medida possui dois ponderadores: o carregamento das ofertas e a demanda potencial nas ofertas.

(2) O carregamento das ofertas é uma variável diretamente relacionada à Acessibilidade Potencial. Quanto maior é o carregamento das ofertas de um vértice, maior tenderá a ser a AP dos vértices próximos que contém demandas.

(3) A demanda potencial é uma variável inversamente proporcional à Acessibilidade Potencial. Quanto maior é a demanda potencial incidente nos vértices que contém ofertas, menor tenderá a ser a AP dos vértices próximos que contém demandas. Em outras palavras, a demanda potencial ajusta os valores de AP dos componentes do sistema de acordo com a probabilidade de haver competição pelas ofertas.

Somente os componentes dos sistemas que contém demandas recebem valores de AP , indicando o desempenho da população neles residente em relação à acessibilidade aos empregos. Aos componentes que não contém demandas, o modelo atribui o valor zero.

Além disso, repare que, para o cálculo da Demanda Potencial (DP) e da Acessibilidade Potencial (AP), quando há ofertas e demandas no mesmo vértice, o modelo proposto assume que a distância entre o par é equivalente à metade do comprimento do segmento viário correspondente ao vértice. A metade do comprimento do segmento é tomada como a majoração da distância potencialmente percorrida desde o ponto médio do segmento até suas extremidades.

A propriedade de competição incorporada à medida pode ser mais facilmente compreendida através do exemplo ilustrado na Figura 3.2. Considerando um sistema hipotético composto por três unidades espaciais: A, B e C, a unidade A pode ser pensada como um centro de negócios em que existe um excedente de empregos em relação a população. A unidade B é um bairro populoso próximo ao centro, com um excedente de trabalhadores em relação aos empregos. E a unidade C é um bairro mais distante dos demais, com uma menor quantidade de população e de empregos e um equilíbrio entre essas duas variáveis. Na tabela da Figura 3.2, são apresentados os resultados da Demanda Potencial (*DP*) e da Acessibilidade Potencial (*AP*) em cada unidade, para diferentes valores da distância *d* (10, 20 e 30). A distância média percorrida dentro de cada unidade foi considerada como 1,5 para o exemplo do sistema hipotético.

	d = 10		d = 20		d = 30	
	DP	AP	DP	AP	DP	AP
A	8.43	1.111	8.38	1.109	8.37	1.107
B	11.77	0.999	11.72	0.996	11.70	0.993
C	2.67	0.766	1.67	1.002	1.33	1.193

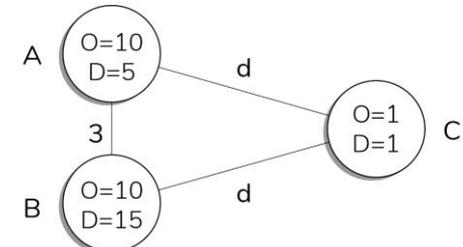


Figura 3.2 Resultados da medida para o sistema hipotético. “O” é a quantificação da oferta (empregos) e “D” é a quantificação da demanda (trabalhadores) em cada unidade. Adaptado de Shen (1998).

Apesar de A e B possuírem o mesmo valor de ofertas, a Acessibilidade Potencial (*AP*) de A é sempre maior que a de B. Isso porque existe um número menor de trabalhadores em A (menos competição) e porque uma parte dos trabalhadores de B precisam se deslocar para outra unidade para acessar os empregos. Já o valor de *AP* da unidade C depende da distância dela em relação às demais. No caso em que $d = 10$, o ranqueamento dos valores fica assim: $AP_A > AP_B > AP_C$. No entanto, quando $d = 20$ o ranqueamento muda para $AP_A > AP_C > AP_B$ e quando $d = 30$, $AP_C > AP_A > AP_B$. Essas mudanças acontecem por dois motivos. Primeiro porque existe um equilíbrio perfeito entre empregos e trabalhadores em C, o que implica em uma menor probabilidade de que os trabalhadores se desloquem dali para acessar os empregos em outras unidades. E segundo porque conforme aumenta a distância da unidade C às demais unidades, diminui a probabilidade de que os trabalhadores dessas demais unidades procurem pelos empregos ali ofertados. Em outras palavras, a Acessibilidade Potencial (*AP*) de C passa a ser maior que as demais na medida em que a sua distância às demais unidades passa a restringir a competição pelas suas ofertas.

A Acessibilidade Potencial (*AP*) é uma medida já normalizada. Ou seja, os valores da medida podem ser utilizados para comparar o desempenho dos componentes de redes espaciais distintas. Essa propriedade da medida será demonstrada com profundidade no próximo capítulo, em que são apresentados os experimentos baseados em redes teóricas.

Em resumo, são três os principais fatores que definem a distribuição dos resultados do indicador de Acessibilidade Potencial para os componentes de uma rede espacial urbana:

- (1) a probabilidade de haver competição pelas ofertas, definida simultaneamente pela distância relativa entre os componentes que possuem ofertas e os que possuem demandas e pela magnitude das demandas,
- (2) a magnitude das ofertas nos componentes que as contém e
- (3) a distância relativa entre cada componente que contém demandas e todos os componentes que contém ofertas.

3.3 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

O modelo foi implementado por Guilherme Dalcin ao GAUS¹⁶ – *Graph Analysis of Urban Systems* (DALCIN; KRAFTA, 2020). O cômputo de distâncias entre pares de vértices para a medida equivale ao comprimento dos caminhos mínimos entre eles. Para determinar os caminhos mínimos, o script adota o Algoritmo de Dijkstra e uma heap binária como fila de prioridade.

O GAUS possui uma inovação na forma de computar distâncias em representações por segmentos viários, incluída neste trabalho. Para o processamento de distâncias métricas no grafo equivalente, as ligações entre pares de vértices (alocados no ponto médio dos segmentos viários) são valoradas com as distâncias euclidianas medidas na rede (retangulares), e não em linha reta (radiais). Veja o exemplo da Figura 3.3: o comprimento da ligação entre os vértices w e z no grafo equivalente (ilustração c) é igual a $(l_w/2 + l_z/2)$, onde l_w é o comprimento do segmento w e l_z é o comprimento do segmento z , conforme ilustrado na ilustração b. Isso minimiza a distorção da geografia da rede que usualmente decorre desse tipo de discretização do sistema espacial.

O cálculo da medida para um sistema urbano depende da existência de um Shapefile contendo um mapa de segmentos viários (camada vetorial de linhas). A tabela de atributos deve conter uma coluna identificando o carregamento das ofertas e outra coluna identificando o carregamento das demandas dos segmentos. Como resultado da análise, o script retorna uma coluna com o resultado da Acessibilidade Potencial (*AP*) de cada segmento.

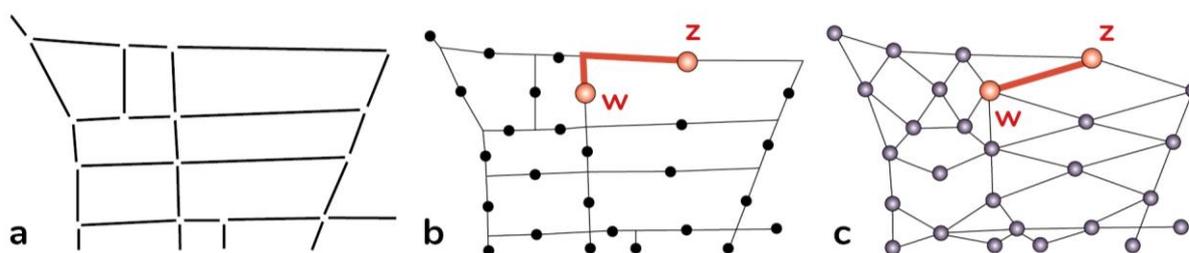


Figura 3.3 Tomada de distâncias métricas nos scripts GAUS: a) rede discretizada pelo critério de discretização por conectividade, b) rede com a identificação do ponto médio dos segmentos viários e a distância tomada pelo modelo entre w e z , c) grafo equivalente com as ligações valoradas com a distância medida na rede $(l_w/2 + l_z/2)$.

¹⁶O GAUS é um conjunto de scripts escritos em código Python que calcula medidas configuracionais no software QGIS, o que permite que o processo completo de modelagem seja feito dentro do ambiente de SIG.

3.4 INDICADORES DAS PROPRIEDADES GLOBAIS DA REDE

O indicador de Acessibilidade Potencial (*AP*) é uma medida que afere propriedades dos componentes de uma rede espacial em relação às características de acessibilidade aos empregos presentes no sistema. No entanto, ela sozinha não é capaz de descrever de forma sintética o desempenho de um sistema como um todo em relação à propriedade sendo aferida.

Tinha-se em mente que seria importante captar os níveis em que os sistemas urbanos, de modo global, possuiriam relações de desequilíbrio entre as ofertas de emprego e as demandas populacionais pelos empregos, fatores chave para a noção de incompatibilidade espacial. Outro fator importante seria a aferição de como a distribuição desses atributos na rede espacial seria capaz de gerar desigualdades no acesso aos empregos.

Em vista disso, foram definidas e testadas medidas que descrevem propriedades globais da rede, baseadas nos valores do indicador de Acessibilidade Potencial para os componentes da rede. São, portanto, indicadores sintéticos (ou medidas-resumo) que facilitam a análise e interpretação dos valores de Acessibilidade Potencial, permitindo comparações entre casos distintos.

Oferta Relativa (*OR*) do sistema: é a razão entre o somatório dos carregamentos de oferta e o somatório dos carregamentos de demanda (Equação 8). É um indicador espacial que reflete a proporção entre os empregos e a população no sistema. Apesar de não refletir as implicações da diferenciação espacial e da distribuição da população e dos empregos, dá uma ideia do equilíbrio geral entre esses últimos. Valores menores que 1 indicam que o sistema possui mais demandas que ofertas (faltam empregos) e valores maiores que 1 indicam que o sistema possui mais ofertas que demandas (sobram empregos).

$$OR = \frac{\sum_{i \neq j}^{j \in G} O_j}{\sum_{i \neq j}^{i \in G} D_i} \quad (8)$$

onde:

- O_j são todos os carregamentos de oferta da rede
- D_i são todos os carregamentos de demanda da rede

Média Aritmética e Desvio Padrão dos valores de Acessibilidade Potencial: fornecem informações da tendência central e dispersão dos valores. Eles descrevem adequadamente o comportamento estatístico de medidas que possuem uma distribuição aproximadamente normal, como é o caso da medida de acessibilidade sem carregamentos.

Indicadores que descrevem a distribuição dos valores de Acessibilidade Potencial do sistema: a) Mínimo, b) 1º quartil ($Q1$) (25% dos dados são menores que ou iguais a este valor), c) Mediana ou 2º quartil ($Q2$) (50% dos dados são menores que ou iguais a este valor), d) 3º quartil ($Q3$) (75% dos dados são menores que ou iguais a este valor), e) Máximo e f) Amplitude de Acessibilidade Potencial (*AP*). Eles descrevem como os valores se distribuem em cada sistema analisado,

mostrando se o sistema possui uma quantidade maior ou menor de componentes concentrados em faixas com valores maiores ou menores do indicador (*AP*). Assim, descrevem adequadamente o comportamento de medidas que possuem uma distribuição significativamente hierárquica, como é o caso de medidas de acessibilidade ponderada, a exemplo do indicador proposto.

Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial do sistema (*ID*): é um indicador que relaciona a proporção acumulada da participação individual dos componentes que contém demandas no comportamento geral da rede e a dos valores de Acessibilidade Potencial da rede. Ou seja, é uma versão adaptada do Coeficiente de Gini¹⁷. O Indicador de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (*ID*) (Equação 9) reflete o nível de hierarquização presente nos componentes da rede em relação a medida de Acessibilidade Potencial.

$$ID = \left(1 - \sum_{i=1}^N (v_{i+1} - v_i) (AP_{i+1} + AP_i) \right) 100 \quad (9)$$

onde:

- os elementos v se referem à proporção acumulada da participação dos N componentes que contém demandas no comportamento da rede, e
- os elementos AP se referem à proporção acumulada dos valores do indicador de Acessibilidade Potencial (AP) da rede.

Dadas as características dos dados da pesquisa, optou-se por apresentar o indicador em porcentagem. Seu valor, portanto, varia entre 0 e 100, sendo que o valor 0 ocorreria para um sistema em que todos os componentes da rede tivessem o mesmo valor de AP (grafo completo com distribuição uniforme dos carregamentos) e o valor 100 ocorreria somente se toda a Acessibilidade Potencial estivesse concentrada em um único componente. Quanto maior o valor de ID , maior é o nível de desigualdade de Acessibilidade Potencial presente na rede.

A construção dos indicadores foi feita após uma série de experimentos que permitiram o entendimento de suas propriedades. Em outras palavras, foram esses experimentos que também forneceram as informações necessárias para a definição final dos indicadores. O próximo capítulo reporta os resultados desses experimentos e esclarece as propriedades dos indicadores.

¹⁷Indicador usualmente empregado para aferir desigualdade de distribuição de renda. Seu cálculo é baseado na Curva de Lorenz, a qual considera uma situação hipotética em que a proporção da renda apropriada e a proporção da população possuem uma distribuição perfeita. Ou seja, 1% da população se apropria de 1% da renda acumulada, 2% da população se apropria de 2% da renda acumulada, e assim por diante. Quando essa distribuição é plotada em um gráfico, com a variável população no eixo das abscissas e a variável renda no eixo das ordenadas, o resultado é uma linha reta que representa a perfeita igualdade na distribuição de renda. A linha que descreve uma distribuição empírica de renda no mesmo tipo de gráfico é a Curva de Lorenz. O Coeficiente de Gini corresponde à área entre a linha de perfeita igualdade e a Curva de Lorenz. Quanto maior a área formada entre a linha de perfeita igualdade e a Curva de Lorenz, maior a desigualdade na distribuição de renda.

4 EXPERIMENTOS BASEADOS EM REDES TEÓRICAS

A complexidade dos fatores intervenientes nos resultados dos métodos de análise propostos suscita a necessidade de testes que permitam definir como os seus resultados podem ser analisados e interpretados. Neste capítulo apresentamos experimentos que aplicam os indicadores propostos em redes teóricas, com o objetivo de testar a sensibilidade dos indicadores em refletir diferenças nas características e atributos dos sistemas urbanos representados. A seguir, descrevemos a metodologia adotada para esses experimentos, seguida pelos seus resultados e discussões. Ao fim, fazemos uma síntese das principais propriedades dos indicadores.

4.1 METODOLOGIA

Em cada experimento, isolamos um fator interveniente nos resultados dos indicadores. Desenvolvemos cinco conjuntos de experimentos aplicados a redes assemelhadas a grelhas com segmentos viários de 100 metros. Cada experimento isola um atributo interveniente nos resultados dos indicadores, a saber: (1) o tamanho da rede, (2) a topologia da rede, (3) a densidade dos carregamentos, (4) a distribuição das ofertas e (5) a distribuição das demandas.

Para cada conjunto de testes, relatamos e discutimos os resultados cartográficos e estatísticos dos indicadores. Os resultados do Indicador de Acessibilidade Potencial (*AP*) foram mapeados a partir de uma escala cromática, classificada de acordo com o método *Quebras Naturais*¹⁸. Os mapeamentos permitem verificar a distribuição espacial dos resultados da medida para os componentes da rede. Os resultados estatísticos foram avaliados a partir de gráficos e de quadros que apresentam as seguintes variáveis:

(1) variáveis que descrevem características gerais do sistema: Tamanho (*N*) (número de componentes da rede), somatório das ofertas do sistema, somatório das demandas do sistema e Oferta Relativa do sistema (*OR*);

(2) indicadores que descrevem a distribuição dos valores de Acessibilidade Potencial (*AP*) para os componentes da rede: Mínimo, 1º Quartil (*Q1*), Mediana (*Q2*), 3º Quartil (*Q3*) Máximo e Amplitude;

(3) indicadores que sintetizam propriedades globais do sistema em relação à medida de Acessibilidade Potencial (*AP*): Média Aritmética (tendência central), Desvio Padrão (dispersão em relação à Média Aritmética) e Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (*ID*) (nível de hierarquização dos valores de *AP* presente no sistema).

¹⁸É um classificador que busca minimizar a variância dentro de cada classe e maximizar as diferenças entre classes, mostrando-se adequado para delimitar dados com distribuição não normal e não uniforme.

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2.1 Variações no tamanho da rede

O tamanho da rede geralmente influencia o resultado de medidas de centralidade em redes, tanto para os valores dos componentes da rede, como para valores que descrevem propriedades globais da rede. Portanto, foram feitos testes para verificar como os indicadores se comportam em relação a variações no tamanho da rede.

Os indicadores foram calculados para quatro grelhas regulares (numeradas de 1 a 4 na Figura 4.1) de tamanhos crescentes, sendo que os carregamentos de demanda e de oferta de todos os vértices da rede são equivalentes a 1. Os resultados cartográficos constam na Figura 4.1. Para esse tipo de análise, em que se consideram as ofertas e demandas como equivalentes a 1, o ranqueamento dos valores dos vértices para cada rede é idêntico ao da medida de acessibilidade sem carregamentos, quando calculada considerando-se distâncias métricas. Desse modo, os mapeamentos revelam a formação de hierarquias de acessibilidade decorrentes da variável espacial, com a formação de um Núcleo de Acessibilidade em torno do centroide da rede.

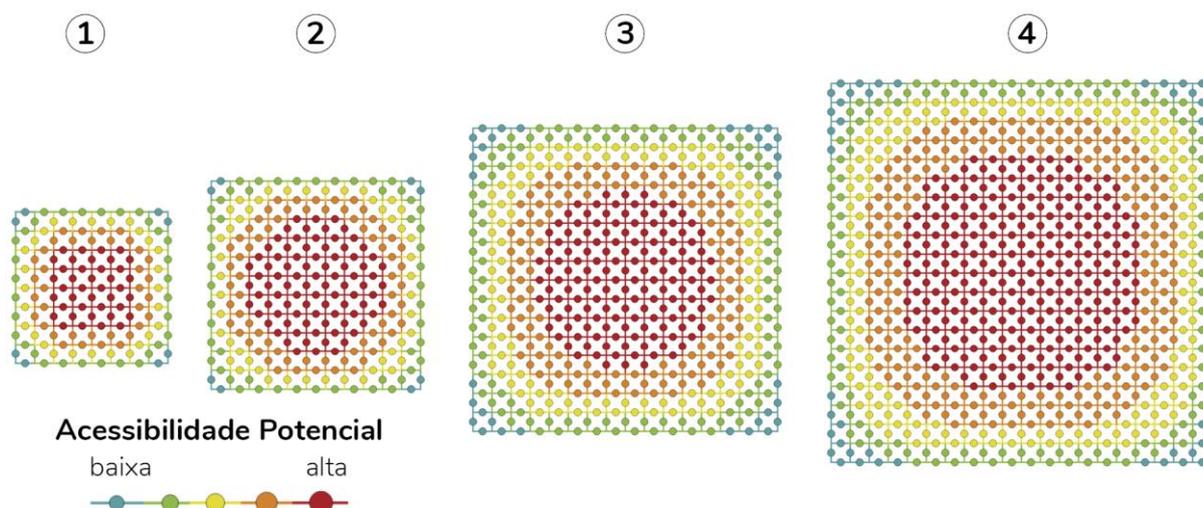


Figura 4.1 Distribuição espacial dos resultados da Acessibilidade Potencial das redes com variações de tamanho.

O Quadro 4.1 contém as variáveis numéricas que descrevem o comportamento estatístico do indicador para as redes testadas. Os somatórios das ofertas e das demandas são equivalentes entre si nos quatro sistemas. Por isso, a Oferta Relativa é igual a 1 em todos os casos. Existe, portanto, um equilíbrio perfeito na distribuição dos empregos e da população.

Os indicadores de distribuição (Mínimo, $Q1$, Mediana, $Q3$ e Máximo) indicam que existem diferenças nos valores dos componentes em função das diferenças no tamanho das redes, estando concentradas principalmente nos menores valores. Quanto maior a grelha, menor é o valor de Acessibilidade Potencial atribuído aos vértices em geral, sobretudo aqueles com os menores valores. Ou seja, quanto maior a rede, proporcionalmente menor é o valor mínimo. Por essa razão, a amplitude dos valores também se torna maior a medida em que aumenta o tamanho da rede.

Isso demonstra que a medida captou adequadamente que quanto maior a rede, menor é a capacidade de poucos vértices em exercerem influências no seu comportamento. Essas diferenças nos menores valores de AP , bem como a semelhança nos padrões distributivos para as quatro redes, podem ser verificadas no gráfico log-normal da Figura 4.2 a.

		1	2	3	4
Geral	Tamanho (N)	144	312	544	840
	Somatório das Ofertas	144	312	544	840
	Somatório das Demandas	144	312	544	840
	Oferta Relativa (OR)	1,000	1,000	1,000	1,000
Distribuição	Mínimo	0,7946	0,7658	0,7370	0,7222
	1° Quartil ($Q1$)	0,9141	0,9310	0,9250	0,9282
	Mediana ($Q2$)	1,0259	1,0233	1,0217	1,0205
	3° Quartil ($Q3$)	1,0791	1,0783	1,0770	1,0765
	Máximo	1,1281	1,1266	1,1245	1,1231
Síntese	Amplitude	0,3335	0,3607	0,3875	0,4059
	Média Aritmética	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
	Desvio Padrão	0,0932	0,0932	0,0932	0,0932
	Índice de Desigualdade (ID)	5,2426	5,2426	5,2426	5,2426

Quadro 4.1 Variáveis que descrevem o comportamento das redes com variações de tamanho.

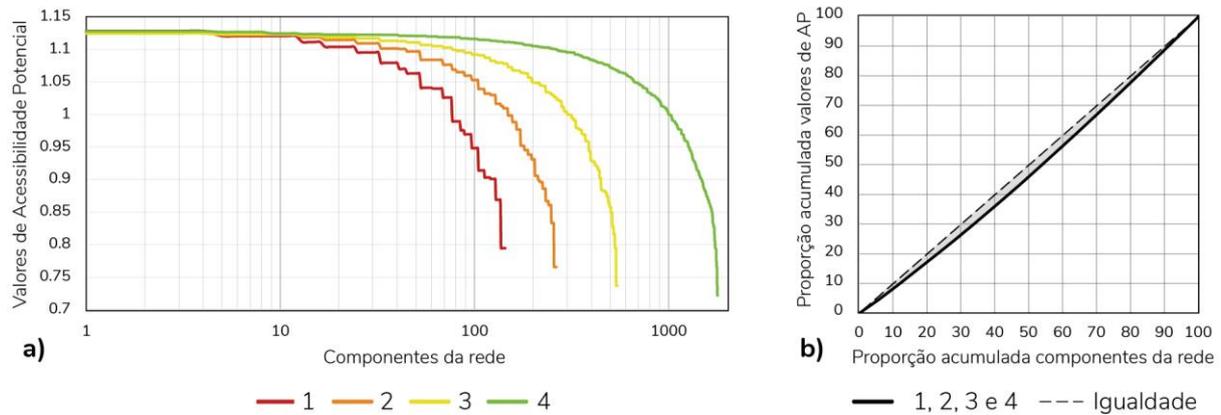


Figura 4.2 Gráficos que descrevem a distribuição e a desigualdade dos valores de AP para as redes com variações de tamanho: a) gráfico de dispersão (linhas) log-normal e b) Curvas de Lorenz.

Apesar dessa diferença na influência individual dos vértices para as grelhas regulares de diferentes tamanhos, a média é equivalente a 1 para todas as grelhas, independentemente do tamanho. Isso demonstra que a média dos valores dos vértices não é influenciada pelo tamanho do sistema. Até aqui, ela pode ser condicionada pelo equilíbrio entre ofertas e demandas refletida na Oferta Relativa (igual à 1) e pela topologia da rede (grelha regular, nesse caso). O desvio padrão também apresentou o mesmo valor para todas elas (0,0932). Já o valor do Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (ID) também foi idêntico para as quatro redes (5,2426). Como a

distribuição entre ofertas e demandas é perfeitamente equilibrada entre os componentes da rede (existe uma compatibilidade perfeita em que cada componente possui o mesmo valor para ambos os carregamentos), o nível de hierarquização dos valores de *AP* presente nos sistemas é bastante baixo, o que ficou refletido no baixo valor de *ID* e no gráfico da Curva de Lorenz da Figura 4.2 b.

4.2.2 Variações na topologia da rede

Esta pesquisa pressupõe que a forma urbana pode facilitar ou restringir as possibilidades de acesso da população aos empregos e também a competição entre a população pelos empregos. O presente experimento emprega os indicadores em 4 redes com diferentes topologias. Elas possuem o mesmo tamanho ($N = 180$) e os carregamentos de demanda e oferta são equivalentes a 1 para todos os vértices, ou seja, existe equilíbrio perfeito entre as ofertas e as demandas.

Ao comentar os resultados desse experimento, nos referimos a formas urbanas compactas e dispersas. Esse é um tema muito discutido na literatura sobre o qual este trabalho não se debruça com especificidade. As relações de compactidade e dispersão urbanas são reconhecidamente multidimensionais e podem se referir à diversos aspectos, tanto a características da forma urbana quanto da distribuição de atividades urbanas (OJIMA, 2007; GONÇALVES, 2011). Para este experimento, utilizaremos os termos forma urbana compacta e forma urbana dispersa nos referindo especificamente aos níveis de compactidade e dispersão da forma topológica das redes espaciais urbanas representadas.

A rede 1 corresponde a uma grelha com diagonais; a rede 2 é uma grelha perfeita; a rede 3 é uma grelha que possui quatro “ilhas espaciais” conectadas por quatro “pontes”; e a rede 4 é uma grelha que possui 9 “ilhas espaciais” conectadas por 9 “pontes”. As redes foram ordenadas na Figura 4.3 de acordo com as características de compactidade da forma, de modo que, apesar de terem o mesmo número de componentes, ocupam áreas crescentemente maiores. A rede 1 compreende um sistema mais compacto em que as distâncias entre pares de componentes são relativamente minimizadas e, portanto, a rede possui maior densidade de componentes. O oposto se aplica à rede 4: ela compreende um sistema menos denso, fragmentado por vazios internos. Neste, as distâncias entre pares de componentes são maximizadas em relação às demais redes.

Algumas características do modo de distribuição dos resultados de *AP* nos mapeamentos da Figura 4.3 merecem ser destacados. No caso das redes 1 e 2, os componentes pertencentes a classe dos maiores valores (vermelha) formam agrupamentos únicos (núcleos de Acessibilidade Potencial), centralizados geograficamente na rede. Para as redes 3 e 4, que contém diferentes “ilhas espaciais”, os componentes pertencentes a classe dos maiores valores (vermelha) formam agrupamentos alternativos. Ou seja, nesses dois últimos casos, não há a formação de um único Núcleo de Acessibilidade Potencial. Pelo contrário, existem diferentes núcleos, apontando que o indicador dá conta de restringir as interações entre componentes mais distantes dentro da rede quando esta é topologicamente hierarquizada.

Os resultados para a mediana indicam que, embora o valor mais baixo na rede mais dispersa (rede 4) seja mais alto que nas demais redes, a quantidade de vértices com os mais baixos valores é maior: 50% dos vértices tem valores entre 0,8559 e 0,9951. Portanto, para a rede 4, mais de 50% dos vértices possuem valores abaixo da média da rede, enquanto que nas demais redes, 50% dos vértices possuem valores acima da média (que é igual 1). O experimento demonstra que redes com topologia mais dispersa aparentemente levam a sistemas com maior quantidade de componentes com valores de Acessibilidade Potencial (sem carregamentos) abaixo da média, embora esses valores baixos não sejam tão baixos quanto nas redes topologicamente mais compactas. Essas últimas apresentam menos vértices com valores abaixo da média da rede, mas esses valores tendem a ser mais baixos, ou seja, existe maior variabilidade interna no sistema.

A rede 1 (mais compacta) apresentou a maior amplitude dos valores. O oposto ocorreu para a rede 4 (mais dispersa), que ficou com uma menor amplitude dos valores (o maior valor mínimo e o menor valor máximo). As redes 2 e 3 apresentaram valores intermediários, sendo que a amplitude da rede 3 é maior que a da rede 2.

A média permanece igual e equivalente a 1 para todos os modelos, não sendo influenciada pela topologia da rede. Comparando o resultado deste experimento com o anterior (variações no tamanho da rede), percebeu-se que sempre que os carregamentos de demanda e de oferta de todos os componentes da rede são equivalentes a 1, a média dos valores de AP é igual a 1, coincidindo também com a Oferta Relativa. Isso significa que, para esse tipo de experimento, os valores de AP dos componentes possuem uma tendência central que flutua em torno da Oferta Relativa. Já o desvio padrão apresentou uma relação direta com as características de compacidade da forma, sendo maior para a rede 1, seguida pelas redes 2 e 3 e sendo menor para a rede 4.

Os valores para o Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (ID) apresentaram resultados parecidos com o do desvio padrão, refletindo de forma direta as variações nas características de compacidade da forma de rede. A rede 1 é a mais hierárquica, com maior desigualdade entre os valores de AP dos componentes da rede. A rede 2 possui o segundo maior valor e a rede 3 o terceiro maior valor. A rede 4 foi a que ficou com um valor mais baixo, indicando para um sistema menos hierárquico, com uma distribuição menos ampla dos valores de AP para os componentes da rede. Essas características podem ser averiguadas no comportamento das curvas de dispersão dos valores para as quatro redes, constantes no gráfico a da Figura 4.4.

À primeira vista, esse resultado parece contraintuitivo. Por um lado, a forma urbana compacta tende a ser posta como geradora de menos hierarquia, em razão da minimização de distâncias. Por outro lado, a forma urbana dispersa tende a ser vista como geradora de mais hierarquia, em função da maximização de distâncias e da dependência de pontes de conexão.

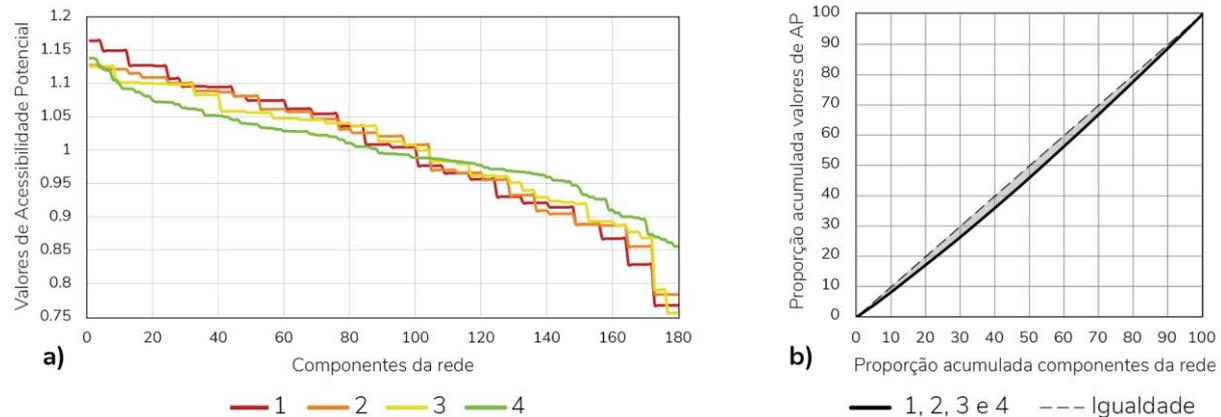


Figura 4.4 Gráficos que descrevem a distribuição e a desigualdade dos valores de *AP* para as redes com variações de topologia: a) gráfico de dispersão (linhas) e b) Curvas de Lorenz.

O método de cálculo do indicador *AP*, contudo, procura captar relações de competição entre a população pelas ofertas de emprego. Por possuírem um núcleo único de Acessibilidade Potencial, as formas mais compactas das redes 1 e 2 parecem facilitar a competição da população pelos empregos, apesar de esses estarem uniformemente distribuídos no sistema. Já no caso das formas mais dispersas das redes 3 e 4, ao formarem núcleos alternativos de Acessibilidade Potencial, restringem a competição da população às proximidades desses diferentes núcleos, diminuindo a hierarquia dos valores de *AP* para os componentes sistema. Essa foi a característica captada pelo Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (*ID*).

No entanto, assim como ocorreu no caso anterior, essas diferenças no *ID* são bastante modestas entre as redes de 1 a 4, o que fica evidente no gráfico da Curva de Lorenz da Figura 4.4 b, em que as curvas para as 4 redes ficaram praticamente sobrepostas. Isso ocorre porque a distribuição das demandas e das ofertas é perfeitamente equilibrada (coincidentes entre si).

4.2.3 Variações na densidade dos carregamentos

Até aqui, os dois experimentos foram aplicados a redes em que os carregamentos de oferta e demanda eram equivalentes a 1. O presente experimento testa quatro redes em grelha regular de mesmo tamanho ($N = 264$), ainda com distribuição uniforme dos carregamentos de oferta e demanda (mesmo valor para todos os vértices). O que varia agora é a densidade desses carregamentos por componente em cada rede. A rede 1 possui em cada vértice $O_1 = 1$ e $D_1 = 1$; a rede 2 possui em cada vértice $O_2 = 5$ e $D_2 = 5$; a rede 3 possui em cada vértice $O_3 = 1$ e $D_3 = 5$; e a rede 4 possui $O_4 = 5$ e $D_4 = 1$. A distribuição dos valores de *AP* resultantes para os componentes determina um ranqueamento idêntico para as quatro redes, que também é igual ao ranqueamento da medida de acessibilidade sem carregamentos, demonstrada nas grelhas regulares do experimento do item 4.2.1. Por isso, não serão apresentados mapas aqui. São mais interessantes os resultados das variáveis constantes no Quadro 4.3.

		1	2	3	4
Geral	Tamanho (<i>N</i>)	264	264	264	264
	Total Ofertas	264	1320	264	1320
	Total Demandas	264	1320	1320	264
	Oferta Relativa (<i>OR</i>)	1,0000	1,0000	0,2000	5,000
Distribuição	Mínimo	0,7658	0,7658	0,1532	3,8292
	1° Quartil (<i>Q1</i>)	0,9310	0,9310	0,1862	4,6552
	Mediana (<i>Q2</i>)	1,0163	1,0163	0,2033	5,0816
	3° Quartil (<i>Q3</i>)	1,0839	1,0839	0,2168	5,4195
	Máximo	1,1266	1,1266	0,2253	5,6328
Síntese	Amplitude	0,3607	0,3607	0,0721	1,8036
	Média Aritmética	1,0000	1,0000	0,2000	5,0000
	Desvio Padrão	0,0937	0,0937	0,0187	0,4683
	Índice de Desigualdade (<i>ID</i>)	5,2671	5,2671	5,2671	5,2671

Quadro 4.3 Variáveis que descrevem o comportamento das redes com variações de densidade.

Apesar de haver mudança na densidade dos carregamentos de demanda e oferta, o ranqueamento dos componentes é igual para as quatro redes e todas as variáveis se mantêm iguais para as redes 1 e 2, nas quais a relação entre o número total de ofertas e demandas são equivalentes entre si. Isso demonstra que o método de cálculo do indicador de Acessibilidade Potencial (*AP*) permite captar adequadamente a relação de compatibilidade entre ofertas e demandas do sistema, não sendo sensível a variações na densidade dos carregamentos. Em outras palavras, o que o indicador *AP* capta nos valores dos componentes são as relações de equilíbrio geral e de compatibilidade espacial entre as ofertas e as demandas, independentemente da concentração (densidade) dos carregamentos, para uma distribuição uniforme dos carregamentos.

Na rede 3 foi simulada uma situação em que o número de pessoas é cinco vezes maior que a de empregos, ou seja, faltam empregos no sistema ($OR = 0,20$). O inverso foi empregado à rede 4, em que o número de empregos é cinco vezes maior que o de pessoas, ou seja, sobram empregos no sistema ($OR = 5,00$). A média dos valores, assim como nos experimentos anteriores, manteve-se igual à Oferta Relativa para ambos os casos.

Os indicadores de distribuição (Mínimo, *Q1*, Mediana, *Q3* e Máximo) indicam que o desequilíbrio entre ofertas e demandas do sistema influencia os valores dos componentes, que são drasticamente menores para a rede 3 (menor *OR*) e maiores para a rede 4 (maior *OR*), assim como a amplitude dos valores (veja o gráfico da Figura 4.5 a). O desempenho individual dos componentes, portanto, reflete a capacidade geral do sistema em prover empregos para a população. Em outras palavras, o modelo capta nos valores individuais dos componentes da rede espacial, que são características locais, variações decorrentes de uma compatibilidade, ou incompatibilidade, global: os valores das *OR*. Isso significa que quando se compara o desempenho

de componentes de sistemas distintos, a proporção de empregos pela população, presente em cada sistema, já está refletida nesses valores individuais. Este é um resultado muito importante, que corresponde àquilo que se desejava dos indicadores.

Apesar das diferenças no comportamento individual dos componentes, decorrentes dos desequilíbrios na proporção entre empregos e população, o Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (*ID*) captou adequadamente que a hierarquização dos valores para os componentes é idêntica para as quatro redes testadas (veja no gráfico log-normal da Figura 4.5 b que o padrão distributivo dos valores é semelhante para todas as redes).

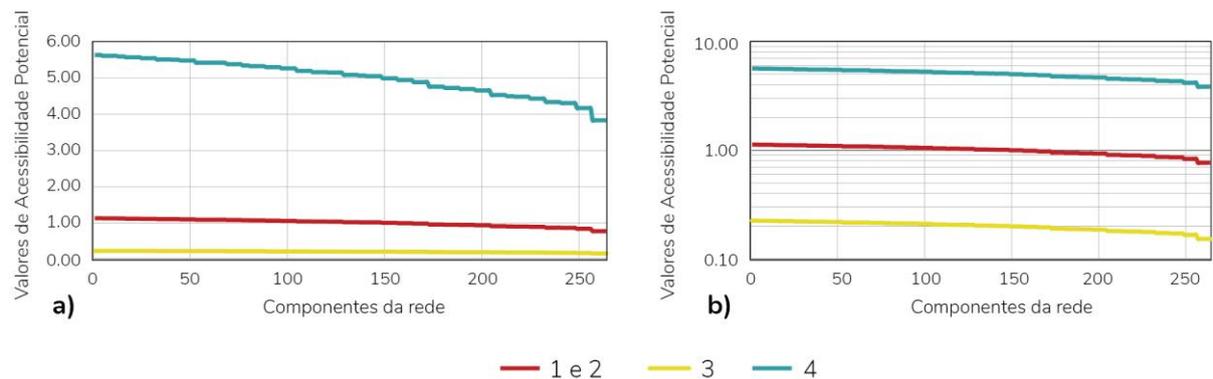


Figura 4.5 Gráficos que descrevem a distribuição dos valores de *AP* para as redes com variações de densidade dos carregamentos: a) gráfico de dispersão (linhas) e b) gráfico de dispersão log-normal (linhas).

4.2.4 Variações na distribuição das ofertas

Neste próximo experimento, foram testadas 6 redes de tamanhos e topologias iguais (grelhas de $N = 84$) com variações na magnitude e na distribuição das ofertas dos componentes. Todos os vértices possuem $D = 1$ em todas as redes, ou seja, o somatório das demandas das redes é igual a 84. Existem 16 vértices que possuem $O = 10$, ou seja, o somatório dos carregamentos de oferta das redes é igual a 160. A oferta relativa da rede é, portanto, igual a 1,9048 para todas, refletindo a proporção de ofertas que “sobram” nos sistemas. Propositamente, todas as redes possuem essa mesma *OR*, portanto, esse fator está isolado da análise. O que varia nesse conjunto de testes é o modo de distribuição das ofertas na rede, conforme apresentado na Figura 4.6.

As redes foram ordenadas de acordo com os resultados do Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (*ID*) (Quadro 4.4). A rede 1 apresenta uma distribuição difusa, representando um sistema mais equânime em termos das possibilidades de acesso às ofertas da rede. Na rede 2, existem 4 aglomerações de ofertas. Na rede 3, 3 aglomerações de ofertas. Na rede 4, uma aglomeração linearmente distribuída, passando pelo centroide da rede; na rede 5, uma aglomeração centralizada; e na rede 6, uma aglomeração excêntrica. Assim, concluiu-se que o *ID* captou adequadamente as desigualdades de Acessibilidade Potencial do sistema decorrentes do modo de distribuição das ofertas, ilustrados também nas curvas de Lorenz da Figura 4.7 b.

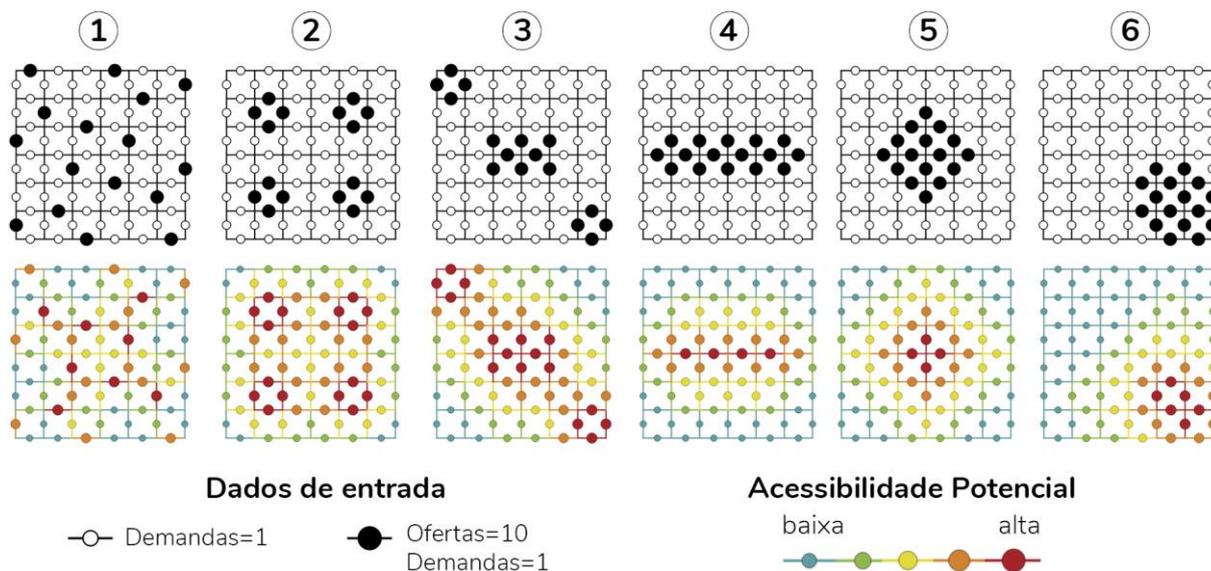


Figura 4.6 Dados de entrada e resultados da distribuição espacial dos resultados da Acessibilidade Potencial para as redes com variações de distribuição das ofertas.

		1	2	3	4	5	6
Geral	Tamanho (N)	84	84	84	84	84	84
	Somatório Ofertas	160	160	160	160	160	160
	Somatório Demandas	84	84	84	84	84	84
	Oferta Relativa (OR)	1,9048	1,9048	1,9048	1,9048	1,9048	1,9048
Distribuição	Mínimo	1,6429	1,3909	1,0576	1,0185	0,9621	0,6641
	1° Quartil ($Q1$)	1,7425	1,6282	1,4631	1,3004	1,2036	1,0431
	Mediana ($Q2$)	1,8930	1,6533	1,8585	1,6944	1,5726	1,4586
	3° Quartil ($Q3$)	2,0593	2,1505	2,2227	2,3313	2,3198	2,3767
	Máximo	2,2834	2,7372	3,1949	3,8508	3,9411	4,5974
Síntese	Amplitude	0,6404	1,3463	2,1373	2,8323	2,9790	3,9334
	Média Aritmética	1,9048	1,9048	1,9048	1,9048	1,9048	1,9048
	Desvio Padrão	0,1781	0,4569	0,5325	0,7650	0,8535	1,1532
	Índice de Desigualdade (ID)	5,2471	12,6289	15,7504	21,7465	23,7313	31,6916

Quadro 4.4 Variáveis que descrevem o comportamento das redes com variações de distribuição das ofertas.

Os resultados apresentados apontam que o indicador de Acessibilidade Potencial (AP) foi capaz de captar as variações na distribuição das ofertas, o que está ilustrado no gráfico de dispersão da Figura 4.7 a. Os indicadores de distribuição dos valores (Mínimo, $Q1$, Mediana, $Q3$ e Máximo) indicam que existe uma significativa variação nos valores dos vértices das diferentes redes, em decorrência das mudanças na distribuição das ofertas.

A rede 1 (sistema mais equânime) é a que possui os maiores valores mínimos e os menores valores máximos, ou seja, uma amplitude menor. As demais redes são crescentemente mais desiguais em termos de uma distribuição equânime das ofertas e, portanto, possuem amplitudes

crescentemente maiores que a da rede 1. Os quartis ($Q1$, Mediana e $Q3$) demonstraram que quanto mais desiguais são os sistemas representados, maior é a quantidade de componentes que assumem valores mais baixos. A exemplo disso, a Mediana ($Q2$) assumiu valores abaixo da média, seguindo o padrão de ser mais baixa para os sistemas mais desiguais. Ou seja, indicando que, quanto mais desiguais são os sistemas, os 50% menores valores tendem ser mais baixos, apesar de os mesmos sistemas atingirem valores mais altos para os valores máximos.

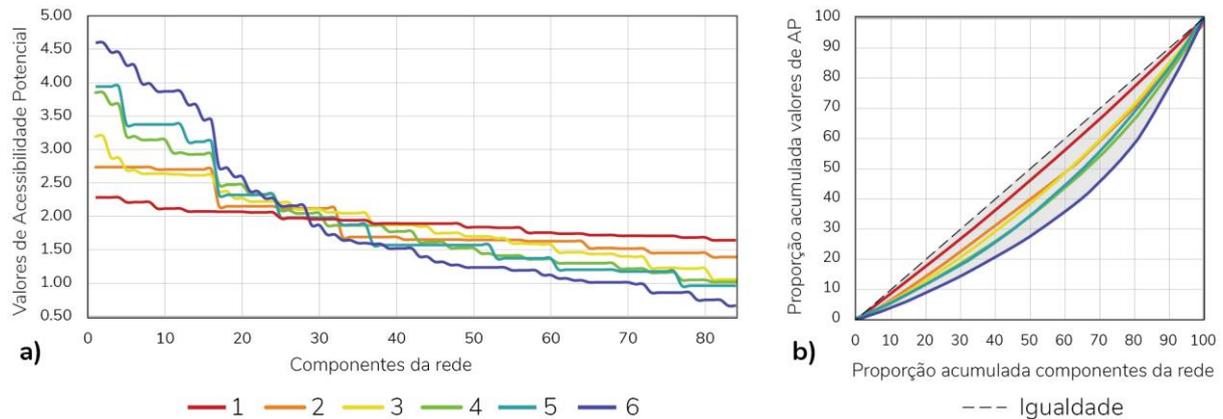


Figura 4.7 Gráficos que descrevem a distribuição e a desigualdade dos valores de AP para as redes com variações de distribuição das ofertas: a) gráfico de dispersão (linhas) e b) Curvas de Lorenz.

Assim como nos experimentos anteriores (que testaram variações no tamanho, topologia e densidade de atributos), a Média Aritmética dos valores manteve-se igual para todas as redes e também igual à Oferta Relativa do sistema (1,9048). Não obstante, o desvio padrão possui o mesmo comportamento da amplitude (crescente para as redes de 1 a 6), apontando que a dispersão dos valores em relação à média passa a ser maior para sistemas que possuem um modo de distribuição das ofertas mais hierarquizado.

4.2.5 Variações na distribuição das demandas

Esta seção discorre sobre os experimentos em que foram aplicadas variações na magnitude e distribuição dos carregamentos de demanda. Ela foi dividida em três partes, sendo que em todas elas são aplicadas análises à grelhas regulares com distribuições heterogêneas dos carregamentos de demanda. Na primeira parte, os carregamentos de oferta são uniformemente distribuídos. Na segunda, são empregadas variações nos carregamentos de oferta buscando simular situações mais próximas à realidade das cidades. Na terceira, são testadas variações proporcionais no tamanho da rede e na densidade dos carregamentos para uma mesma distribuição das ofertas e demandas, de modo a testar a sensibilidade dos indicadores a essas variáveis quando elas empregadas simultaneamente.

4.2.5.1 Ofertas uniformemente distribuídas

Foram adotadas redes semelhantes às do experimento anterior. Para este experimento, contudo, todos os componentes da rede possuem $\theta = 1$. Existem 16 vértices que possuem $D =$

10 e os demais possuem $D = 1$. Desse modo, o sistema totaliza um somatório de 84 ofertas e de 228 demandas, resultando em uma Oferta Relativa bastante baixa (0,3684) (Quadro 4.5).

A distribuição dos dados de entrada da análise e seus respectivos resultados encontram-se ilustrados na Figura 4.8. Assim como no caso anterior, as redes foram ordenadas de 1 a 6, de acordo com os resultados do Indicador de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (*ID*). Uma primeira constatação é a de que, apesar de haver uma distribuição perfeitamente equilibrada dos carregamentos de oferta, a distribuição dos valores de *AP* para os componentes da rede estão condicionados pela distribuição heterogênea das concentrações dos carregamentos de demanda (veja os mapeamentos da Figura 4.8), demonstrando que a medida é sensível a essa variável.

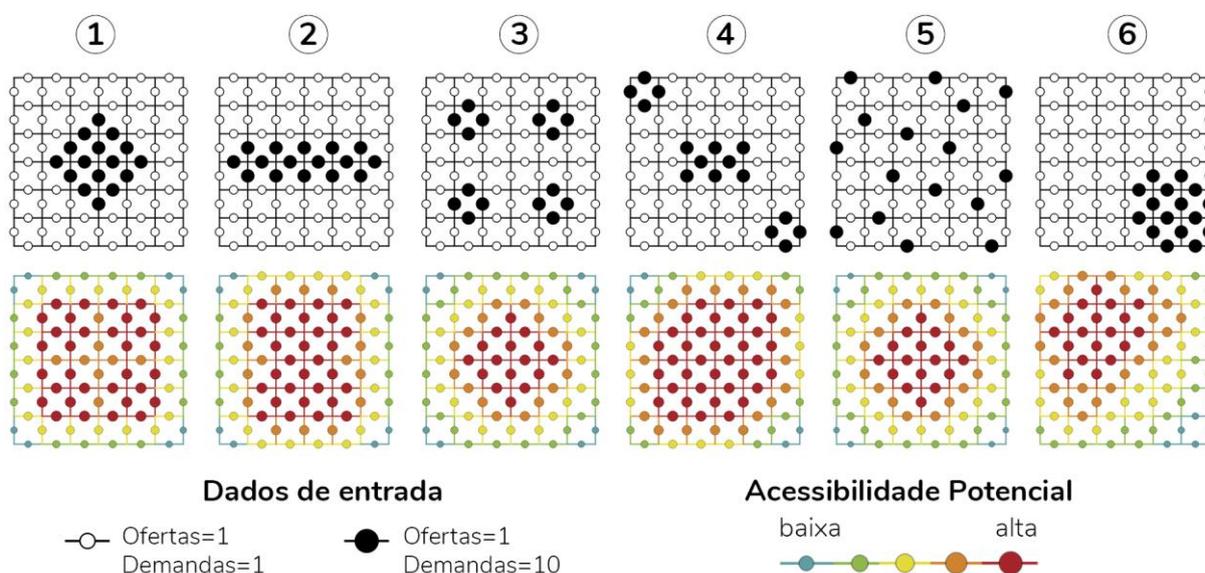


Figura 4.8 Dados de entrada e resultados da Acessibilidade Potencial para as redes com variações de distribuição das demandas, para ofertas uniformemente distribuídas.

Para esse tipo de análise, em que se avalia o efeito da distribuição heterogênea das demandas para uma distribuição homogênea das ofertas em uma rede do tipo grade perfeita de tamanho constante, o ranqueamento dos valores de amplitude e desvio padrão das redes também coincidem com o ranqueamento dos valores do *ID* (veja o Quadro 4.5). Esse último captou que, para uma perfeita distribuição das ofertas da rede, quanto mais próximas as concentrações de demandas estão do centroide, menor é a desigualdade de Acessibilidade Potencial do sistema. Isso porque a área de maior densidade populacional (a qual gera a probabilidade de haver maior nível de competição pelos empregos dentro do sistema) está centralizada na rede, tendo sua distância relativamente minimizada em relação aos empregos.

Esse resultado pode também ser explicado pelo seguinte: os vértices mais centralizados geograficamente na rede são os que recebem um maior valor de Acessibilidade Potencial em relação à variável espacial (distâncias). Esses mesmos vértices são os que possuem a sua Acessibilidade Potencial diminuída em razão da existência de uma alta concentração relativa de demandas, que resultam em uma maior Demanda Potencial (*DP*) para esses vértices, equilibrando

os valores de *AP* da rede. Quando as concentrações de demandas estão posicionadas em componentes relativamente mais distantes do centroide, a desigualdade de Acessibilidade Potencial da rede passa a ser maior. A rede 6, na qual as demandas estão altamente concentradas em componentes periféricos, foi a que apresentou maior desigualdade ($ID = 7,9164$).

		1	2	3	4	5	6
Geral	Tamanho (<i>N</i>)	84	84	84	84	84	84
	Total Ofertas	84	84	84	84	84	84
	Total Demandas	228	228	228	228	228	228
	Oferta Relativa (<i>OR</i>)	0,3684	0,3684	0,3684	0,3684	0,3684	0,3684
Distribuição	Mínimo	0,3136	0,3111	0,3017	0,2940	0,3039	0,2690
	1° Quartil (<i>Q1</i>)	0,3401	0,3429	0,3381	0,3556	0,3486	0,3707
	Mediana (<i>Q2</i>)	0,3567	0,3680	0,3613	0,3804	0,3758	0,4177
	3° Quartil (<i>Q3</i>)	0,3772	0,3827	0,3823	0,4058	0,4068	0,4577
	Máximo	0,3776	0,3919	0,4059	0,4146	0,4272	0,5028
Síntese	Amplitude	0,0640	0,0808	0,1043	0,1205	0,1232	0,2338
	Média Aritmética	0,3581	0,3610	0,3585	0,3763	0,3754	0,4130
	Desvio Padrão	0,0207	0,0244	0,0297	0,0330	0,0365	0,0581
	Índice de Desigualdade (<i>ID</i>)	3,0749	3,7572	4,6479	4,7990	5,4684	7,9164

Quadro 4.5 Variáveis que descrevem o comportamento das redes com variações de distribuição das demandas, para ofertas uniformemente distribuídas.

Em resumo, observou-se um padrão para os indicadores Amplitude, Desvio Padrão e Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (*ID*), o qual está plausivelmente relacionado às características dos sistemas urbanos representados, sendo menores para aqueles sistemas em que a concentração dos carregamentos de demanda está posicionada mais próxima do centroide da rede. Apesar disso, os indicadores de distribuição (Mínimo, *Q1*, Mediana, *Q3* e Máximo) não apresentam esse mesmo padrão, dando conta de descrever adequadamente as mudanças sutis na distribuição interna dos valores, ou seja, de mostrar em que faixas de valores a maior ou menor quantidade de componentes está concentrada.

Conforme averiguado nos experimentos anteriores, quando não são empregadas variações nos carregamentos de demanda ($D = 1$ para todos os vértices), a Média Aritmética dos valores sempre coincide com a Oferta Relativa do sistema. Quando são introduzidas variações nos carregamentos de demanda, passam a existir variações entre esses dois indicadores.

Na Figura 4.9, constam o gráfico de dispersão para as redes testadas e as Curvas de Lorenz, ilustrando o modo de distribuição dos valores de *AP* e a desigualdade de Acessibilidade Potencial para cada rede.

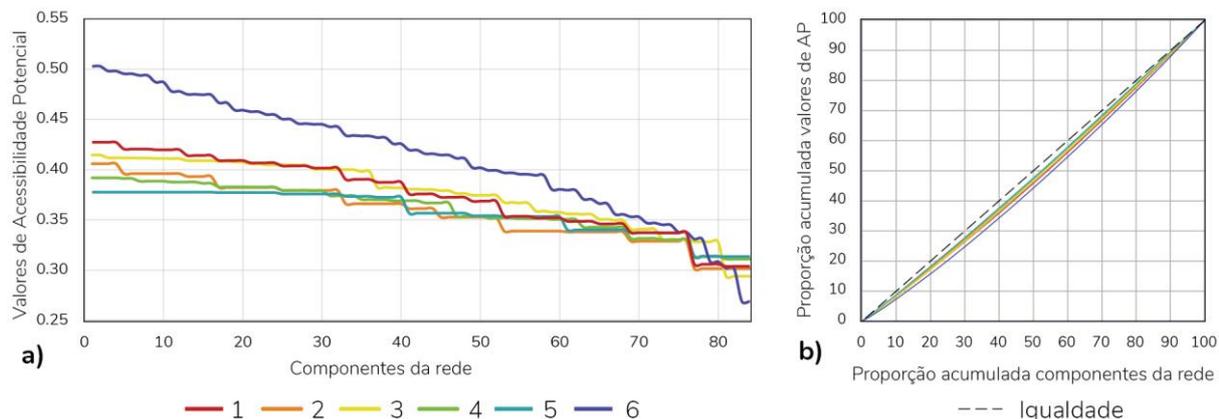


Figura 4.9 Gráficos que descrevem a distribuição e a desigualdade dos valores de AP para as redes com variações de distribuição das demandas: a) gráfico de dispersão (linhas) e b) Curvas de Lorenz.

Uma propriedade da medida que foi melhor compreendida a partir deste experimento é que ela é bastante influenciada pelos carregamentos de oferta. A variação nos valores de AP provocados pela distribuição heterogênea das concentrações de demandas foram bem menores do que aquelas averiguadas na seção anterior, que testou variações na distribuição das ofertas. Concluiu-se que esta não é uma desvantagem do método, mas que tem relação com o fenômeno sendo abordado e com o método de cálculo adotado, já que os valores da medida se referem ao desempenho das demandas (população) em relação às ofertas (empregos).

4.2.5.2 Ofertas distribuídas em polos

Apesar de produzir resultados satisfatórios, o conjunto de experimentos apresentados anteriormente representam situações bastante distantes da forma como as cidades se organizam em termos da distribuição dos empregos e da população. Por isso, foi realizado um segundo conjunto de experimentos, nos quais apresentamos como os indicadores se comportam em relação a variações na distribuição irregular das demandas e também das ofertas.

Foram testadas 6 redes de tamanhos iguais ($N = 84$). Os somatórios dos carregamentos de oferta e demanda são equivalentes para todas as redes. Cada rede possui 16 vértices com $D = 6$ e os demais 68 vértices com $D = 1$, ou seja, todos os vértices da rede possuem demandas. O somatório das demandas da rede é igual a 164. Cada rede também possui 16 vértices com $O = 10$, totalizando 160 ofertas. Assim, as Ofertas Relativas de todas as redes são equivalentes e próximas ao valor 1 (0,9756) (veja o Quadro 4.6).

A construção dessas redes foi feita de modo a simular diferentes possibilidades de distribuição de ofertas e demandas: maiores densidades dos carregamentos espacialmente distribuídos e coincidentes entre si (redes 1), maiores densidades dos carregamentos espacialmente concentrados e coincidentes entre si (rede 3 e 5), carregamentos espacialmente distribuídos e/ou concentrados, com densidades espacialmente díspares (redes 2 e 4) e maiores densidades espacialmente concentrados e díspares entre si (rede 6). A distribuição dos dados de

entrada da análise e seus respectivos resultados encontram-se ilustrados na Figura 4.10. As redes foram ordenadas de 1 a 6 conforme os resultados do Indicador de Desigualdade (*ID*) (Quadro 4.6).

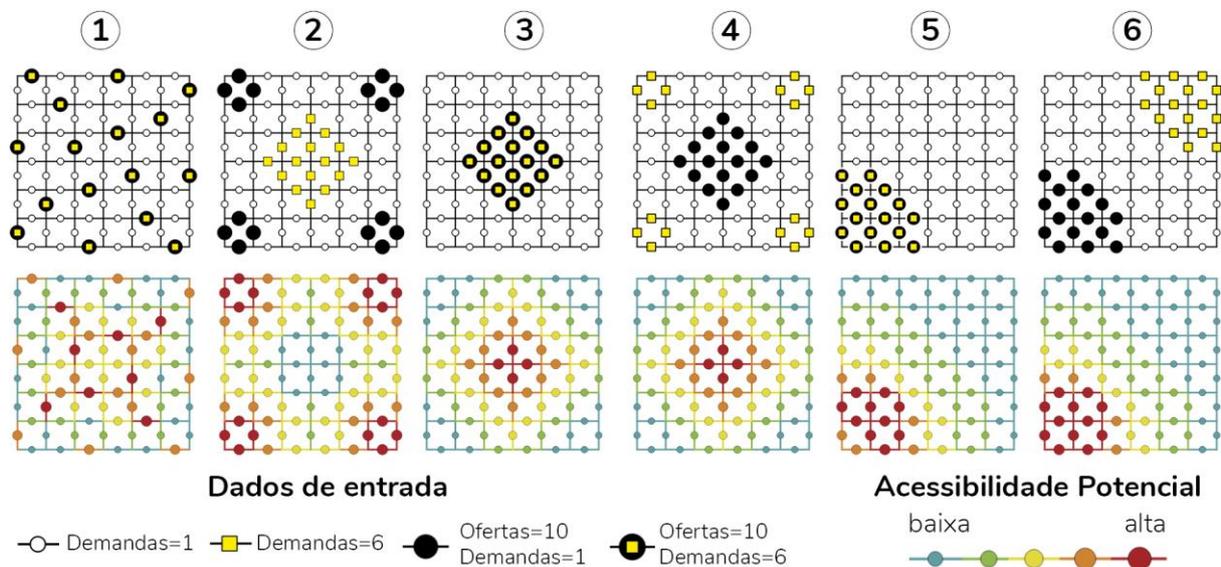


Figura 4.10 Dados de entrada e resultados da Acessibilidade Potencial para as redes com variações de distribuição das demandas, para uma distribuição não uniforme das ofertas.

		1	2	3	4	5	6
Geral	Tamanho (<i>N</i>)	84	84	84	84	84	84
	Somatório Ofertas	160	160	160	160	160	160
	Somatório Demandas	164	164	164	164	164	164
Oferta Relativa (<i>OR</i>)		0,9756	0,9756	0,9756	0,9756	0,9756	0,9756
Distribuição	Mínimo	0,7839	0,8051	0,3543	0,6239	0,2200	0,4674
	1º Quartil (<i>Q1</i>)	0,8468	0,9420	0,4435	0,7804	0,3544	0,7529
	Mediana (<i>Q2</i>)	0,9071	0,9574	0,5793	1,0199	0,4798	1,0127
	3º Quartil (<i>Q3</i>)	0,9792	1,2427	0,8537	1,5059	0,7898	1,7039
	Máximo	1,1061	1,5913	1,4285	2,5684	1,5091	3,2690
Amplitude		0,3223	0,7861	1,0742	1,9445	0,6316	2,8016
Síntese	Média Aritmética	0,9190	1,1029	0,7003	1,2361	1,2890	1,3445
	Desvio Padrão	0,0818	0,2651	0,3115	0,5554	0,3850	0,8337
	Índice de Desigualdade (<i>ID</i>)	4,9823	12,6523	23,6076	23,7759	24,1995	32,2739

Quadro 4.6 Variáveis e indicadores que descrevem o comportamento das redes com variações de distribuição das demandas, para uma distribuição não uniforme das ofertas.

Para as variáveis apresentadas no Quadro 4.6, destaca-se que a amplitude e o desvio padrão dos valores é crescente, de acordo com a ordem com que foram organizadas as redes de 1 a 6. Ou seja, a rede 1 (distribuição mais equilibrada e com densidades dos carregamentos coincidentes entre si) apresenta a menor amplitude dos valores, e essa amplitude vai aumentando para as demais redes. Contudo, assim como no experimento anterior, os indicadores de distribuição (Mínimo, *Q1*, Mediana, *Q3* e Máximo) não seguem esse padrão, sendo influenciados

pelas diversas variações na distribuição dos carregamentos de oferta e demanda ao longo da rede. Assim como no experimento anterior, o Quartis ($Q1$, Mediana e $Q3$) se mostraram úteis para captar a existência de muitos ou poucos componentes com valores baixos ou altos, descrevendo como se dá a desigualdade dentro do sistema.

O Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (ID) apresentou menores valores para a rede 1 e maiores valores para a rede 6. A relação dos resultados para as redes estão também ilustradas nos gráficos da Figura 4.11. Em geral, a exemplo do que ocorre na rede 1, o índice captou que a existência de diversos polos de concentração de empregos implica, genericamente, em menores desigualdades nos valores de AP dos componentes.

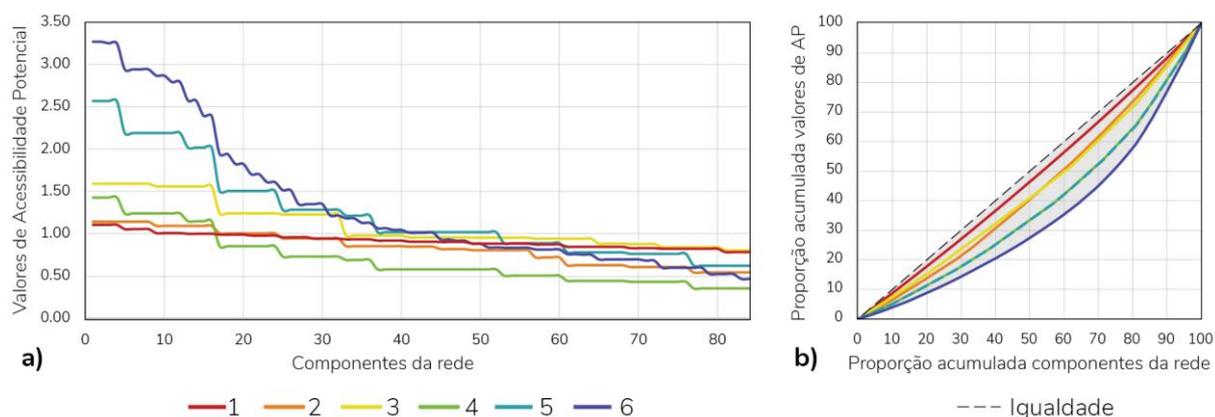


Figura 4.11 Gráficos que descrevem a distribuição e a desigualdade dos valores de AP para as redes com variações de distribuição das demandas, para uma distribuição não uniforme das ofertas: a) gráfico de dispersão (linhas) e b) Curvas de Lorenz.

A rede 2, por exemplo, possui quatro polos de empregos situados em sua periferia, enquanto a população está posicionada ao redor do centroide. Apesar de essa rede ter o mesmo número de população e empregos que a rede 3, por exemplo, a desigualdade do sistema é menor para a rede 2 porque a competição entre população, em tese, se dividiria em quatro centros, enquanto que para o caso da rede 3, toda a população do sistema estaria competindo pelos empregos que estão concentradamente posicionados.

Já ao compararmos as redes 3 e 4, o ID capta que a rede 3 é sensivelmente menos desigual que a rede 4. Interpretamos que isso ocorre porque, na rede 4, existe um número baixo de pessoas próximas dos empregos e um número alto de pessoas longe dos empregos, denotando, assim, que o desempenho da rede 4 em relação à acessibilidade aos empregos é sensivelmente pior.

Para as redes 5 e 6, ocorre algo parecido, porém a concentração dos empregos está localizada na periferia da rede. A rede 5, que possui uma concentração da população coincidente com a concentração dos empregos, apresenta desigualdade relativamente alta ($ID = 24,1995$). Mas ela é bem mais baixa que a da rede 6 ($ID = 32,2739$), em que as concentrações dos carregamentos estão localizadas em posições opostas na rede, intensificando, assim, a competição pelos empregos presente no sistema.

4.2.5.3 Variações proporcionais no tamanho e nos carregamentos de oferta e demanda

Após realizados todos os experimentos, restou uma dúvida em relação aos valores dos indicadores que descrevem propriedades globais da rede. Conceitualmente, entendíamos que eles deveriam captar que redes com tamanhos distintos, mas com um mesmo modo de distribuição dos carregamentos e com magnitudes proporcionalmente maiores em relação ao tamanho deveriam possuir o mesmo valor, já que o desempenho do sistema sendo avaliado seria o mesmo.

Assim, aplicou-se um experimento a três redes em grelha perfeita de tamanhos diferentes, sendo $N_1 = 544$, $N_2 = 840$ e $N_3 = 1404$. As redes possuem uma distribuição dos carregamentos de oferta monocêntrica e geograficamente centralizada e uma distribuição dos carregamentos de demanda em quatro polos perifericamente posicionados, conforme ilustrado na Figura 4.12.

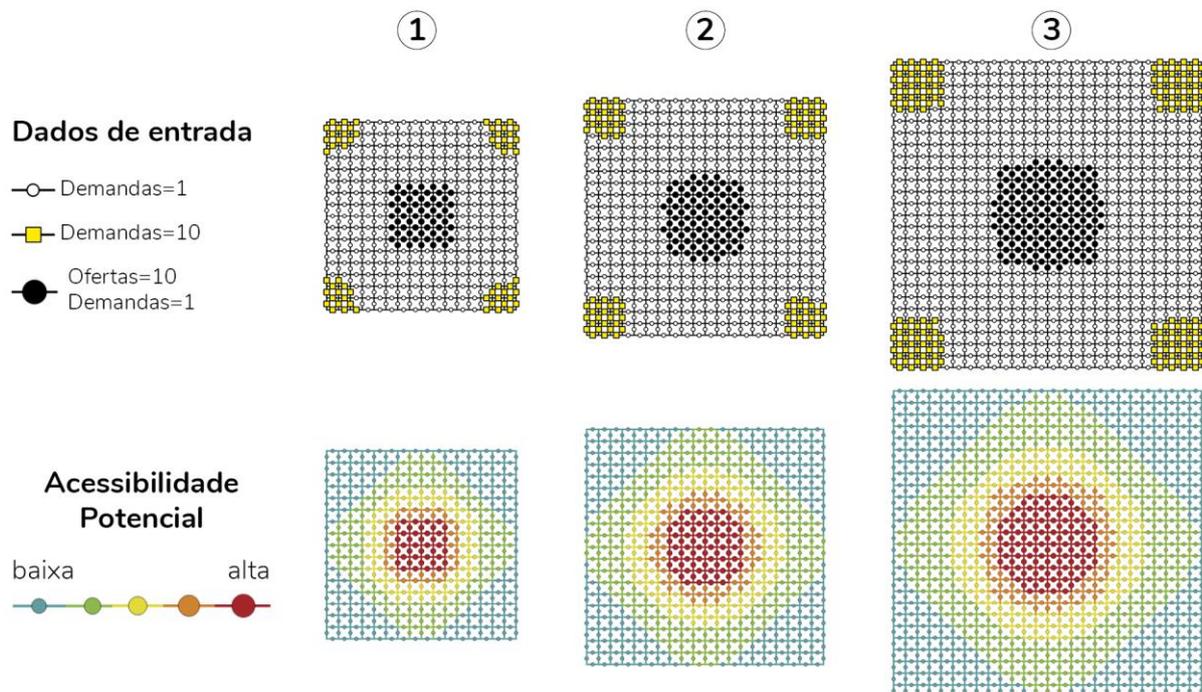


Figura 4.12 Dados de entrada e resultados da Acessibilidade Potencial para as redes com variações proporcionais no tamanho e na densidade dos carregamentos, para uma mesma distribuição dos carregamentos de oferta e demanda.

A rede 1 possui 60 vértices com $O = 10$ e $D = 10$, sendo que os demais vértices possuem $D = 1$; a rede 2 possui 94 vértices com $O = 10$ e $D = 10$, sendo que os demais vértices possuem $D = 1$; a rede 3 possui 156 vértices com $O = 10$ e $D = 10$, sendo que os demais vértices possuem $D = 1$. Ou seja, as três redes possuem características semelhantes, mas elas vão aumentando de tamanho e o somatório dos carregamentos de oferta e demanda são quase proporcionalmente maiores. Em razão disso, a Oferta Relativa é aproximadamente igual para as três redes (veja o Quadro 4.7), existindo uma diferença muito pequena entre elas. Isso ocorreu porque, ao usarmos valores inteiros para os carregamentos de oferta e demanda, a proporção em que o tamanho e a distribuição e magnitude dos carregamentos varia não fica perfeita (igual) para as três redes.

Assim como já foi averiguado no primeiro conjunto de testes, que tratou das variações no tamanho da rede, quando existe um mesmo modo de distribuição para redes de tamanhos diferentes, os valores mínimos são menores e os valores máximos são maiores para as redes maiores (Quadro 4.7). Ou seja, a amplitude vai aumentando conforme aumenta o tamanho da rede. Assim como a Oferta Relativa, a Média Aritmética é quase igual para as três redes.

		1	2	3
Geral	Tamanho (<i>N</i>)	544	840	1404
	Somatório Ofertas	600	940	1560
	Somatório Demandas	1084	1686	2808
	Oferta Relativa (<i>OR</i>)	0,553506	0,557533	0,555556
Distribuição	Mínimo	0,311926	0,307876	0,301684
	1° Quartil (<i>Q1</i>)	0,473306	0,455570	0,450430
	Mediana (<i>Q2</i>)	0,591451	0,602137	0,589857
	3° Quartil (<i>Q3</i>)	0,850153	0,863688	0,857707
	Máximo	2,113733	2,165740	2,204485
	Amplitude	1,801807	1,857865	1,902801
Síntese	Média Aritmética	0,753961	0,758341	0,756187
	Desvio Padrão	0,438250	0,450111	0,458810
	Índice de Desigualdade (<i>ID</i>)	29,528881	29,368832	29,793865

Quadro 4.7 Variáveis e indicadores que descrevem o comportamento das redes com variações proporcionais no tamanho e na densidade dos carregamentos, para uma mesma distribuição dos carregamentos de oferta e demanda.

Repare que, em razão da Oferta Relativa não ser exatamente igual para as três redes, isso implicou que os valores apresentados pelo Índice de Desigualdade (*ID*) ficaram um pouco diferentes. Contudo, concluiu-se que, muito provavelmente essas diferenças não estão relacionadas com as variações no tamanho da rede para o mesmo tipo de distribuição, e sim com os valores da Oferta Relativa. Isso porque os valores desta última, da Média Aritmética e do *ID* foram maiores para a rede 2 (rede de tamanho médio), seguidas pela rede 1 (menor rede) e, por fim, pela rede 3 (maior rede).

Esse experimento apontou que os indicadores captaram o que era desejado, apresentando valores semelhantes para redes de tamanhos distintos com a mesma distribuição dos carregamentos e as magnitudes desses carregamentos proporcionalmente maiores em relação ao tamanho. É importante destacar, no entanto, que isso ocorre porque a variável distância está sendo considerada a partir de sua função recíproca (inverso simples). Se estivessem sendo consideradas funções não lineares de decaimento da distância, os indicadores apresentariam valores diferentes para as três redes, já que quanto maior o tamanho, maiores são as distâncias entre os núcleos de concentração da população (nas periferias da rede) e dos empregos (ao redor do centroide).

4.3 SÍNTESE DAS PROPRIEDADES DOS INDICADORES

Propomos neste trabalho um indicador que reflete propriedades de desempenho individuais dos componentes de uma rede espacial urbana. O indicador de Acessibilidade Potencial (*AP*) é uma medida configuracional de acessibilidade direcionada e valorada. Seu método de cálculo procura capturar características do desempenho do sistema relacionados à disparidade geográfica entre os empregos (ofertas) e a população (demandas) do sistema, o que implica em especificidades que se refletem nos valores da medida para os componentes da rede.

O critério de discretização por conectividade, em que a unidade espacial é o segmento viário, mostrou-se adequado para o tipo de análise realizada, em que as distâncias são medidas pela sua dimensão euclidiana. Esse critério permite uma boa precisão em relação ao posicionamento dos carregamentos na rede, além de descrever com detalhe as possibilidades de escolha e de mudanças de deslocamento dentro da rede espacial urbana.

Propomos também indicadores que descrevem propriedades globais da rede, baseados no indicador de Acessibilidade Potencial. Eles permitem a análise, interpretação e comparação da distribuição dos valores do referido indicador e do desempenho global da rede em relação ao fenômeno abordado pela pesquisa. O indicador que apresentou resultados mais relevantes e promissores foi o Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (*ID*), uma adaptação do Coeficiente de Gini, que indica o nível de hierarquização dos valores de *AP* para os sistemas.

É interessante destacar as relações encontradas entre a Oferta Relativa do sistema e a Média Aritmética dos valores de Acessibilidade Potencial. Para todos os experimentos em que não existe variação nos carregamentos de demanda (em que demandas de todos os componentes são equivalentes entre si), a Oferta Relativa e a Média dos Valores coincidem. Ou seja, a tendência central dos valores de *AP* para os componentes da rede coincide com a proporção entre os empregos e a população presente na rede. Quando se empregam análises em que os carregamentos de demanda não são equivalentes entre si, os valores para a Oferta Relativa e para a Média Aritmética deixam de ser iguais.

Essa relação entre os valores da Oferta Relativa e da Média Aritmética demonstram o tipo de normalização a qual o indicador *AP* está submetido, decorrente do seu método de cálculo: seus valores sempre flutuam em torno da Oferta Relativa. Portanto, o critério de modelagem captura nos valores individuais de *AP* dos componentes da rede as variações decorrentes de uma compatibilidade, ou incompatibilidade, global: os valores das *OR*. Desse modo, ao serem comparados os desempenhos de componentes de sistemas distintos, a proporção de empregos pela população já está refletida nos valores do indicador *AP*. Em outras palavras, os resultados do indicador para os componentes da rede não são valores abstratos, mas estão parametrizados pelos valores da Oferta Relativa. O nível em que a tendência central dos valores de *AP* se desloca do valor da Oferta Relativa, por sua vez, depende das características de distribuição e magnitude dos carregamentos e de topologia da rede.

Considerando-se uma situação de perfeita compatibilidade entre ofertas e demandas (todos os componentes da rede possuem o mesmo valor para esses carregamentos), os valores de *AP* e dos indicadores sintéticos ficam livres da influência do tamanho da rede. Ou seja, redes de tamanhos distintos e de mesma topologia possuirão o mesmo padrão de distribuição da medida. Em redes de maior tamanho, menores são os valores de *AP* presentes na rede, o que indica que menor é a capacidade de um único vértice exercer influência no comportamento geral do sistema. Havendo essa perfeita compatibilidade, os valores da medida também ficam livres da influência da densidade dos carregamentos de oferta e demanda. Independentemente da magnitude dos carregamentos, para uma mesma forma topológica e para um perfeito equilíbrio na distribuição das ofertas e demandas, os valores de *AP* e o seu padrão distributivo são equivalentes.

O indicador (*AP*) permite captar, nos valores individuais dos componentes da rede e nos indicadores sintéticos, diferenças decorrentes da topologia da rede, da distribuição das ofertas e da distribuição das demandas. Para o experimento que aplica variações na topologia de redes com perfeita compatibilidade entre ofertas e demandas, o indicador captou que as formas mais compactas e com núcleo de acessibilidade único tendem a gerar maior desigualdade do que as formas mais dispersas, com núcleos de acessibilidade alternativos. Concluiu-se que esta propriedade está relacionada à característica de competição embutida no método de cálculo do indicador, uma vez que a existência de núcleos alternativos distantes entre si restringe a competição da população pelos empregos dentro do sistema.

Para os experimentos que aplicam variações na distribuição das ofertas somente, os indicadores captaram adequadamente que estruturas espaciais que possuem uma distribuição mais difusa dos empregos são menos desiguais e que quando os empregos são mais concentrados, a estrutura espacial é mais desigual. Além disso, no caso de uma maior concentração dos empregos em um único polo, a estrutura espacial é identificada como mais desigual quando essa concentração está localizada longe do centroide da rede.

Destaca-se que esse modo de analisar a Acessibilidade Potencial é análoga ao modelo de Oportunidade Espacial (KRAFTA, 1996), em que se avalia a distribuição das ofertas da rede e se considera que os carregamentos de demanda são equivalentes entre si e iguais a 1. No entanto, a diferença é que o indicador *AP*, como foi visto, é uma medida que não sofre o efeito do tamanho da rede (já normalizada), permitindo comparações entre componentes de redes distintas. Esse tipo de análise, em que é considerada somente a variação na magnitude das ofertas, se mostra interessante quando está sendo avaliada a acessibilidade da população a algum tipo de oportunidade urbana que não sofre influência significativa da competição pelas ofertas.

Para os experimentos que aplicam variações na distribuição das demandas para uma distribuição homogênea das ofertas, os indicadores captaram que os menores níveis de desigualdade, refletidos nos valores de *ID*, estão nas estruturas espaciais em que as concentrações da população estão posicionadas mais próximas do centroide da rede. Já para os experimentos

que analisaram a sensibilidade dos indicadores em relação a variação na distribuição das demandas para distribuições não uniformes das ofertas, o Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (*ID*) apresentou resultados que ranquearam as redes testadas de modo que, quando existe um número maior de polos de concentração de empregos, a estrutura espacial é menos desigual. A interpretação atribuída a esses resultados é a de que a existência de polos alternativos de concentração de empregos é capaz de restringir a competição entre a população por esses empregos, mais difusamente distribuídos ao longo do sistema. Quando os empregos são concentrados em um polo único, a desigualdade passa a ser maior, e quanto mais longe a concentração dos empregos está do centroide da rede, maior ainda é a desigualdade. No caso das variações nas concentrações das demandas, quando elas estão mais preponderantemente posicionadas junto às concentrações das ofertas, a desigualdade é mais baixa.

Os indicadores Mínimo, *Q1*, Mediana, *Q3* e Máximo se mostraram muito relevantes para descrever a distribuição dos valores de Acessibilidade Potencial (*AP*) nos sistemas representados. Eles mostram se existem muitos ou poucos componentes com valores altos ou baixos dentro do sistema. Por essa razão, podem ser utilizados para avaliar o desempenho dos sistemas complementarmente à Média Aritmética e ao Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (*ID*). A relação dos indicadores de distribuição com a Média Aritmética revela em que nível a maior ou menor parte dos componentes possuem valores mais baixos ou mais altos. Já a relação desses indicadores com o *ID* ajudam a identificar como a desigualdade se dá dentro do sistema.

A medida *AP* é bastante sensível aos carregamentos de oferta. Em um primeiro momento, entendemos que isso poderia ser uma desvantagem do método. Não obstante, se a variável população recebesse maior peso sobre as demais variáveis, provavelmente teríamos uma situação em que localizações com altas concentrações de empregos e de população possuiriam um valor mais baixo de Acessibilidade Potencial do que outras localizações com baixas concentrações de empregos e população, o que não seria um resultado plausível. Esse tipo de resultado indesejável foi também reportado por Gonçalves (2011) em seu desenvolvimento de um indicador de acessibilidade que capta relações de dispersão urbana baseada em locais de oferta e demanda.

Concluimos que, guardadas as limitações que foram pontuadas, os experimentos realizados validaram os indicadores e os métodos de análise propostos para a avaliação da acessibilidade da população aos empregos, capturando adequadamente certos aspectos do fenômeno, em conformidade com aquilo que era inicialmente desejado. O próximo capítulo aplica análises com base em dados reais de duas cidades médias brasileiras situadas no estado do RS.

5 EXPERIMENTOS BASEADOS EM DADOS EMPÍRICOS

Este capítulo procura aplicar os indicadores e os métodos de análise propostos, trabalhando agora com dados reais de duas cidades médias do Rio Grande do Sul: Pelotas e Passo Fundo. Primeiro, é apresentada a metodologia para estes estudos empíricos e na sequência os resultados e as discussões.

5.1 METODOLOGIA

5.1.1 Delimitação dos casos empíricos

A abordagem foi implementada a duas cidades, pois pretendeu-se testar a abordagem proposta em cidades com diferentes características de porte, forma, complexidade e estruturação socioespacial. Grandes cidades foram evitadas porque essas também são as mais abordadas na maioria das pesquisas que tratam da avaliação da acessibilidade aos empregos.

Definimos como foco as cidades médias brasileiras. A definição de cidade média não é simples e não há consenso no Brasil sobre o assunto. Autores como Corrêa (2007), Silva (2013) e Sposito et al. (2007) advogam que dois elementos são fundamentais para essa definição: o critério do tamanho demográfico e o critério da influência regional. Quanto ao critério demográfico, o Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE) define como cidades de porte médio, aquelas com população entre 100 e 500 mil habitantes. Quanto ao critério da influência regional, adotamos as definições de hierarquia regional resultantes da pesquisa Regiões de Influência das Cidades – REGIC 2018 (IBGE, 2020). Definimos que as cidades a serem abordadas deveriam ter, pelo menos, a classificação de *Capital Regional*.

As cidades a serem abordadas também não deveriam ser conurbadas ou pertencerem a aglomerações urbanas ou Regiões Metropolitanas. Desse modo, minimizamos as influências externas e o efeito de borda (GIL, 2017) no cálculo da Acessibilidade Potencial. Além disso, desejávamos abordar cidades que possuíssem diferentes configurações da malha urbana e algum tipo de diversificação no modo de distribuição dos empregos e dos grupos populacionais. Do ponto de vista da distribuição espacial dos empregos, as cidades médias geralmente apresentam uma estruturação espacial mais monocêntrica. Em outras palavras, a maioria dos empregos tende ainda a se concentrar no centro histórico (fundacional) das cidades, embora haja a tendência de descentralização em outros polos alternativos de emprego menos preponderantes.

Assim, foram selecionadas duas cidades do estado do Rio Grande do Sul a comporem os estudos empíricos: Pelotas e Passo Fundo. Ambas as cidades gaúchas possuem entre 100 e 500 mil habitantes, são capitais regionais e seu território urbano é relativamente pouco influenciado por outras aglomerações urbanas, em termos de proximidade (FEPAM, 2005). A aplicação empírica desta dissertação foi recortada para analisar especificamente a Acessibilidade Potencial da população de baixa renda aos empregos, em cada uma das cidades.

5.1.2 Modelagem dos sistemas espaciais

Assumimos como critério de representação dos sistemas espaciais a discretização por conectividade, em que a unidade espacial discreta é o segmento viário. Os mapeamentos dos segmentos viários foram elaborados adotando-se os seguintes critérios:

- (1) Uma unidade espacial representa um segmento viário entre duas interseções (esquinas ou mudanças significativas na geometria da via).
- (2) O traçado viário foi mantido na sua geometria original, obedecendo-se curvas e deflexões, sendo as distâncias calculadas considerando essa geometria original.
- (3) Somente vias de acesso público foram incluídas, desconsiderando-se vias com acesso restrito, como as do interior de condomínios fechados ou estabelecimentos industriais, por exemplo.
- (4) O mapeamento dos segmentos viários foi realizado tendo como referência a Base de Faces de Logradouros do IBGE (2019), e foram utilizados os mapas de satélite e o banco de dados do Open Street Maps para complementações.

5.1.3 Bancos de dados e estratégias de análise

Conforme exposto no capítulo 2, avaliar a acessibilidade da população aos empregos com vistas à questão da Incompatibilidade Espacial requer que sejam pré-definidos o tipo de emprego e o grupo populacional minoritário cuja incompatibilidade está sendo avaliada. A literatura que trata da acessibilidade aos empregos aponta que é adequado segmentar a população a partir do critério sócio-ocupacional. Nesse caso, avalia-se a acessibilidade da população de determinado nível de qualificação profissional aos empregos especificamente destinados a esse nível (ex.: empregos destinados a população de baixo nível de qualificação profissional). Isso porque, em tese, somente esse tipo de postulante estaria disposto a competir por esse tipo de emprego, e outros postulantes procurariam vagas de emprego compatíveis com sua qualificação.

No entanto, a obtenção de dados para estudos empíricos desse tipo é muito complexa, principalmente por causa da especificidade dos dados relacionados à população e do sigilo dos dados relacionados aos empregos. Como propomos um estudo comparativo, também precisávamos utilizar dados de empregos e de população provenientes de uma mesma fonte e que tivessem sido levantados com o mesmo critério para as duas cidades abordadas. A seguir, apresentamos os dados e os procedimentos metodológicos adotados para os estudos empíricos.

5.1.3.1 Dados dos empregos

Os carregamentos de oferta se referem aos empregos formais. Adotamos como fonte dos dados a Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). A RAIS reúne informações relacionadas ao controle da atividade trabalhista brasileira e provê dados para a elaboração de estatísticas do trabalho. Utilizamos o banco de *microdados RAIS Estabelecimento* referente ao ano de 2019.

O banco contém dados dos estabelecimentos formais e informações como *Quantidade de Vínculos Ativos*, *CEP do estabelecimento* e *Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0)*. A *Quantidade de Vínculos Ativos* se refere ao estoque de vínculos empregatícios ativos em 31 de dezembro de 2019. Esse dado será adotado como valor numérico para a valoração dos carregamentos de oferta do modelo.

A RAIS é uma fonte de dados bem documentada, cuja metodologia de coleta dos dados está consolidada no país. Contudo, devido aos requisitos de anonimato dos registros individuais, não é possível identificar a localização exata dos estabelecimentos. Assim, uma limitação desse banco de microdados é que ele não contém a informação de coordenadas geográficas (x, y) dos endereços dos estabelecimentos, o que permitiria a geocodificação precisa dos mesmos. O único dado de localização presente no banco, que utilizamos para fazer a geocodificação, se refere aos CEPs dos estabelecimentos. Isso implica em possíveis imprecisões na localização dos estabelecimentos. Apesar disso, optamos pela utilização dessa fonte de dados pois é a única disponível a nível nacional para todas as cidades do país. Fizemos a geocodificação dos estabelecimentos a partir do *Google Earth Pro*.

A *Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0)* é a classificação oficialmente adotada pelo Sistema Estatístico Nacional e pelos órgãos gestores de cadastros e registros da Administração Pública brasileira. A CNAE 2.0 é uma classificação hierarquizada em cinco níveis – seções, divisões, grupos, classes e subclasses.

Essa classificação foi utilizada para fazer uma limpeza no banco de dados. Seguindo a metodologia adotada por Pereira et al. (2019), foram removidos das análises os postos de empregos vinculados ao setor de *Construção*, *Transporte Rodoviário de Carga* e *Administração Pública*, *Defesa e Seguridade Social*. Nos dois primeiros casos, a localização dos postos de trabalho é modificada frequentemente e as localizações dos estabelecimentos tendem a ser declaradas pelas empresas em uma única matriz. No caso do setor de administração pública, defesa e seguridade social, os postos de trabalho são distribuídos em diversas unidades, mas tendem a ser declarados em um único endereço. A remoção desses dados serve para evitar possíveis distorções na distribuição espacial dos empregos.

Cabe reforçar que essa fonte de dados também não contém informações sobre vagas de emprego no mercado de trabalho informal. Portanto, os resultados da análise estão condicionados somente pelas vagas ofertadas nos estabelecimentos formais.

Por questões de sigilo, a versão pública do banco de microdados RAIS não provê informações sobre níveis de qualificação profissional ou faixa salarial dos postos de trabalho. Por isso, optou-se por considerar todos os postos de trabalho formais como carregamento das ofertas nas análises realizadas.

5.1.3.2 Dados da população

Os dados referentes aos carregamentos de demanda utilizados nas análises possuem como fonte o Censo Demográfico do IBGE de 2010 (IBGE, 2011). Evidentemente haverá uma defasagem temporal dos dados de demanda, mas não existe outro recenseamento, a nível nacional, de dados de população e renda com desagregação espacial aceitável para este estudo empírico.

Para o caso brasileiro, a população usualmente considerada nos estudos relacionados ao trabalho é a População em Idade Ativa (PIA), que corresponde à classificação etária do conjunto de pessoas aptas a exercer uma atividade econômica. Na metodologia utilizada pelo Censo Demográfico do IBGE de 2010, a PIA foi definida como a população com 10 anos ou mais de idade. Esta definição foi adotada neste trabalho¹⁹.

A informação do Censo mais adequada para nossas análises seria o nível de instrução. No entanto, os resultados das variáveis correspondentes não estão disponíveis para os setores censitários, somente para as áreas de ponderação. Essas últimas são unidades espaciais muito grandes e, assim, inadequadas para análises configuracionais na escala intraurbana. Como alternativa, foi adotada a variável *Pessoas com 10 anos ou mais de idade por faixa de rendimento mensal*, entendendo-se que a renda pode ser adotada como um indicador da qualificação profissional, já que empregos com maiores faixas salariais geralmente são ocupados por pessoas com maior qualificação profissional e vice-versa.

Para segmentar a população em faixas de rendimento salarial, foi adotado o critério de estratificação socioeconômica da Secretaria de Assuntos Estratégicos – SAE (BRASIL, 2012). A SAE propôs esse critério valendo-se da ideia de que ele deveria ser passível de ser implementado com informações disponíveis e objetivas, e ainda assim ser fidedigno, metodologicamente sólido e de fácil compreensão. A SAE limitou o critério de estratificação socioeconômica para uma única variável, a renda mensal per capita, originada da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD. Embora existam critérios de estratificação socioeconômica que são multidimensionais e, portanto, mais apurados, o critério da SAE permite a adoção dos dados de população e renda do Censo Demográfico do IBGE de 2010, agregados por setores censitários. No Quadro 5.1, consta a definição dos estratos socioeconômicos segundo o modelo SAE.

Na coluna da extremidade direita, constam as variáveis da planilha *Pessoa_Renda_RS.csv*, correspondentes ao número de pessoas com 10 anos ou mais de idade por faixa de rendimento mensal, de acordo com a estratificação proposta pelo modelo SAE. A partir desses dados, a população pode ser classificada em três estratos de renda: alta renda, renda média e baixa renda

¹⁹Cabe ressaltar, no entanto, que a faixa etária da classificação PIA possui diferentes definições, de acordo com cada pesquisa, e foi alterada na metodologia utilizada para a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD Contínua (IBGE, 2014), por exemplo, para 14 anos ou mais de idade.

e cada setor censitário comporta uma quantidade de população correspondente a cada estrato. Os dados da baixa renda serão utilizadas nos experimentos como carregamentos de demanda.

Estratos socioeconômicos		Renda per capita mensal		Variáveis do Censo	
	Denominação	R\$	Salários mínimos (2010)	Planilha	
				PessoaRenda_RS.csv	
1	Extremamente pobre	Até 81			
2	Baixa Renda	Pobre, mas não extremamente pobre	Entre 81 e 162	Entre 0 e ½	= V001 + V010
3		Vulnerável	Entre 163 e 291		
4	Renda Média	Baixa classe média	Entre 292 e 441		
5		Média classe média	Entre 442 e 641	Entre ½ e 2	= V002 + V003
6		Alta classe média	Entre 642 e 1.019		
7	Alta Renda	Baixa Classe Alta	Entre 1.020 e 2.480	Acima de 2	= V004 + V005 + V006 + V007 + V008 + V009
8		Alta Classe Alta	Mais de 2.480		

Quadro 5.1 Critério de estratificação socioeconômica proposta pela Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE) e variáveis do Censo Demográfico do IBGE de 2010 (IBGE, 2011) correspondentes aos estratos socioeconômicos.

Fonte: Brasil (2012), Kamakura e Mazzon (2016) e IBGE (2011).

5.1.3.3 Tratamento do Transporte Coletivo por Ônibus

Em termos da noção de acessibilidade, os sistemas de transporte coletivo por ônibus geram o impacto de aproximar localizações para um alto número de pessoas ao mesmo tempo. No Brasil, este é um modo de transporte ao qual a população de baixa renda tende a ser especialmente dependente, principalmente para o deslocamento para o trabalho (PEREIRA et al., 2019; ANTP, 2020). Por essas razões, procuramos explorar um método para incorporar o efeito da presença do transporte coletivo intraurbano por ônibus na análise da Acessibilidade Potencial.

Os seguintes pressupostos foram considerados para a elaboração do método:

- (1) O efeito da presença do transporte coletivo sobre a acessibilidade aos empregos da população depende do modo de distribuição e conexão das linhas e paradas de ônibus.
- (2) Ao embarcar nos ônibus, a população usuária adquire uma potencialização em sua facilidade de interação espacial com as ofertas de empregos.
- (3) Cada linha de ônibus pode ser posta como uma rede espacial internamente conectada que é independente da rede de ruas, mas que altera as características de acessibilidade nela presentes.
- (4) A conexão entre cada rede espacial correspondente às linhas de ônibus com a rede de ruas se dá nas localizações das paradas de ônibus, pois é nessas localizações que a população usuária pode desembarcar para seguir para seus destinos.

Assim, as redes espaciais de cada linha de ônibus foram representadas em camadas de linhas independentes entre si e separadas dos mapas de segmentos viários correspondentes às redes de ruas. As redes espaciais correspondentes às linhas de ônibus são grafos completos, ou seja, todos os seus vértices (equivalentes às unidades espaciais que conectam as localizações das

paradas de ônibus) são conectados entre si. Para melhor representar a potencialização na facilidade de interação espacial propiciada pelo transporte por ônibus, essa conexão foi feita em linha reta, e não seguindo o desenho da rede de ruas. A conexão entre a rede de ruas e as diversas redes das linhas de ônibus foram alocadas na justaposição de segmentos viários da rede de ruas mais próxima de cada parada de ônibus. As relações entre a camada da rede de ruas e as diversas camadas das redes das linhas de ônibus no método proposto estão ilustradas na Figura 5.1.

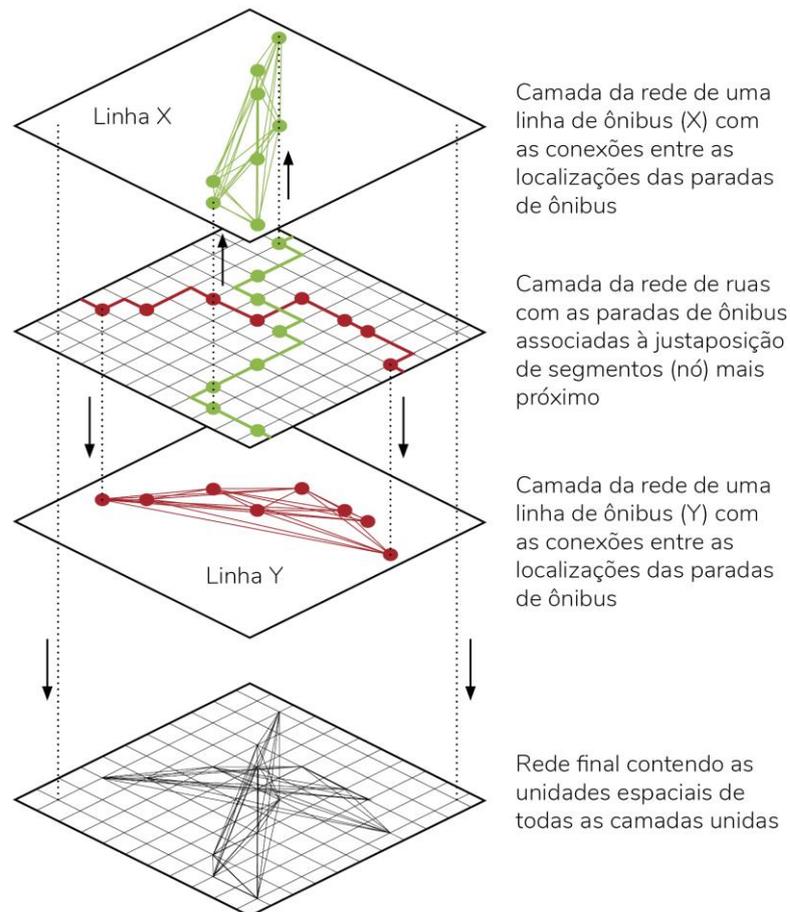


Figura 5.1 Relação entre a rede de ruas e as redes das linhas de ônibus no método proposto.

Além disso, foi testada a introdução de um ponderador que aplica um fator de redução no comprimento das ligações correspondentes às unidades espaciais das redes das linhas de ônibus, intensificando a alteração do comprimento dos caminhos mínimos entre pares de vértices da rede. O ponderador (P) é um potencializador da acessibilidade e é associado aos segmentos das redes de ruas e às unidades espaciais das redes das linhas de ônibus. O efeito do ponderador P no comprimento das ligações equivalentes às unidades espaciais é descrito pela Equação 13:

$$l_q' = P_q \cdot l_q \quad (10)$$

onde P_q é o valor numérico do ponderador P para a unidade espacial q , l_q é o comprimento real da unidade espacial q e l_q' é o comprimento da unidade espacial q considerada nas tomadas de distâncias pelo modelo.

O valor do ponderador (P) deve variar entre 0 e 1. Quando o valor do ponderador para uma unidade espacial é igual a 1, o comprimento considerado nas tomadas de distâncias pelo modelo é equivalente ao comprimento real da unidade espacial. Se for atribuído um valor abaixo de 1, o comprimento considerado nas tomadas de distâncias pelo modelo é menor que o comprimento real da unidade espacial. A ideia é a de que esse método seja capaz de alterar os caminhos mínimos entre pares de componentes da rede, reduzindo artificialmente a excentricidade dos componentes mais próximos das localizações das paradas de ônibus e dos componentes vizinhos.

Para a aplicação empírica realizada no trabalho, atribuímos o valor de $P = 1$ a todos os segmentos viários da rede de ruas, ou seja, o valor computado pelo modelo são as distâncias reais tomadas na rede de ruas. Para as unidades espaciais correspondentes às redes das linhas de ônibus, testamos a introdução de diferentes valores de P , a fim de representar uma espécie de encurtamento das distâncias propiciado pela presença do transporte por ônibus. Os valores de P testados foram os seguintes: 1 (nenhuma redução), 0,5, 0,25, 0,1, 0,05 e 0,01.

Para as análises, adotamos dados geoespaciais dos sistemas de transporte coletivo intraurbano por ônibus. Estes foram cedidos pela Prefeitura Municipal de Pelotas e pela Prefeitura Municipal de Passo Fundo e são referentes ao ano de 2019. Os dados correspondem a camadas de pontos que correspondem à localização das paradas de ônibus do transporte coletivo intraurbano e que possuem a informação de qual linha de ônibus pertencem.

5.1.3.4 Definição dos experimentos

Tendo em vista os bancos de dados disponíveis para a realização da pesquisa e suas limitações, definimos o modo como os experimentos foram realizados, o qual está descrito resumidamente no esquema da Figura 5.2. A População em Idade Ativa de Baixa Renda foi considerada para os carregamentos de demanda e todos os empregos formais foram considerados para os carregamentos de oferta.

Dada a natureza exploratória do tratamento do transporte por ônibus no modelo, optamos por separar as análises realizadas em dois experimentos. O primeiro não considera a introdução do efeito desse modo de transporte nas análises. O segundo apresenta os resultados dos testes realizados para os diferentes valores do ponderador P adotados, descrevendo e discutindo como esse método influenciou nos resultados originais.

Os cálculos da medida para as redes espaciais foram processados no software QGIS, a partir do script GAUS. A interpretação dos resultados e as comparações entre os casos empíricos foram realizadas a partir de análises visuais e estatísticas. As análises visuais consistiram na apreensão dos resultados para os componentes das redes espaciais a partir da elaboração de mapeamentos da distribuição espacial dos valores do indicador a partir do software QGIS. As análises estatísticas foram realizadas a partir dos indicadores sintéticos, apresentados nos capítulos anteriores, bem como com o auxílio de gráficos e testes estatísticos que serão mencionados em momento oportuno. Para essas análises foram utilizados os softwares *Microsoft Excel* e *IBM SPSS Statistics*.

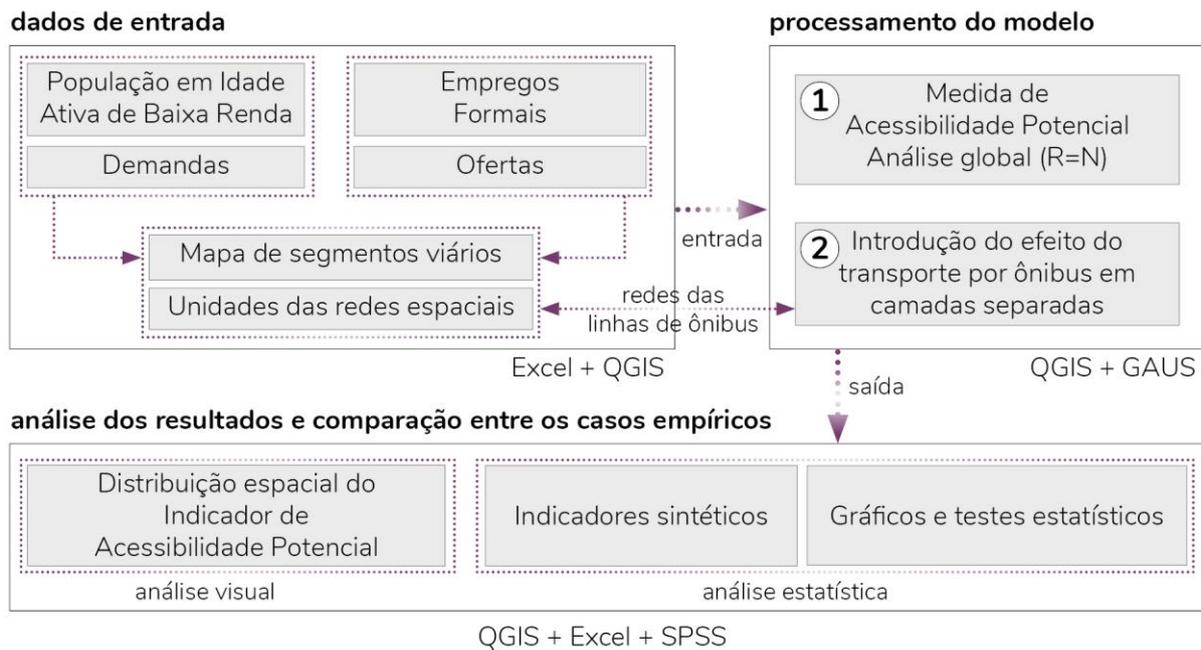


Figura 5.2 Esquema dos experimentos realizados.

5.1.4 Associação dos dados ao sistema espacial

Adotamos uma série de técnicas de geoprocessamento para associar os dados de empregos (ofertas) e população (demandas) aos sistemas espaciais (mapa de segmentos viários) assim como para criar as redes correspondentes às linhas de ônibus e conectá-las às redes de ruas. Descrevemos essas técnicas a seguir.

5.1.4.1 Carregamentos de demanda

Os dados de população, agregados por setores censitários, foram associados ao mapa de segmentos viários a partir dos seguintes procedimentos, ilustrados na Figura 5.3:

- (1) Aplicamos o comando *Centroides* à camada dos segmentos. Daí resultou uma nova camada de pontos referentes aos pontos médios de cada segmento.
- (2) Aplicamos o comando *Contagem de Pontos em Polígono* de modo a contar o número de pontos médios dos segmentos existentes dentro de cada setor censitário. Esse comando incluiu uma coluna com essa informação na tabela de atributos da camada dos setores.
- (3) Posteriormente, utilizando-se a *Calculadora de Campo*, a coluna que continha a quantificação da população foi dividida pela coluna que continha o número de pontos médios dos trechos em cada setor. Isso resultou em uma nova coluna com o total da população do setor uniformemente distribuída pelo número de segmentos dentro do setor.
- (4) Transferimos essa informação para a camada dos pontos médios dos segmentos e, posteriormente, desta para a camada dos segmentos com o comando *Associar atributos por local*.

(5) Em algumas situações, existem setores censitários que não contém nenhum ponto médio correspondente aos segmentos. Para resolver esse problema, foi utilizado o complemento *NNJoin*. A partir deste complemento, a população pertencente a esses setores (que não contém pontos médios) foram associados ao ponto médio mais próximo.

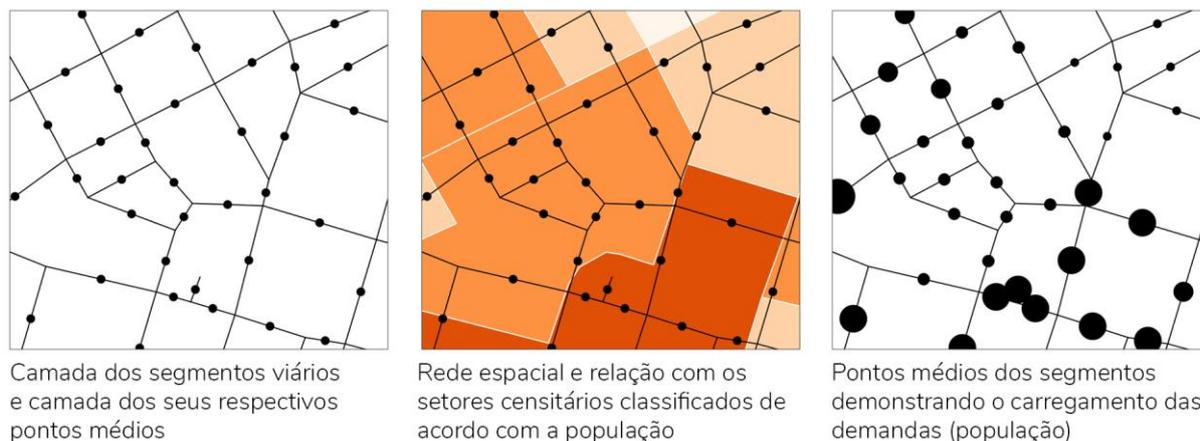


Figura 5.3 Procedimentos adotados para a associação dos dados de demanda ao sistema espacial.

5.1.4.2 Carregamentos de oferta

Os dados de empregos, identificados por camadas de pontos, foram associados aos mapas de segmentos viários a partir dos seguintes procedimentos, ilustrados na Figura 5.4:

- (1) Aplicamos o comando *Centroides* à camada dos segmentos viários. Dessa operação, resultou uma camada de pontos correspondentes ao ponto médio dos segmentos.
- (2) À camada de pontos médios, aplicamos o comando *Polígonos de Voronoi*. A camada de polígonos resultante preserva a informação do id dos segmentos.

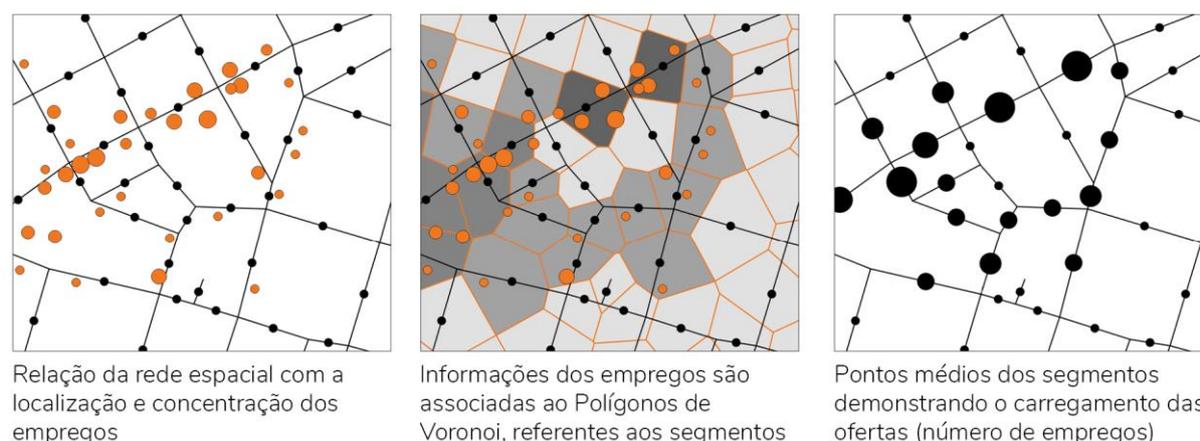


Figura 5.4 Procedimentos adotados para a associação dos dados de oferta ao sistema espacial.

(3) Os dados pontuais referentes aos carregamentos de oferta e à localização das paradas de ônibus foram transferidos para os *Polígonos de Voronoi* com a aplicação do comando *Unir atributos por localização (sumário)*. Esse comando transfere campos de uma camada para a outra com base em sua localização, e permite que sejam feitas operações matemáticas nessas

transferências de campos. Como podem existir diversos pontos sobrepostos a um polígono, utilizamos esse comando para somar os atributos e atribuir esse somatório aos polígonos.

(4) Transferimos os dados dos empregos, já incorporados aos *Polígonos de Voronoi*, para a camada de segmentos unindo as tabelas das duas camadas a partir do id.

5.1.4.3 Criação das camadas das redes correspondentes às linhas de ônibus

Para criar as diferentes camadas de redes correspondentes às linhas de ônibus, foram adotados os seguintes procedimentos, ilustrados na Figura 5.5.

(1) Aplicamos o comando *Vértices* à camada dos segmentos viários. Dessa operação, resultou uma camada de pontos correspondentes aos nós das extremidades dos segmentos.

(2) À camada de vértices, aplicamos o comando *Remover Geometrias Duplicadas* de modo que houvesse apenas um nó na justaposição dos segmentos.

(3) À camada resultante, aplicamos o comando *Polígonos de Voronoi*. A camada de polígonos resultante preserva a informação do id dos segmentos.

(4) A informação do nome da linha de ônibus, presente na camada de dados pontuais referentes à localização das paradas de ônibus, foi transferida para os *Polígonos de Voronoi* com a aplicação do comando *Unir atributos por localização (sumário)*. Dessa forma os *Polígonos de Voronoi* receberam uma coluna com a informação textual do nome da linha de ônibus da parada.

(5) Transferimos os dados referentes às linhas de ônibus, já incorporados aos *Polígonos de Voronoi* para a camada dos nós a partir do comando *Associar atributos por local*. Para os *Polígonos de Voronoi* que possuíam mais de uma parada de ônibus correspondente, as paradas adicionais tiveram de ser incluídas manualmente a partir da introdução de unidades pontuais adicionais.

(6) Na sequência, salvamos um novo arquivo vetorial contendo somente os nós que possuíam informações sobre as linhas de ônibus, ou seja, que representavam a localização de uma ou mais paradas de ônibus.

(7) Sobre essa nova camada, aplicamos o comando *Hub Lines*. Esse comando permite gerar uma camada de linhas que conecta os pontos de uma camada de pontos (em linha reta) baseando-se em algum parâmetro desejado. As conexões foram estabelecidas a partir da informação do nome da linha de ônibus, já presente da camada dos nós. Daí resultou uma camada de linhas conectando todos os nós correspondente a uma mesma linha de ônibus.

(8) Aplicamos sobre a camada das *Hub Lines* o comando *Remover geometrias duplicadas*, pois elas são geradas de um nó para o outro e vice-versa.

(9) Aplicamos o comando *Mesclar camadas vetoriais* para unir a camada de linhas correspondentes aos segmentos viários (rede de ruas) e a camada de *Hub Lines* correspondente às redes espaciais de cada linha de ônibus. Daí resultou a rede final, utilizada nas análises. Trata-se de uma única camada de linhas que contém a rede de ruas (segmentos viários) e todas as

camadas de *Hub Lines* conectadas à rede de ruas nas justaposições dos segmentos viários mais próximas às paradas de ônibus.

(10) Para a introdução do ponderador P , foi criada uma nova coluna na tabela de atributos, na qual foi atribuído o valor 1 para as unidades espaciais correspondentes aos segmentos viários (rede de ruas) e os demais valores testados para as *Hub Lines*.

(11) Após processada a medida, excluímos as *Hub Lines* e mantivemos somente a camada da rede de ruas para ser analisada visual e estatisticamente.

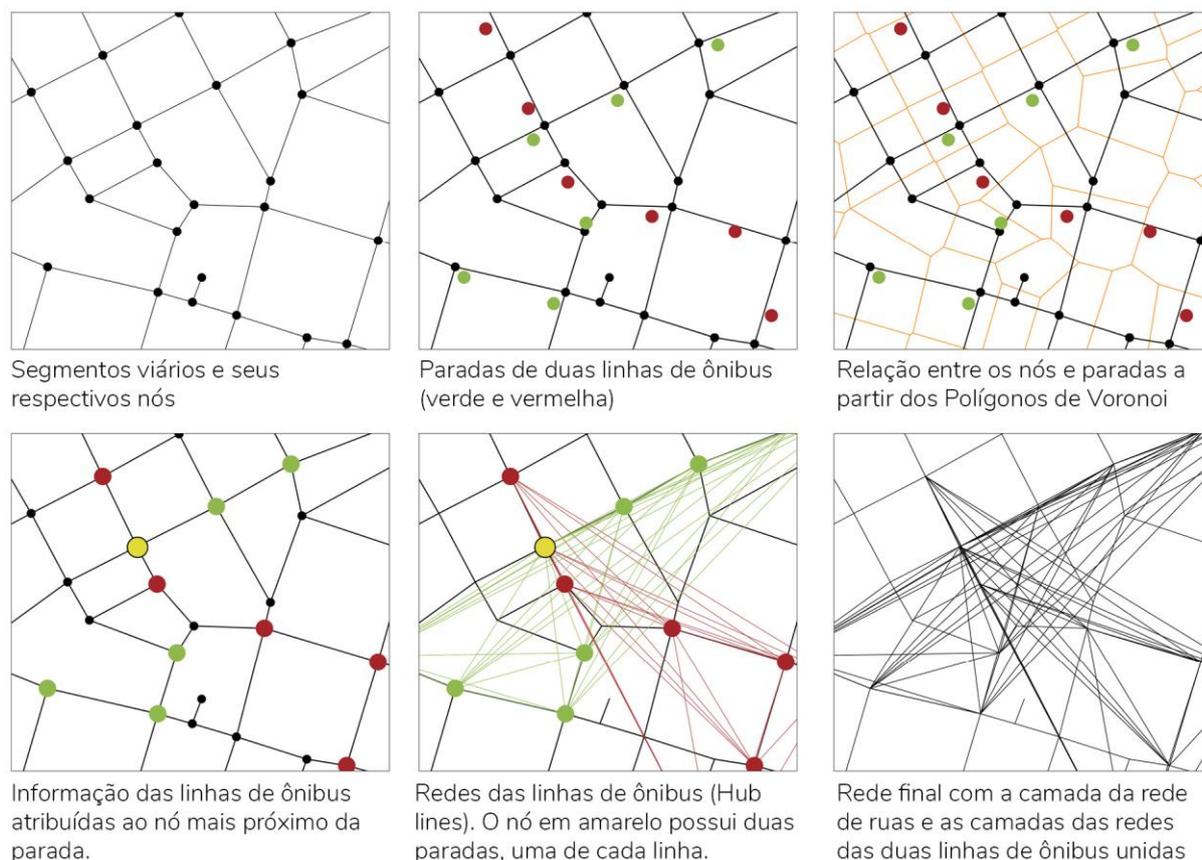


Figura 5.5 Procedimentos adotados para a criação das camadas das redes das linhas de ônibus.

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelotas e Passo Fundo são cidades médias situadas em regiões distintas do estado do Rio Grande do Sul. Pelotas faz parte da mesorregião do Sudeste Riograndense e Passo Fundo da mesorregião do Noroeste Riograndense. Ambas desempenham papéis importantes em termos de hierarquia regional. A pesquisa Região de Influência das Cidades (REGIC) (IBGE, 2017) aponta Passo Fundo como *Capital Regional B* e Pelotas como *Capital Regional C*.

De acordo com os resultados do Censo Demográfico do IBGE de 2010, o município de Pelotas possuía em 2010 uma população de 328.275 habitantes e uma área de 1.610,10 km². Em Passo Fundo, a população era de 184.826 habitantes e a área do município de 783,40 km². A projeção do IBGE da população das cidades para 2021 é de 343.132 habitantes em Pelotas e

206.103 habitantes em Passo Fundo. Ambas as cidades possuem IDHM considerado alto: 0,739 em Pelotas e 0,776 em Passo Fundo.

De acordo com o exposto no Quadro 5.2, Passo Fundo destaca-se em relação a Pelotas em termos econômicos, com PIB sensivelmente superior. Assim, o PIB per capita de Passo Fundo é quase o dobro do de Pelotas. Quanto à estrutura do Valor Adicionado Bruto (VAB) destaca-se que a participação do setor de serviços na economia dos dois municípios é muito preponderante em relação às demais atividades, sobretudo em Passo Fundo.

	PIB	PIB per capita	Valor Adicionado Bruto (VAB) (%)			
	R\$ (milhão)	R\$	Agrope- cuária	Indústria	Serviços	Adminis- tração ²⁰
Pelotas	9,44	27.586,96	2,52	12,04	65,04	20,39
Passo Fundo	9,83	48.355,12	2,02	12,59	73,50	11,88

Quadro 5.2 Economia dos municípios em 2019. Fonte: IBGE (2021).

As cidades possuem territórios bastante diferentes do ponto de vista físico-geográfico, especialmente em termos de relevo e paisagem, o que também parece implicar nas distinções no modo de ocupação dos seus respectivos territórios urbanos. Passo Fundo possui altitude média de 687 metros e fica no Planalto Meridional, região situada no bioma Mata Atlântica, onde predomina a vegetação de floresta. Já Pelotas, com altitude média de 7 metros, localiza-se sobre a Planície Costeira, região identificada pelas feições do bioma Pampa, caracterizada por terrenos planos, várzeas e pela proximidade a grandes e importantes corpos e cursos d'água como a Lagoa dos Patos e o Canal São Gonçalo.

As configurações dos sistemas de espaços abertos públicos de Pelotas e Passo Fundo estão ilustradas nos mapas de segmentos viários da Figura 5.6. Ambas possuem um traçado reticulado em seus centros de negócios. Para além deles, as retículas são complementadas por outros tipos de arranjo espacial, como colchas de retalhos geradas por loteamentos urbanos de épocas distintas. No caso de Pelotas, existe mais claramente a presença de eixos estruturadores que conectam o centro às periferias do sistema, os quais correspondem, em geral, às principais vias da cidade. Em razão das características naturais do terreno, em Pelotas, a urbanização é interrompida em diversas áreas por vazios urbanos, sobretudo nas regiões norte e noroeste do perímetro urbano. A forma geral é, portanto, relativamente mais extensa e fragmentada. Outra situação que corrobora para essa característica é o isolamento da porção leste (Laranjal), conectada por uma única via ao restante do sistema urbano. O Bairro Laranjal corresponde ao balneário junto à Lagoa dos Patos, cujo acesso desde o restante da cidade é dado por uma única via, sendo mais distante do centro de negócios. Por outro lado, apesar de também possuir alguns

²⁰Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social.

vazios urbanos nas bordas, Passo Fundo possui uma forma geral mais simétrica e que se mantém mais compacta em torno de um centro de negócios que coincide mais ou menos com o centro geográfico do perímetro urbano e do centroide da rede espacial urbana.



Figura 5.6 Mapa de localização de Pelotas e Passo Fundo contendo os segmentos viários. Fonte: ESRI, 2021.

Pelotas possui porte maior que Passo Fundo em termos do número de componentes da rede espacial (segmentos viários), da área urbana e do número de habitantes da área urbana, conforme exposto no Quadro 5.3. No entanto, as demais variáveis apresentadas no quadro demonstram maiores densidades em Passo Fundo. Os valores para o número de componentes da rede por km² e a densidade demográfica da área urbana são bem mais elevados em Passo Fundo (80,74 e 2519,51) do que em Pelotas (35,17 e 1501,39). Esses valores reforçam as diferenças nos níveis de compactidade da forma urbana que se apreendem visualmente dos mapas de segmentos viários. Outra característica interessante é que, apesar do acima exposto, Pelotas possui uma média maior de habitantes por componente da rede (42,69 em relação a 31,21 de Passo Fundo).

	Tamanho rede (N)	Área Urbana (km ²) ²¹	População Urbana (2010)	N / km ²	Hab. / N	Dens. Dem. (hab/km ²)
Pelotas	7172	203,94	306.193	35,17	42,69	1501,39
Passo Fundo	5772	71,49	180.120	80,74	31,21	2519,51

Quadro 5.3 Informações referentes a tamanho, população e densidades das cidades. Fonte: IBGE (2011).

No Quadro 5.4, é apresentada a desagregação da População em Idade Ativa (PIA) em categorias de renda. A PIA se distribui nas categorias de modo mais desigual em Pelotas, com

²¹Por uma questão de consistência, adotou-se aqui a área total dos setores censitários classificados como urbanos no censo do IBGE do ano de 2010 (IBGE, 2011).

somente 19,96% da PIA na categoria de alta renda e 36,05% na categoria de baixa renda. Essa proporção é mais equilibrada em Passo Fundo, sendo 29,41% da PIA correspondente à baixa renda e 25,84% à alta renda. Reforçando o acima exposto, o Coeficiente de Gini da renda domiciliar per capita para o ano de 2010 aponta para maior desigualdade de renda em Pelotas (0,5596) do que em Passo Fundo (0,4956). Seguindo a tendência brasileira, a categoria de renda média é a mais preponderante, sendo sua proporção muito semelhante entre os dois casos.

	Baixa Renda		Renda Média		Alta Renda		Total
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	
Pelotas	97.139	36,05	118.509	43,98	53.790	19,96	269.438
Passo Fundo	45.697	29,41	69.517	44,75	40.147	25,84	155.361

Quadro 5.4 População em idade ativa (PIA) por categoria de renda, 2010. Fonte: IBGE (2011).

A Figura 5.7 ilustra a distribuição espacial da PIA nas categorias de baixa renda e alta renda. Os mapeamentos²² apontam para uma tendência de segregação residencial na qual, em ambas as cidades, a presença da categoria de alta renda é predominante no centro urbano, principalmente em Passo Fundo, sendo a presença da categoria de baixa renda minoritária nessa mesma área. Em Pelotas, a PIA de alta renda também comparece em maior concentração na região adjacente ao centro urbano, a norte, e estende-se ao leste em direção a Praia do Laranjal. Já em Passo Fundo, a mesma categoria também aparece concentrada nas regiões nordeste e sudeste.

Em ambas as cidades, a PIA de baixa renda parece estar mais preponderantemente concentrada nas bordas do perímetro urbano, sobretudo em Passo Fundo. Em Pelotas, existem algumas exceções de áreas adjacentes ao centro urbano, a leste, em que há uma concentração significativa da PIA de baixa renda. Já em Passo Fundo, essa categoria da população comparece em uma concentração ligeiramente maior na porção oeste.

De forma geral, as duas cidades possuem um padrão de estruturação das categorias de renda que segue as tendências das cidades médias brasileiras: os grupos de alta renda dominam os centros urbanos e tendem a se expandir também em alguns vetores de alta apazibilabilidade enquanto que os grupos de baixa renda se distribuem em espaços periféricos e, em menor escala, em áreas residuais. Os níveis de segregação residencial ficam evidentes quando as categorias de alta e baixa renda parecem não dividir as mesmas áreas, sobretudo nos centros urbanos, dominados pela alta renda nas duas cidades.

²²Foram produzidos a partir da técnica de mapeamento dasimétrico. Nesse caso, partiu-se da malha de setores censitários urbanos contendo os dados da população os quais foram recortados de acordo com a geometria da Área Urbanizada disponibilizada pelo IBGE para o ano de 2015.

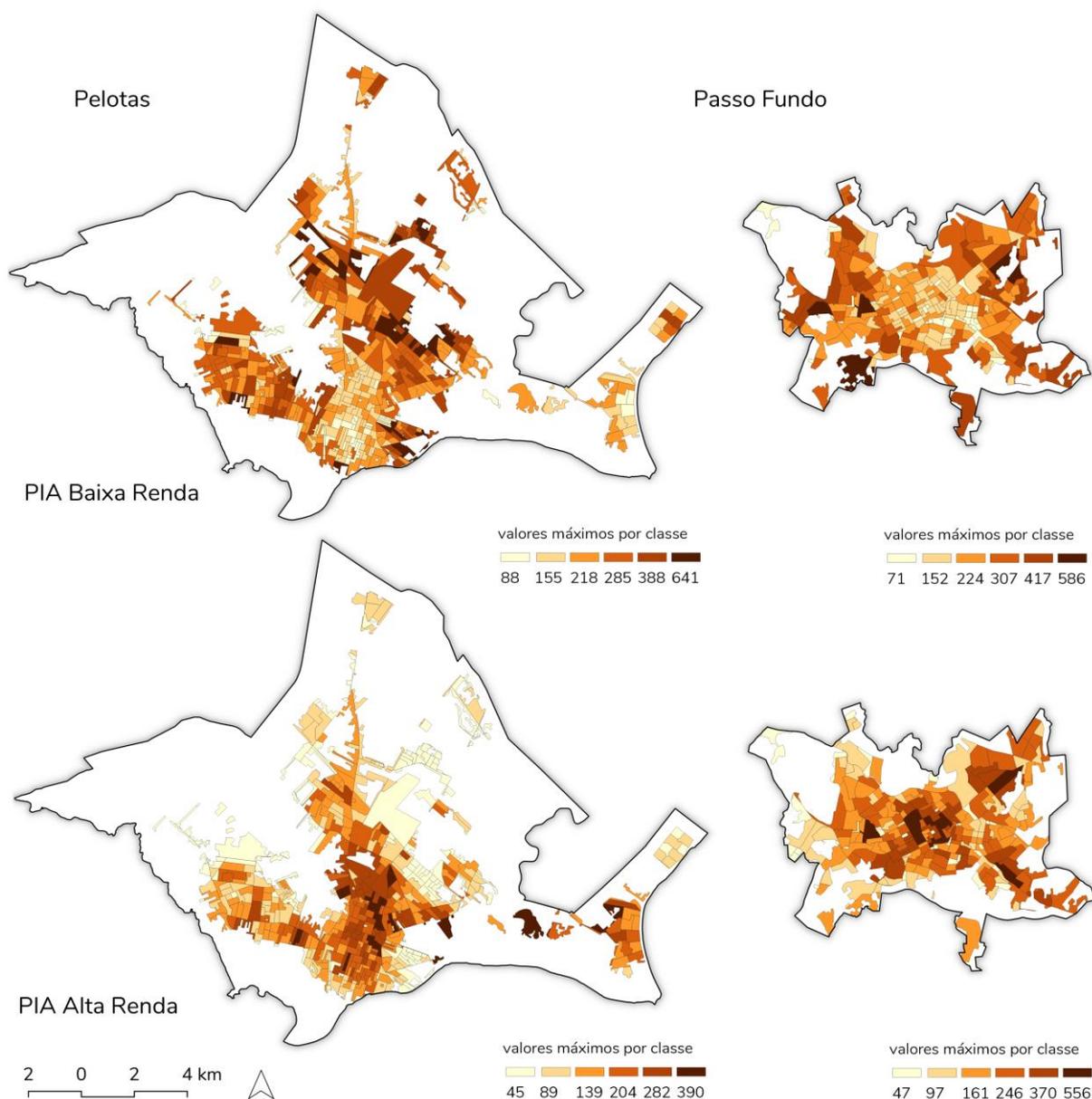


Figura 5.7 Distribuição da População em Idade Ativa (PIA) de Baixa e Alta Renda, 2010. Fonte: IBGE (2011).

A divisão dos estoques de vínculos empregatícios ativos ao fim de 2019 de acordo com os setores da atividade econômica é bastante semelhante nas cidades analisadas (Quadro 5.5). O setor terciário é o mais preponderante nas duas cidades, sendo que o setor de serviços corresponde a 44,21% em Pelotas e 45,05% em Passo Fundo e o setor comercial corresponde a 26,63% em Pelotas e 29,91% em Passo Fundo. O setor primário é o que apresenta menor porcentagem de vínculos nas duas cidades. Para as demais atividades, as cidades estudadas apresentam porcentagem semelhante, com exceção da Administração Pública, que é bem mais preponderante em Pelotas, sendo responsável por 14,04% dos vínculos empregatícios.

	Setor primário	Indústria	Construção Civil	Comércio	Serviços	Adm. Pública
Pelotas	1,04%	10,65%	3,43%	26,63%	44,21%	14,04%
Passo Fundo	1,51%	14,45%	4,08%	29,91%	45,05%	4,99%

Quadro 5.5 Porcentagem de vínculos empregatícios ativos por setor da atividade econômica. A tabela inclui todos os registros administrativos do banco de dados. Para a modelagem da Acessibilidade Potencial, os vínculos de algumas atividades foram desconsiderados, conforme descrito na seção anterior. Fonte: MTE (2019).

Para contextualizar o modo de distribuição espacial dos empregos formais nas cidades estudadas, foram desenvolvidos mapas da *Estimativa de Densidade de Kernel*²³ (Figura 5.8). A análise foi realizada ponderando-se os pontos correspondentes aos estabelecimentos com o número de vínculos empregatícios correspondentes. Os mapas da Figura 5.8 mostram os resultados utilizando-se o método de classificação Quebras Naturais e os pontos correspondem aos estabelecimentos após a geocodificação.

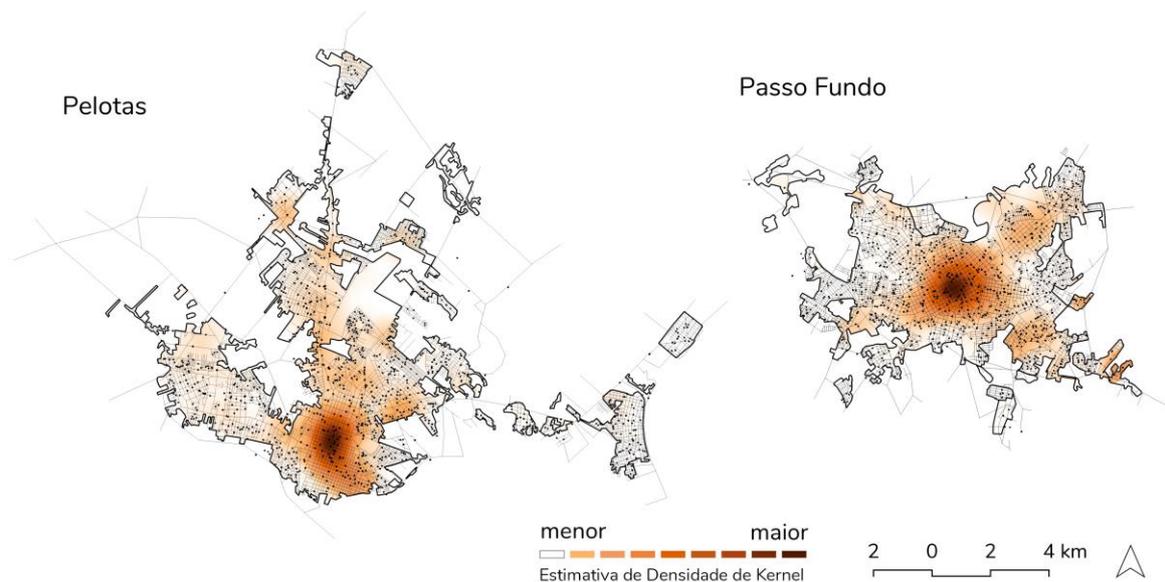


Figura 5.8 Distribuição espacial dos postos de empregos formais (Estimativa de Densidade de Kernel).

O mapeamento demonstra que, apesar de haverem estabelecimentos difundidos por toda a malha urbana, os vínculos empregatícios são majoritariamente concentrados nos centros de negócios em ambas as cidades. Seguindo a tendência inerente às cidades brasileiras de médio porte, esse era um comportamento já esperado.

As variáveis apresentadas no Quadro 5.6 descrevem relações entre a rede espacial e as paradas de ônibus nas duas cidades. Pelotas possui o maior número absoluto de paradas de

²³A Estimativa de Densidade de Kernel é uma técnica de análise espacial baseada em um método estatístico de estimação de curvas de densidades de pontos distribuídos no espaço geográfico. Os mapeamentos resultantes informam uma visão geral da intensidade do fenômeno sendo analisado sobre o espaço como um todo. No caso dos mapas apresentados na Figura 5.3, os resultados foram recortados de modo a conter somente as porções correspondentes às Áreas Urbanizadas (IBGE, 2015) das cidades.

ônibus, a maior proporção das paradas em relação ao tamanho, o maior número de segmentos viários que contém paradas de ônibus e a maior porcentagem de segmentos viários que contém paradas de ônibus. No entanto, destaca-se que a diferença entre as duas cidades se mostra bastante pequena, sobretudo nas variáveis proporção de paradas em relação ao tamanho (diferença de 0,052) e porcentagem de segmentos com paradas (diferença de 2,44%).

	Tamanho da Rede (N)	Nº de Paradas	Proporção Paradas/Tamanho	Nº Segmentos c/ paradas	% Segmentos c/ paradas
Pelotas	7172	1617	0,225	1106	15,42
Passo Fundo	5772	996	0,173	749	12,98

Quadro 5.6 Variáveis que descrevem relações entre as redes espaciais e as paradas de ônibus nas cidades.

Na Figura 5.9, consta o mapeamento da distribuição espacial das paradas nas duas cidades. Destaca-se que ambas apresentam uma diferença marcante no modo como essa distribuição acontece, que parece ser influenciada pelas suas formas gerais. Em Pelotas, existe certa linearidade na distribuição das paradas, condicionada pelos eixos que conectam os bairros ao centro. Já em Passo Fundo, possivelmente em razão da compacidade e regularidade do traçado, é difícil identificar padrões de distribuição das paradas: elas estão bastante difusas no território. Apesar dessa diferença, o modo de distribuição das paradas parece formar agrupamentos com concentrações significativas em diferentes áreas nas duas cidades.

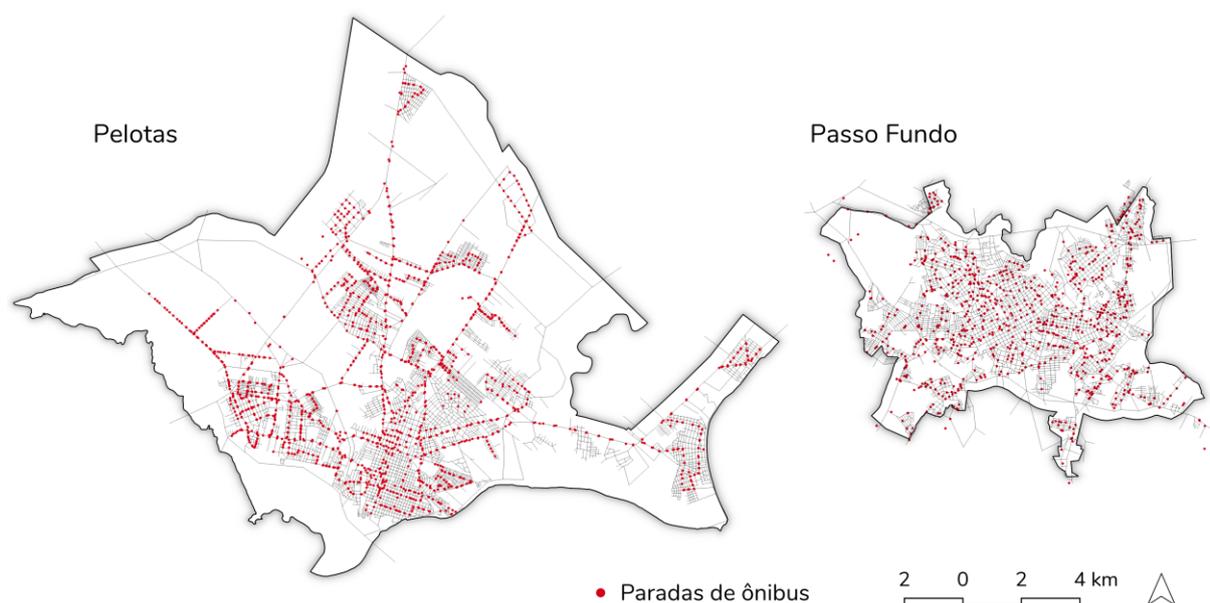


Figura 5.9 Mapeamentos da distribuição espacial das paradas de ônibus.

Seguindo a metodologia descrita na seção anterior, foi analisada a Acessibilidade Potencial (AP) da População em Idade Ativa (PIA) de baixa renda em relação a todos os empregos formais nas cidades de Pelotas e Passo Fundo, considerando-se o raio de análise equivalente ao tamanho da rede ($R=N$), ou seja, realizou-se uma análise global.

Cabe lembrar que o modelo desenvolvido computa valores somente para os componentes da rede espacial urbana que contém demandas, refletindo o desempenho da população ali residente em relação à Acessibilidade Potencial aos empregos. Por isso, nos mapeamentos apresentados nesta seção, a classificação dos valores foi feita de modo que a classe mais baixa correspondesse somente aos componentes com *AP* igual a 0. Além disso, os valores iguais a 0 foram excluídos das estatísticas, de modo que estão sendo analisados somente os componentes que possuem demandas (população). A rede espacial de Pelotas possui 7172 componentes e a de Passo Fundo possui 5772 componentes. O número de componentes que contém demandas é de 7042 em Pelotas (98,19% do total) e 5424 em Passo Fundo (93,97% do total).

A concentração massiva de empregos nos centros de negócios nas duas cidades condicionou fortemente a distribuição espacial dos valores de *AP* (Figura 5.10) para os componentes das redes estudadas. Ou seja, o padrão de distribuição da Acessibilidade Potencial da PIA de baixa renda aos empregos é prioritariamente monocêntrico, apesar de haverem outros polos com maiores densidades de empregos fora dos centros, como foi visto. Isso significa que a população de baixa renda que vive nas proximidades dos centros de negócios em ambas as cidades é a mais favorecida em relação a Acessibilidade Potencial aos empregos.

Conforme já mencionado, a Acessibilidade Potencial em cada segmento viário é diretamente proporcional à magnitude das ofertas de empregos (quantidade de vínculos) e inversamente proporcional à demanda potencial (população de baixa renda competindo pelos empregos) e à distância entre a população e os empregos. Pode-se observar uma tendência geral de que os maiores valores da medida estejam nos centros de negócios de ambas as cidades e os valores tendem a diminuir com o aumento da distância.

O fato de que o padrão de distribuição dos empregos é fortemente monocêntrico nas duas cidades implica em uma dependência do sistema como um todo ao centro de negócios. Isso porque a coincidência na distribuição dos empregos no núcleo de acessibilidade da rede reforça mais ainda a concentração dos maiores valores de *AP* nesses espaços. Outro fator que intensifica essa concentração é que, em ambos os casos, o centro de negócios é a região com menor concentração da PIA de baixa renda, indicando para uma menor competição pelos empregos nesta região e, portanto, maiores valores de *AP*.

Existem importantes diferenças entre as duas cidades no tocante à localização dos componentes pertencentes às classes dos valores intermediários (cores amarela e verdes), e que, portanto, indicam para um desempenho intermediário da PIA de baixa renda ali residente em relação a Acessibilidade Potencial aos empregos. Em Passo Fundo, os componentes dentro dessas classes intermediárias de valores estão aglutinados em torno do núcleo de Acessibilidade Potencial e estendem-se nas direções nordeste e sudeste. Já em Pelotas, as classes dos valores intermediários estão distribuídas de modo ligeiramente mais difuso no espaço, abrangendo maiores distâncias em relação ao núcleo onde se concentram as classes dos maiores valores, e

estendendo-se prioritariamente na direção norte, com a existência de eixos mais preponderantes de conexão entre os bairros.

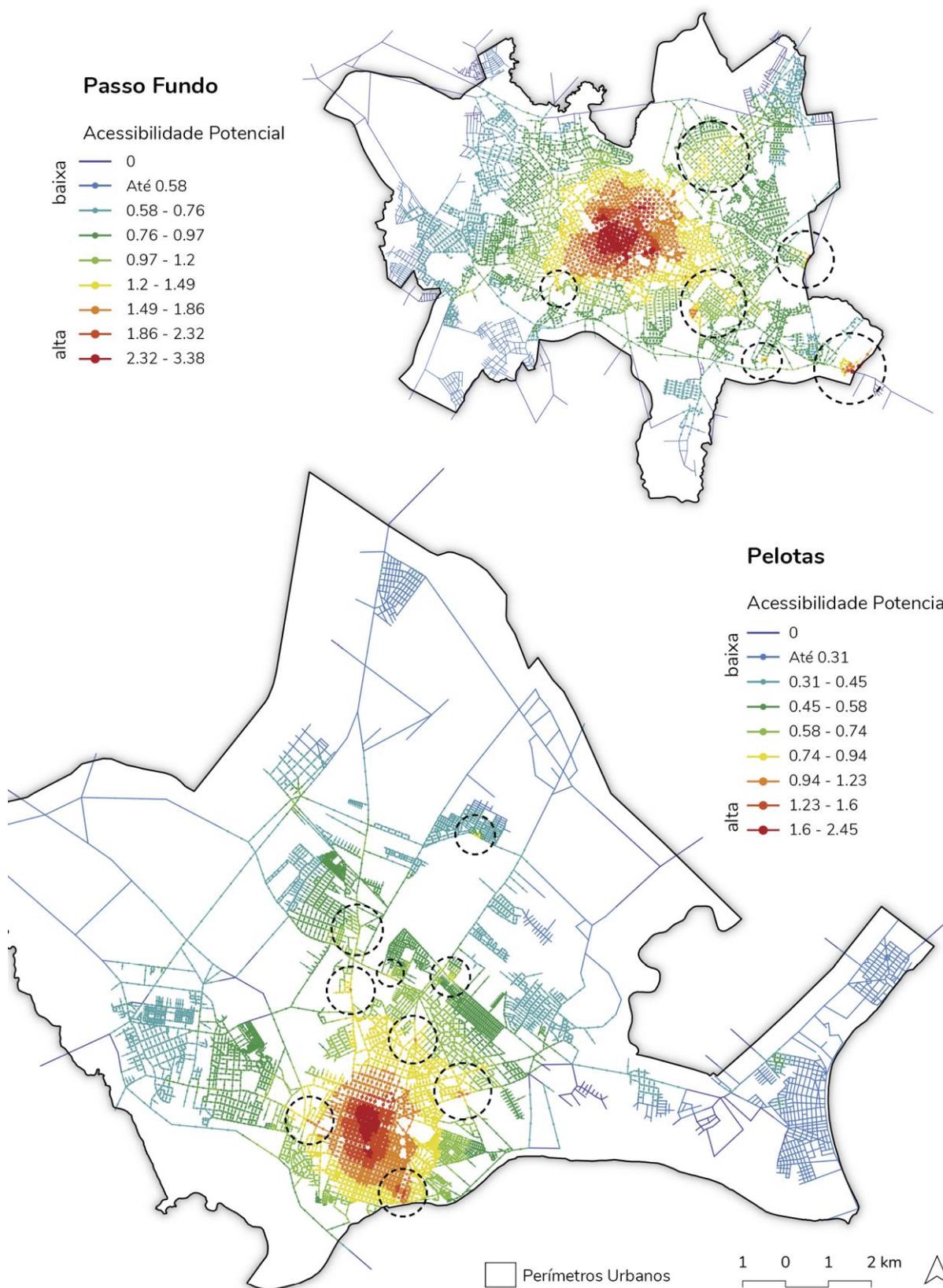


Figura 5.10 Distribuições espaciais dos valores de Acessibilidade Potencial (R=N).

Possivelmente em razão da existência de polos alternativos de concentração de empregos fora do centro de negócios, houve formações de núcleos externos aos centros de negócios com valores altos e médios de Acessibilidade Potencial em ambos os casos estudados. Estes foram marcados com círculos nos mapeamentos da Figura 5.10.

Naturalmente, as classes dos menores valores estão posicionadas nas periferias dos sistemas. Em Pelotas, a maior parte dos componentes nessas classes estão distribuídas nas extremidades leste e norte, as quais são interligadas ao centro de negócios a partir de poucas pontes de conexão. Já em Passo Fundo, essas classes estão mais concentradas na região oeste. É interessante observar que no caso de Passo Fundo, a região oeste possui uma concentração alta da PIA de baixa renda em relação ao restante do sistema. Os baixos valores nessa área podem ter relação tanto com a carência de empregos quanto com a alta competição pelos empregos existentes. Já para Pelotas, a região da Praia do Laranjal possui uma baixa concentração da PIA de baixa renda em relação ao restante do sistema. O resultado para esta área parece estar mais relacionado com a excentricidade dos seus componentes do que com a baixa competição pelos empregos existentes, ou seja, a variável espacial foi mais preponderante.

No Quadro 5.7, são apresentados os resultados estatísticos correspondentes às variáveis gerais e análise e aos indicadores sintéticos correspondentes às duas cidades.

		Pelotas	Passo Fundo
Geral	Tamanho (N)	7172	5772
	Total Ofertas	57354	49802
	Total Demandas	96890	45462
	Oferta Relativa (OR)	0,59195	1,09546
Distribuição	Mínimo	0,15531	0,37620
	1° Quartil (Q1)	0,36812	0,74770
	Mediana (Q2)	0,49900	0,90820
	3° Quartil (Q3)	0,69049	1,17226
	Máximo	2,44890	3,37511
	Amplitude	2,29359	2,99891
Síntese	Média	0,57228	1,00957
	Desvio Padrão	0,31928	0,41679
	Índice de Desigualdade (ID)	28,4117	21,5978

Quadro 5.7 Variáveis que descrevem o comportamento das redes espaciais de Pelotas e Passo Fundo em relação a medida de Acessibilidade Potencial.

Apesar da rede espacial de Pelotas ser maior que a de Passo Fundo, a Oferta Relativa (OR) (proporção de empregos pela população) é consideravelmente maior em Passo Fundo (1,095) do que em Pelotas (0,592). Uma constatação geral é que, desconsiderando o efeito da diferenciação espacial, Passo Fundo possuiria uma tendência de desempenhar melhor no tocante à ocupação de

sua população em relação a Pelotas, por possuir maior proporção de empregos em relação à população (Oferta Relativa ou OR). Como foi visto no capítulo anterior, essa diferença nas OR afeta o desempenho individual dos componentes das redes no tocante à acessibilidade da população aos empregos, já que, ao considerar-se o efeito da diferenciação espacial, Pelotas manteve valores mais baixos de AP . Como consequência disso, os indicadores de distribuição (Mínimo, $Q1$, Mediana, $Q3$ e Máximo) apontam que os valores de AP para os componentes da rede são, em geral, mais baixos em Pelotas do que em Passo Fundo.

No entanto, há uma distinção importante entre os valores mínimo e máximo das duas cidades. Os valores mínimos são relativamente próximos entre as duas cidades enquanto que os valores máximos são consideravelmente maiores em Passo Fundo. Essa questão se reflete na amplitude dos valores que é maior em Passo Fundo (2,999) do que em Pelotas (2,294).

A Média Aritmética dos valores de AP reflete o mesmo comportamento aferido pelos indicadores de distribuição, em que Pelotas (0,5722) aparece com um valor menor do que Passo Fundo (1,009), já que os valores para os componentes da rede são, em geral, menores no primeiro caso. Já o desvio padrão dos valores de AP é sensivelmente maior para Passo Fundo (0,417 em relação a 0,319 para Pelotas), indicando que o conjunto de valores de AP para os componentes da rede espacial de Pelotas é mais homogêneo do que da de Passo Fundo. Apesar disso, o Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (ID)²⁴ apontou para Passo Fundo (21,5978) como uma estrutura espacial menos desigual que Pelotas (28,4117).

Seguindo a metodologia descrita anteriormente, foi explorada uma possibilidade de introduzir o efeito do transporte coletivo por ônibus na modelagem da Acessibilidade Potencial da PIA de baixa renda a todos os empregos formais. Cabe lembrar que a introdução desse efeito foi realizada a partir de redes em camadas separadas à rede de ruas, de modo que cada uma dessas camadas separadas correspondem a uma linha de ônibus, conectada à rede de ruas na justaposição de segmentos viários mais próxima das paradas de ônibus. Foram também testados diferentes valores do ponderador P para as unidades espaciais correspondentes às redes das linhas de ônibus. Esses valores foram: 1, 0,5, 0,25, 0,1, 0,05 e 0,01. Lembrando que esses valores multiplicam o comprimento das ligações na tomada de distância pelo modelo. Portanto, quanto menor o valor do ponderador P , maior o seu impacto sobre os resultados da medida.

Em um primeiro momento, foi realizado um *Teste de Variância Simples (Anova a um fator)*, aplicado aos conjuntos de valores dos testes, de modo a verificar as diferenças nas médias entre o grupo dos segmentos viários que possuem paradas de ônibus e o grupo daqueles segmentos que não as possuem. O teste foi realizado no sentido de verificar qual dos valores adotados para

²⁴Reflete o nível de hierarquização presente nos componentes da rede em relação à medida de Acessibilidade Potencial (AP). Maiores valores para esse indicador apontam para a concentração dos maiores valores em um número menor de componentes da rede espacial.

o ponderador P seria capaz de equiparar as médias dos componentes que possuem paradas de ônibus em suas proximidades. Os resultados do teste constam no Quadro 5.8.

	AP sem ônibus	P = 1	P = 0,5	P = 0,25	P = 0,1	P = 0,05	P = 0,01
Pelotas	0,299	0,311	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Passo Fundo	0,248	0,999	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Quadro 5.8 Valores de p da Anova a um fator comparando as médias dos valores de AP dos segmentos viários que possuem paradas de ônibus e daqueles que não possuem paradas de ônibus.

Considerando-se a medida de Acessibilidade Potencial sem a introdução do efeito do transporte por ônibus, a Anova a um fator revelou que não existe diferença entre a média dos grupos para Pelotas ($p = 0,299$) nem para Passo Fundo ($p = 0,248$). Quando se considera a introdução do efeito do transporte por ônibus aplicando-se o valor do ponderador P como 1 (sem um fator de redução nas ligações correspondentes às diferentes redes das linhas de ônibus), o teste aponta que também não se averiguam médias estatisticamente diferentes para ambas cidades, sendo $p = 0,311$ para Pelotas e $p = 0,999$ para Passo Fundo.

Para os demais valores do ponderador P , os dois grupos possuem médias estatisticamente diferentes, sendo $p < 0,05$ em todos os casos. Portanto, para os casos estudados, quando se adotaram valores do ponderador P com pelo menos uma redução de 50% no comprimento das ligações das redes das linhas de ônibus, o método proposto produziu diferenças entre as médias dos valores de AP referentes aos segmentos viários (rede de ruas) que contém paradas e aos segmentos viários que não contém paradas.

Em seguida foram realizadas análises estatísticas e visuais para compreender como os diferentes valores adotados para o ponderador P provocaram modificações no ranqueamento dos valores para os componentes da rede em relação a medida original (sem a introdução do efeito do transporte por ônibus). Desejava-se que o método implicasse em uma mudança significativa no ranqueamento dos valores da medida para os componentes. Para verificar isso, aplicou-se o Teste de Correlação de Spearman, comparando os valores resultantes das análises que introduziram o efeito do transporte por ônibus (para os diferentes valores do ponderador P) e os valores nos quais esse efeito não é incluído. Os resultados do teste constam no Quadro 5.9.

	P = 1	P = 0,5	P = 0,25	P = 0,1	P = 0,05	P = 0,01
Pelotas	0,996	0,981	0,944	0,849	0,613	0,460
Passo Fundo	0,999	0,984	0,959	0,897	0,730	0,539

Quadro 5.9 Valores de ρ do Teste de correlação de Spearman, comparando o ranqueamento dos valores de AP da rede sem e com a introdução do efeito do transporte por ônibus para os diferentes valores de P adotados.

O resultado apontou que, para as cidades estudadas, quando se adotam os valores de P como 1, 0,5, 0,25 e 0,1, os ranqueamentos dos componentes presentes nos modelos das duas

idades se mantêm sempre fortemente correlacionados com a medida original, na qual o efeito do transporte por ônibus não é introduzido. Quando se adotou o valor 0,05, que denota um encurtamento de 95% das ligações presentes nas redes das linhas de ônibus, o método passa a provocar uma mudança de ranqueamento dos valores de AP expressa por uma correlação moderada para o caso de Pelotas ($\rho = 0,613$) e forte para o caso de Passo Fundo ($\rho = 0,730$). E ao adotar-se o valor 0,01, a correlação passa a ser moderada para ambas as cidades sendo $\rho = 0,460$ para Pelotas e $\rho = 0,539$ para Passo Fundo. Concluiu-se que, para as cidades estudadas, seria plausível utilizar valores de P entre 0,05 e 0,01, já que eles provocam uma modificação significativa no ranqueamento dos valores.

Essa plausibilidade também foi confirmada quando se avaliou as mudanças de ranqueamento a partir da comparação visual dos mapeamentos que ilustram a distribuição espacial dos valores de AP para os diferentes valores de P adotados. Em razão disso, para efeitos desta análise e dada a natureza exploratória do método de representação do efeito do transporte coletivo por ônibus proposto, optou-se por analisar em maior profundidade os resultados das análises nas quais foi adotado o valor 0,01 para o ponderador P . Esse valor provoca uma redução de 99% no comprimento das ligações presentes nas redes das linhas de ônibus e foi adotado para explorar as maiores diferenças obtidas para os sistemas sem e com o efeito do transporte por ônibus. Na Figura 5.11 são apresentados os mapeamentos resultantes dessa análise.

Os mapeamentos demonstram que o modo de distribuição dos valores de AP para os componentes das redes espaciais de Passo Fundo e Pelotas foi bastante influenciado pelo efeito do transporte por ônibus. Para ambas as cidades, parece haver uma concentração dos maiores valores de AP simultaneamente nas proximidades dos centros de negócios e em algumas outras localizações externas aos centros, que variam de acordo com a cidade. É possível visualizar a concentração de altos valores da medida nos eixos de deslocamento das cidades, geralmente as principais avenidas, onde as linhas de ônibus tendem a ser prioritariamente alocadas. Alguns desses eixos foram marcados com as elipses nos mapeamentos da Figura 5.11.

Em Passo Fundo, o efeito do transporte por ônibus foi menos capaz de interferir na monocentralidade dos valores de AP do que em Pelotas e os altos valores da medida em localizações fora do centro concentram-se nas direções nordeste, sudeste e sudoeste. Existe, no entanto, um eixo preponderante onde aparecem altos valores de AP conectando o centro à extremidade sudeste do sistema. Para o caso de Pelotas, os núcleos de Acessibilidade Potencial são formados de modo bastante difuso no espaço, estendendo-se para diversas localizações periféricas. A presença da formação de eixos com a concentração de altos valores de AP também parece ser mais marcante em Pelotas do que em Passo Fundo.

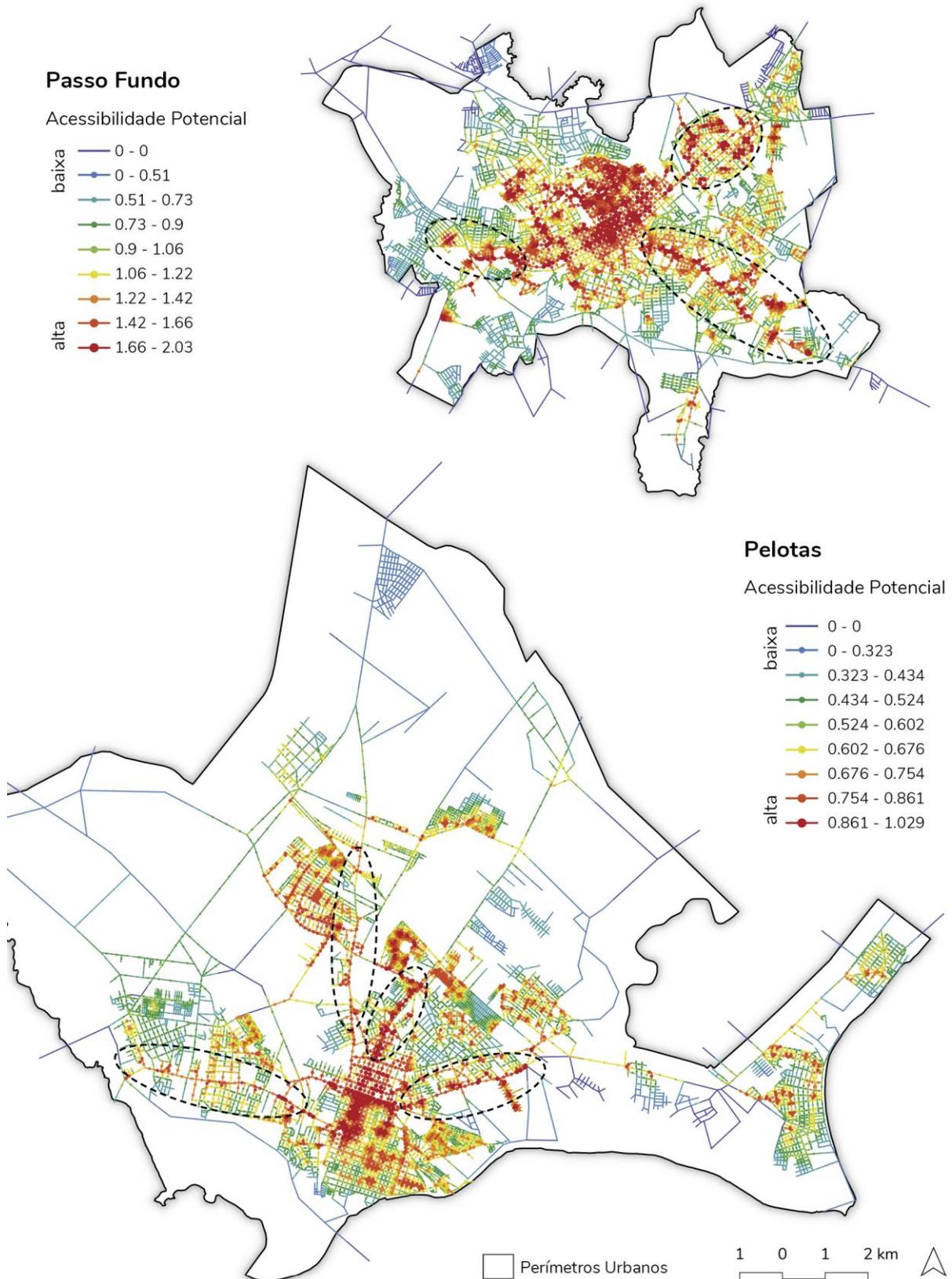


Figura 5.11 Distribuições espaciais dos valores de Acessibilidade Potencial ($R=N$) com a incorporação do efeito do transporte coletivo por ônibus, sendo o valor de $P = 0,01$.

No Quadro 5.10 são apresentados os indicadores obtidos para a análise que incluiu o efeito do transporte por ônibus (sendo $P = 0,01$) e da análise em que esse efeito não é incluído.

		AP		AP c/ ônibus P=0.01	
		Pelotas	Passo Fundo	Pelotas	Passo Fundo
Geral	Tamanho (<i>N</i>)	7172	5772	7172	5772
	Total Ofertas	57354	49802	57354	49802
	Total Demandas	96890	45462	96890	45462
	Oferta Relativa (<i>OR</i>)	0,5919	1,0954	0,5919	1,0954
Distribuição	Mínimo	0,1553	0,3762	0,0810	0,3121
	1° Quartil (<i>Q1</i>)	0,3681	0,7477	0,4729	0,8148
	Mediana (<i>Q2</i>)	0,4990	0,9082	0,5848	1,0047
	3° Quartil (<i>Q3</i>)	0,69049	1,17226	0,6849	1,2210
	Máximo	2,4489	3,3751	1,0293	2,2328
Síntese	Amplitude	2,2935	2,9989	0,9482	1,9207
	Média Aritmética	0,5722	1,0095	0,5746	1,0371
	Desvio Padrão	0,3192	0,4167	0,1624	0,3169
	Índice de Desigualdade (<i>ID</i>)	28,4117	21,5978	17,1319	17,2339

Quadro 5.10 Variáveis que descrevem o comportamento das redes espaciais de Pelotas e Passo Fundo em relação a medida de Acessibilidade Potencial sem e com a inclusão do efeito do transporte coletivo por ônibus.

Os valores extremos pertencentes aos indicadores de distribuição (Mínimo e Máximo) apontaram para uma interessante característica da interferência do efeito do transporte por ônibus nos valores de *AP*. Para ambos os casos, os valores máximos passam a ser drasticamente menores, os valores mínimos passam a ser menores e a mediana passa a ser maior com a introdução desse efeito. A Média Aritmética dos valores também passa a ser sensivelmente maior.

Para os quartis (*Q1*, Mediana e *Q3*), destaca-se que, para os modelos que não incluem o efeito do transporte por ônibus, existe uma concentração de componentes em torno dos valores mais baixos. A Mediana apresenta valores abaixo da Média Aritmética para as duas cidades. Já para os modelos que incluem o referido efeito, a Mediana passa a ser sensivelmente mais alta que a Média Aritmética, também para as duas cidades. Além disso, ao incluir-se o efeito do ônibus, de acordo com a metodologia proposta, os valores para o 1° Quartil (*Q1*) passam a ser maiores e os valores para o 3° Quartil (*Q3*) passam a ser menores. A leitura associada dos resultados para os três quartis demonstra que a inclusão do efeito do transporte por ônibus gera um incremento nos valores de Acessibilidade Potencial (*AP*) para a maioria dos componentes dos dois sistemas.

O resultado dos indicadores de distribuição (Mínimo, *Q1*, Mediana, *Q3* e Máximo) demonstra que, assim como pôde-se observar no mapeamento dos resultados, o método aplicado foi capaz de descrever a melhoria na distribuição dos valores de Acessibilidade Potencial aos empregos para os componentes da rede decorrente do efeito do transporte por ônibus. Evidentemente que essa questão é também refletida no Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (*ID*). Os valores para esse indicador apresentaram uma redução para ambas as cidades, denotando menor

desigualdade e refletindo aquilo que se entende ser o efeito do transporte coletivo por ônibus sobre as características de acessibilidade da estrutura espacial urbana. Essas mudanças no modo de distribuição dos valores de Acessibilidade Potencial decorrentes da introdução do efeito do transporte por ônibus estão também ilustradas nos gráficos da Figura 5.12, onde os dados para todas as análises foram plotados conjuntamente.

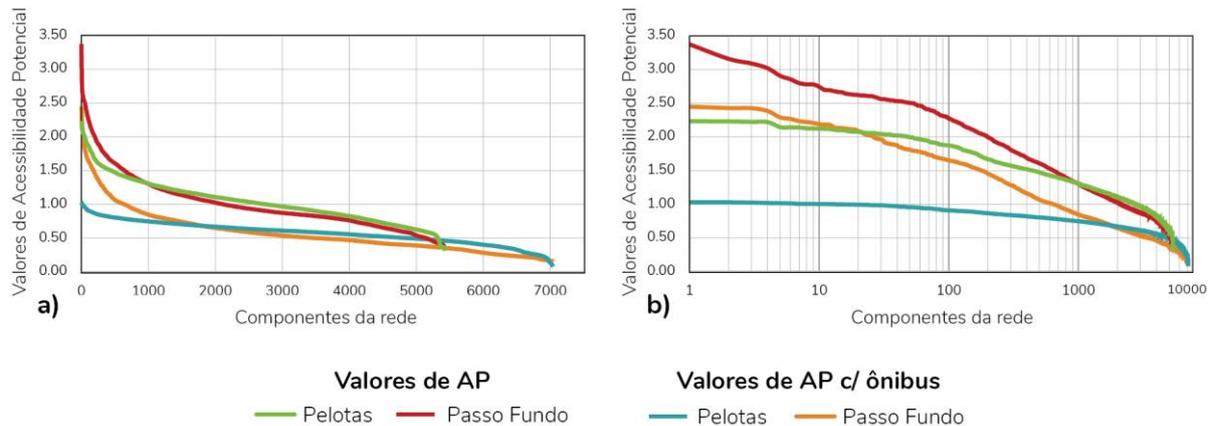


Figura 5.12 Gráficos mostrando a distribuição dos valores de Acessibilidade Potencial para Pelotas e Passo Fundo sem e com a inclusão do efeito do transporte coletivo por ônibus: a) gráfico de dispersão (linhas) e b) gráficos de dispersão (linhas) log-normal.

Na Figura 5.13 constam as Curvas de Lorenz para Pelotas e Passo Fundo sem e com a inclusão do efeito do transporte por ônibus. O aspecto mais marcante dessa análise é a de que ambas as cidades ficaram com valores semelhantes para o *ID* após a inclusão do referido efeito. Isso significa que esse modo de transporte, de acordo com a abordagem proposta pela pesquisa, foi capaz de atuar na melhoria da acessibilidade da PIA de baixa renda aos empregos muito mais em Pelotas do que em Passo Fundo, sugerindo que pode existir maior qualidade na distribuição e conectividade das linhas e paradas de ônibus na primeira do que na segunda.

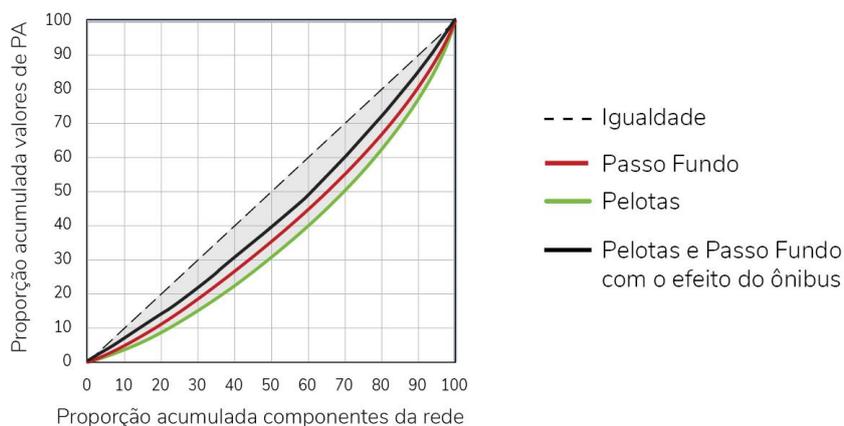


Figura 5.13 Gráfico contendo as Curvas de Lorenz para Pelotas e Passo Fundo sem e com a inclusão do efeito do transporte coletivo por ônibus.

5.3 DISCUSSÃO SOBRE A APLICAÇÃO EMPÍRICA DA ABORDAGEM

Nesta seção discutimos algumas questões sobre os indicadores e os métodos de análise propostos, de forma complementar à discussão feita sobre os resultados obtidos no capítulo anterior, que tratou dos experimentos em redes teóricas e apresentou as principais propriedades dos indicadores. Ela se refere mais especificamente aos resultados obtidos a partir da aplicação da abordagem proposta aos casos empíricos.

Um resultado importante obtido com as análises aplicadas aos casos empíricos se refere ao padrão distributivo da medida (*AP*) para a sua aplicação em sistemas urbanos reais. A medida configuracional de acessibilidade aplicada na sua versão sem carregamentos tende a possuir um padrão de distribuição aproximadamente normal, independentemente da topologia da rede espacial analisada e do critério de discretização adotado (FARIA, 2010). Para o caso da medida de Acessibilidade Potencial (*AP*), em que são empregados carregamentos variáveis, o padrão distributivo da medida depende da magnitude e do modo de distribuição dos carregamentos.

Os empregos nas cidades possuem a conhecida tendência de serem muito concentrados em um ou alguns poucos polos, dependendo do porte do sistema. No caso das cidades médias tratadas neste trabalho, averiguou-se que os empregos são bastante concentrados em um único centro, sem a existência de polos alternativos com intensidade equiparável. Esta parece ser uma tendência geral das cidades brasileiras pequenas e médias. A população urbana, aqui tratada especificamente pela PIA de baixa renda, apesar de ser heterogeneamente distribuída, não possui uma hierarquia tão pronunciada no seu modo de distribuição espacial quanto os empregos.

A medida de Acessibilidade Potencial (*AP*) é capaz de descrever matematicamente essas propriedades das estruturas espaciais urbanas, tendendo a possuir um padrão distributivo mais hierárquico, que se aproxima de um decaimento exponencial (veja o gráfico a) da Figura 5.12). As propriedades mencionadas foram adequadamente capturadas pelo Indicador de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (*ID*), que é uma versão adaptada do Coeficiente de Gini.

Em síntese, a análise comparativa dos valores de *AP* e dos indicadores sintéticos nela baseados apontam que as diferenças entre as duas cidades tem relação: (1) com as diferenças no modo de distribuição dos empregos e da população dentro das redes, que podem estar mais densamente concentradas em localizações mais compatíveis ou mais distintas entre si, e/ou (2) com as diferenças na topologia da rede, que é capaz de interferir nas possibilidades de deslocamento, facilitando ou restringindo a competição da população pelos empregos.

Um aspecto importante dos resultados da pesquisa, tanto dos do capítulo anterior (experimentos baseados em redes teóricas) quanto dos deste capítulo, é que os indicadores apontam que quando existe uma distribuição dos empregos em um número maior de polos de concentração (distribuição mais difusa), o sistema apresenta, genericamente, menor desigualdade e, portanto, maior restrição à competição da população pelos empregos. Relação semelhante ocorre para a topologia da rede espacial urbana: configurações espaciais mais dispersas parecem

incidir em menor desigualdade de Acessibilidade Potencial no sistema, já que a ocorrência de “ilhas espaciais” também acaba por restringir a competição da população.

A fim de contribuir com essa discussão, desenvolvemos um experimento às redes espaciais de Pelotas e Passo Fundo, considerando hipoteticamente uma distribuição uniforme dos carregamentos de oferta e demanda da rede para verificar a diferença no Índice de Desigualdade de Acessibilidade Potencial (*ID*) decorrente somente da topologia da rede. Pelotas ($ID = 8,2356$), que possui uma topologia pelo menos aparentemente mais dispersa que a de Passo Fundo ($ID = 9,4365$), apresentou um valor mais baixo para o índice, reforçando o anteriormente discutido.

Os resultados salientam que os indicadores e os métodos de análise propostos são capazes de capturar as diferenças da forma urbana das cidades, refletida em sua rede espacial, endereçando um problema que não está presente na maioria dos indicadores de acessibilidade aos empregos existentes. Os resultados também se mostram interessantes na medida em que colaboram com a problematização da discussão do desempenho das formas urbanas compacta e dispersas, que muitas vezes coloca a forma urbana compacta como detentora de melhor desempenho urbano em relação a diversos aspectos. Um melhor desempenho urbano quanto a acessibilidade aos empregos, tal como aferido neste trabalho, pode não estar necessariamente associado às formas urbanas compactas, tanto em termos de sua forma geral quanto da distribuição dos empregos e da população.

Para as análises em que se incluiu o efeito do transporte coletivo por ônibus, a medida pode passar a adquirir outros padrões distributivos menos hierárquicos, dependendo da qualidade da distribuição e da conexão das linhas e paradas de ônibus em relação às características de topologia das redes e de distribuição dos empregos e da população. Essa característica foi observada nos sistemas analisados (Pelotas e Passo Fundo), sobretudo para o caso de Pelotas.

Da avaliação do conjunto de resultados apresentados, podemos concluir alguns pontos sobre o método de inclusão do efeito do transporte coletivo por ônibus adotado. Ele foi capaz de incorporar ao modelo as diferenças esperadas, decorrentes do modo de distribuição e conexão das linhas e paradas de ônibus. Os testes de correlação de Spearman mostraram que as variações de ranqueamento dos valores de *AP* para a situação em que o efeito do transporte por ônibus é incluído e aquela em que esse efeito não é incluído não são drásticas. Os mapeamentos dos resultados ajudaram na compreensão de que isso acontece pois o centro de negócios se mantém como polarizador dos valores de *AP*, em diferentes níveis, para ambos os casos empíricos. Isso foi julgado como um aspecto positivo da abordagem proposta, já que, desse modo, a medida não fica completamente descaracterizada pela introdução do efeito do transporte por ônibus, o que poderia acabar tornando os resultados, de certa forma, pouco plausíveis.

Como esperado, as variações no ranqueamento entre cada modelo em que o efeito do transporte por ônibus foi introduzido e o modelo em que este não foi introduzido são maiores conforme diminui-se o valor de *P*, para ambos os casos estudados. No entanto, essa variação foi

muito maior em Pelotas do que em Passo Fundo. Isso corrobora para o que foi anteriormente discutido sobre a distribuição dos valores de AP com o efeito do transporte por ônibus. Em Passo Fundo os maiores valores se mantêm ligeiramente mais concentrados no centro de negócios. Em Pelotas, essas mudanças de ranqueamento são muito mais claramente percebidas nos mapas. Essas características podem ser observadas na Figura 5.14, em que apresentamos os mapeamentos das diferenças nos valores de Acessibilidade Potencial dos componentes sem e com a inclusão do efeito do transporte por ônibus. Os componentes representados pela cor vermelha são aqueles que tiveram maior incremento nos valores de AP , enquanto que os componentes representados pela cor azul são os que tiveram maior decréscimo.

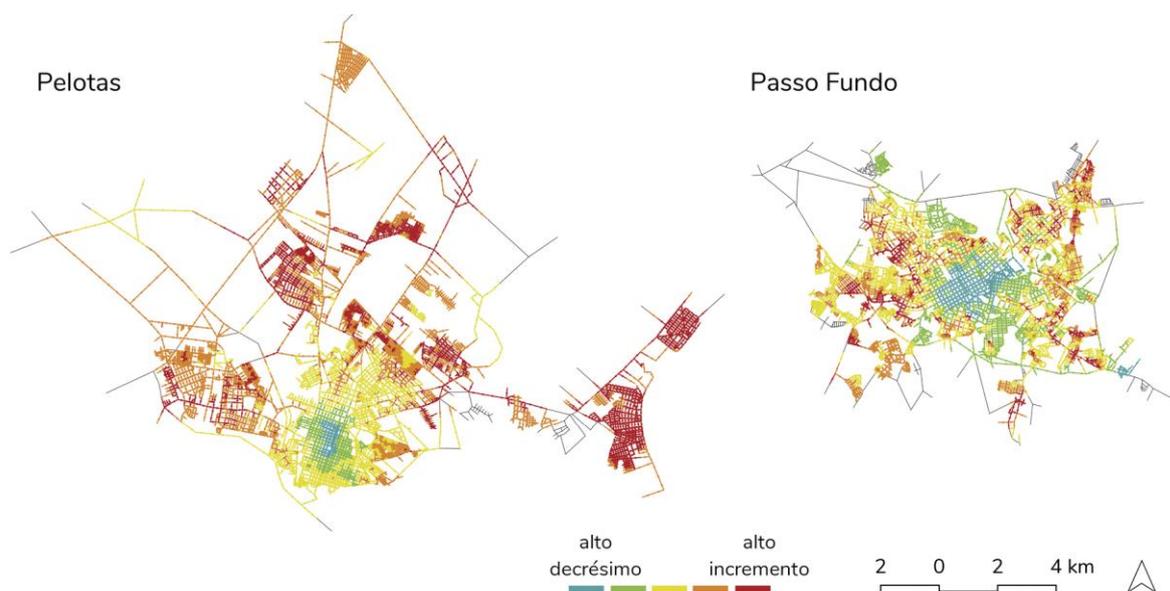


Figura 5.14 Diferença entre os valores de Acessibilidade Potencial dos componentes das redes sem e com a inclusão do efeito do transporte por ônibus.

Independentemente das características dos sistemas urbanos analisados, parece ser plausível comparar os seus desempenhos a partir da utilização do mesmo valor de P . Desse modo, está sendo analisada a interferência do efeito do transporte por ônibus sobre os valores de AP , decorrentes da qualidade do referido sistema de transporte. Em outras palavras, entende-se que não seria necessário introduzir variações no valor de P atribuído a sistemas urbanos que possuem características distintas (de tamanho e de distribuição e magnitude dos carregamentos). Ao serem utilizados os mesmos valores de P para esse tipo de comparação, o que está sendo avaliado é o efeito da presença desse modo de transporte decorrente unicamente da qualidade da distribuição e da conectividade das linhas e paradas de ônibus presentes em cada sistema.

Apesar de os experimentos realizados neste trabalho terem se detido especificamente ao tratamento do transporte por ônibus, parece plausível considerar que diferentes modos de transporte público coletivos poderiam ser incluídos no processo de modelagem, como os sistemas metroviários (metrô) e os transporte rápido por ônibus (BRT). Nesse caso, o valor do ponderador P poderia variar entre os diferentes modos, sendo menor para modos mais eficientes e vice-versa.

Em resumo, o modo de construção do método de análise proposto suscita o entendimento de que as variações nos valores de Acessibilidade Potencial (*AP*) provocadas pela inclusão do efeito do transporte por ônibus são decorrentes simultaneamente: (1) da topologia das redes espaciais das cidades, (2) de como as linhas e paradas de ônibus são alocadas e conectadas entre si e (3) do modo de distribuição das paradas de ônibus em relação a distribuição e concentração dos empregos e da população.

Evidentemente que os dados disponíveis para a realização destes estudos empíricos mostraram-se impeditivos para análises que incorporassem a ideia de adequabilidade entre o tipo de emprego e as características sócio-ocupacionais da população. Apesar disso, após a avaliação conjunta dos experimentos baseados em redes teóricas e dos estudos empíricos, entendemos que a abordagem proposta é capaz de refletir essa adequabilidade nos seus resultados, caso se disponha dos dados apropriados. Isso porque o método de análise é baseado em indicadores apropriadamente normalizados para a avaliação da acessibilidade aos empregos, ou seja, são livres da influência do tamanho do sistema e a influência da magnitude dos carregamentos está parametrizada pelo desequilíbrio geral entre a população e os empregos em cada categoria.

6 CONCLUSÃO

As cidades têm passado por constantes transformações em suas formas e dinâmicas socioespaciais, requerendo novos métodos que permitam analisar como estas podem impactar em seu desempenho. Nesse sentido, a Incompatibilidade Espacial (*Spatial/Skill Mismatch*), entendida genericamente como a disparidade geográfica entre a população e os empregos, tem sido atestada como um problema relacionado às desigualdades espaciais nas oportunidades de desenvolvimento socioeconômico da população urbana.

Esta pesquisa desenvolveu um método de análise baseado na abordagem configuracional que permite descrever e comparar o desempenho urbano a partir dos níveis de acessibilidade da população aos empregos presentes em diferentes estruturas espaciais urbanas. Nesse sentido, a pesquisa atingiu o seu principal objetivo, trazendo contribuições para os estudos urbanos, de um modo geral, e, mais especificamente, aos estudos configuracionais.

A acessibilidade aos empregos é um fenômeno condicionado por diversas variáveis. Por isso, o método de análise proposto mostrou-se bastante complexo de se realizar. Ele depende de muitas variáveis que influenciam simultaneamente os resultados finais: as distâncias entre as localizações (condicionadas pela configuração da malha urbana), a localização e concentração da população, a localização e concentração dos postos de emprego e o efeito de modos de transporte coletivo sobre a distribuição relativa da população e dos empregos na estrutura espacial urbana. A modelagem foi a estratégia metodológica que permitiu tratar esse problema de maneira sistêmica e controlada, simplificando e tornando inteligível a realidade modelada.

Inicialmente, tínhamos como hipótese que, partindo-se de métodos de análise configuracional, seria possível quantificar e avaliar a acessibilidade aos empregos de modo sistêmico, incluindo certos fatores teóricos envolvidos no fenômeno e permitindo a comparação entre sistemas urbanos. De um modo geral, o trabalho demonstrou que a abordagem configuracional correspondeu ao que foi inicialmente postulado, com diversas potencialidades em alguns aspectos e algumas limitações em outros, as quais buscaremos pontuar na sequência.

6.1 POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Os indicadores desenvolvidos mostraram-se capazes de captar em seus resultados, em diferentes níveis, os efeitos das variáveis mencionadas. A construção do método de análise proposto centrou-se na introdução de duas importantes características da acessibilidade aos empregos apontadas na literatura especializada: a competição da população pelos empregos e a adequabilidade entre os empregos e a população.

O indicador de Acessibilidade Potencial (*AP*) é uma medida configuracional de acessibilidade que captura em seus valores finais, altamente desagregados de acordo com os componentes da rede, a disparidade espacial relativa entre a localização e a concentração da população e dos empregos. A medida é normalizada, ou seja, ela não sofre influência do tamanho da rede, sendo capaz de ser utilizada para avaliar o desempenho de estruturas espaciais distintas, constituindo-se, dessa forma, de um instrumento adequado para análises comparativas. O trabalho também avançou no sentido de definir indicadores sintéticos baseados no modelo configuracional proposto que podem ser utilizados para a comparação direta entre diferentes casos de estudo.

O trabalho se preocupou em realizar dois tipos de aplicação da abordagem proposta. A primeira baseou-se na construção de redes teóricas em que foram isolados os diferentes fatores intervenientes nos resultados dos indicadores. Além de testarem a sensibilidade dos indicadores em responder as mudanças nos atributos dos sistemas representados, os experimentos baseados em redes teóricas permitiram demonstrar as propriedades dos indicadores propostos e o modo como eles podem ser empregados na interpretação dos fatores teóricos envolvidos na acessibilidade aos empregos. A segunda aplicação baseou-se no contexto empírico de duas cidades médias brasileiras: Pelotas e Passo Fundo. Esta consistiu em uma análise da Acessibilidade Potencial da população de baixa renda a todos os empregos formais, tendo sido incorporado também o efeito do transporte coletivo por ônibus nas análises.

A variável espacial foi tratada no modelo proposto a partir das distâncias euclidianas mínimas entre pares de localizações de oferta e de demanda. As distâncias tomadas no modelo são inversamente proporcionais à Acessibilidade Potencial, ou seja, foi utilizada a função recíproca. A literatura aponta que a relação de separação espacial entre localizações residenciais e de empregos no tocante à noção de acessibilidade não é linear, e que tende a ser mais fielmente descrita a partir de outras funções de decaimento. Essas, por sua vez, necessitam da existência de parâmetros que são estimados a partir de dados empíricos obtidos em pesquisas do tipo origem-

destino, as quais revelam as frequências de viagem para cada tipo de destino. Se as cidades abordadas contassem com pesquisas desse tipo, seria possível introduzir funções de decaimento adaptadas a cada uma delas, tornando os resultados dos indicadores mais fidedignos. Contudo, a existência desse tipo de pesquisa não é comum para o caso das cidades médias brasileiras.

Uma questão pouco explorada pelo trabalho, em razão da indisponibilidade de dados, foi o potencial do método proposto em refletir características de adequabilidade entre a oferta de empregos e a população. Para isso, seriam necessários dados de população e emprego devidamente segmentados (ex.: empregos segmentados de acordo com faixas salariais ou níveis de qualificação profissional e população em idade ativa segmentada de acordo com a renda per capita mensal ou de acordo com a escolaridade/nível de qualificação para o trabalho). Apesar de não ter avançado nesse sentido, a abordagem proposta é flexível no sentido de que ela permitiria analisar comparativamente o desempenho inerente à diferentes categorias populacionais dentro de uma mesma estrutura espacial e também entre estruturas espaciais distintas.

O critério de análise da acessibilidade aos empregos adotado, referenciado na literatura existente, definiu que a diferenciação espacial é capaz de gerar competição entre a população pelos empregos, já que cada posto de emprego pode somente ser ocupado por um postulante. Definiu-se que a competição é maior nas proximidades das ofertas de emprego quando existe ali uma grande quantidade de pessoas, e que essa competição passa a diminuir quando diminui a quantidade de pessoas nas proximidades das ofertas de emprego. Dito isso, destaca-se que o método de análise proposto não é capaz de captar a competição existente entre categorias populacionais distintas. Por exemplo, pode-se pensar que a população de alta qualificação profissional compete pelos empregos destinados à alta qualificação profissional. Em certa situação em que faltam empregos para essa categoria populacional, parte dos postulantes pertencentes a ela poderiam aceitar vagas de emprego de menor qualificação (e, provavelmente, menor salário). Na sua formulação atual, esse efeito de *filtering down* ainda não é capturado no modelo proposto.

Também foi explorado um método para introduzir à modelagem da Acessibilidade Potencial da população urbana o efeito do transporte coletivo intraurbano por ônibus. Cabe aqui fazer uma comparação com os indicadores de acessibilidade da área dos transportes. Para estes, a variável espacial tende a ser computada a partir do tempo de viagem. O tratamento desse modo de transporte em um modelo configuracional (em que a diferenciação espacial é aferida a partir das distâncias euclidianas) é mais complexo de ser feito. Por esse motivo, o método de análise proposto precisou ser bastante abstrato, baseado somente em características de conexão e distância entre as paradas correspondentes a cada linha de ônibus. Daí implica que o método não é capaz de captar diferenças nos horários disponibilizados e no congestionamento (lotação) dos ônibus, fatores que influenciam significativamente na acessibilidade. Apesar disso, os resultados pareceram captar adequadamente as mudanças na hierarquia espacial decorrentes da presença do modo coletivo de transporte, modificando a distribuição dos valores da medida a partir da qualidade da distribuição e conexão das linhas e paradas de ônibus.

O trabalho procurou dar continuidade aos estudos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa *Sistemas Configuracionais Urbanos*, que tem se ocupado em desenvolver técnicas para mensurar e avaliar o desempenho urbano com especial foco nos pontos de conexão, pelo menos parcialmente causais, entre a morfologia urbana, capturada a partir do entendimento das cidades como redes, e as dinâmicas socioespaciais. Neste aspecto, o trabalho se difere da maioria das abordagens de análise da acessibilidade aos empregos existentes na literatura até o momento, menos preocupadas em endereçar o papel da forma urbana nos seus métodos analíticos.

Para os estudos configuracionais, a principal contribuição do trabalho está no método de análise pautado na representação das relações espaciais como direcionadas e valoradas. Ao compatibilizar alguns fatores envolvidos na noção de acessibilidade aos empregos em um método de análise configuracional, a pesquisa constituiu-se de um avanço em relação aos indicadores de desempenho urbano baseados na abordagem configuracional existentes até o momento. Como contribuição teórica, a pesquisa colaborou para a problematização do desempenho da forma urbana no que diz respeito a acessibilidade aos empregos.

A pesquisa originou instrumentos analíticos e sistematizou métodos de análise espacial baseados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) com alta aplicabilidade ao planejamento urbano e a gestão pública urbana. Um mérito do método proposto é que ele permite o teste de cenários alternativos para o futuro, contribuindo com os processos de decisão e monitoração envolvidos no planejamento urbano e regional. Por exemplo, poderia ser analisada a implantação de um novo polo de empregos (como um shopping center ou um novo distrito industrial, por exemplo) em localizações alternativas em uma cidade. O método contribuiria para avaliar efeitos dessa implantação na acessibilidade aos empregos para diferentes categorias populacionais. O trabalho também originou um instrumento computacional (*script* escrito em código Python que opera no software QGIS e que faz parte do conjunto de *scripts* GAUS) de livre acesso que pode ser utilizado pelo público em geral para fins acadêmicos. Este fator, somado à utilização de dados públicos e abertos, tornam a pesquisa altamente replicável.

A pesquisa enfrentou diversas dificuldades relacionadas a indisponibilidade ou imprecisão dos dados, as quais implicaram na necessidade de simplificação da aplicação empírica da abordagem. Dentre elas, destacamos as seguintes:

- (1) Não obtivemos dados de população e empregos devidamente segmentados (de acordo com a renda da população e faixa salarial dos empregos ou com a escolaridade da população e o nível de qualificação exigida pelos empregos), conforme desejado inicialmente;
- (2) A inexistência de um Censo Demográfico mais atualizado implicou em uma defasagem temporal dos dados de população;
- (3) A geocodificação dos dados da RAIS teve de ser feita partir do CEP dos estabelecimentos, já que, por questões de sigilo, os endereços não são disponibilizados por esse banco de dados;

(4) Para evitar distorções nos resultados, foi necessário fazer uma limpeza no banco de dados de empregos, o que resultou na eliminação de um número significativo de postos de trabalho vinculados aos setores de construção civil, transporte e administração pública. Isso impactou bastante o número total de empregos de Pelotas, que possui uma porcentagem relativamente alta de seu estoque de vínculos empregatícios no setor da administração pública.

(5) Os empregos informais, que se constituem de um formato de trabalho consolidado nas cidades brasileiras, não foram considerados nas análises, já que não existem dados da distribuição espacial dos postos de trabalho informais.

Apesar das limitações relacionadas à aplicação empírica, a problemática enfrentada e os objetivos da pesquisa foram destinados ao tratamento da acessibilidade aos empregos em um modelo espacial e ao estudo das possibilidades de análise e interpretação dos resultados desse modelo. A validade e relevância do trabalho residem sobretudo na elaboração de um método capaz de descrever os aspectos do fenômeno abordado, independentemente do caso empírico.

A hipótese que os estudos da Incompatibilidade Espacial (*Spatial/Skill Mismatch*) buscam testar é a de que a disparidade geográfica entre locais de emprego e residência pode acarretar em aspectos negativos para a população envolvida, influenciando a sua empregabilidade e a pobreza persistente através de gerações, sobretudo para a população de mais baixa renda, que possui menor acesso ao mercado imobiliário formal e maiores restrições de mobilidade cotidiana. A pesquisa contribuiu com essa linha de estudos fornecendo instrumentos analíticos que colaboram com a compreensão das desigualdades socioespaciais que interferem no desenvolvimento socioeconômico da população.

6.2 POSSIBILIDADES DE DESDOBRAMENTO DA PESQUISA

Tendo em vista as potencialidades e limitações destacados, elencamos objetivamente na sequência algumas possibilidades de desdobramento da pesquisa:

(1) A pesquisa realizada é metodológica e procura desenvolver um modo de representar aspectos envolvidos na acessibilidade aos empregos em um modelo configuracional. Seria importante, para novas pesquisas, aprofundar o tema da avaliação do desempenho urbano na acessibilidade aos empregos do ponto de vista da eficiência, equidade, qualidade ambiental, sustentabilidade, entre outros. Em Krafta (2014), assume-se que a avaliação do desempenho da forma urbana dependeria basicamente de três fatores: da disponibilidade de indicadores (métodos para mensurar o fenômeno), de critérios de mensuração (vinculados a valores sociais, o que pode ou não ser considerado um bom desempenho) e de uma escala (espaço de variação da medida). O presente trabalho contribui mais diretamente com o primeiro componente (indicadores). O sistema de valores permitiria graduar o valor social de determinado atributo urbano e, nesse sentido, é mais difícil de ser abordado por depender de consenso e valores sociais compartilhados.

(2) Estudos futuros poderiam estender a aplicação da abordagem proposta a uma amostra maior de cidades ou até regiões. Isso tornaria a análise e a comparação dos resultados dos indicadores para os diferentes casos empíricos mais ampla e interessante, permitindo a detecção de relações entre padrões da forma urbana e padrões de acessibilidade aos empregos. Esse conhecimento mais amplo também permitiria avançar na avaliação geral do desempenho da forma urbana, comentada no item anterior, na medida em que possibilitaria um panorama comparativo, contribuindo para a delimitação de possíveis escalas de valores de referência.

(3) De acordo com as propriedades dos indicadores e das características dos métodos de análise propostos, acreditamos que seria possível utilizá-los para analisar a acessibilidade da população a outras oportunidades urbanas sujeitos à competição, ou seja, facilidades ou serviços que possuem capacidade limitada. Exemplos disso são os serviços educacionais e de saúde, tanto públicos como privados. Este é um desdobramento da pesquisa que mereceria ser futuramente desenvolvido.

(4) Novos trabalhos poderiam endereçar melhor, e de forma combinada, o modo como as variáveis competição e adequabilidade são incluídas no processo de modelagem, de modo a levar em conta o efeito de *filtering down*, citado no item anterior. Uma opção seria o desenvolvimento de um modelo dinâmico (iterativo), que aferisse a acessibilidade aos empregos captando o efeito da competição entre categorias populacionais distintas. Por exemplo, em uma primeira iteração, o modelo computaria a competição presente dentro de uma categoria de maior qualificação profissional. A população que permanecesse desempregada aceitaria uma vaga de emprego destinada a uma faixa de qualificação inferior, e assim por diante, para todos os pares de categorias de população e empregos. Desse modo, a competição existente dentro de cada categoria populacional de maior qualificação teria efeitos sobre a acessibilidade aos empregos correspondentes às categorias de menor qualificação. Evidentemente que essa abordagem necessitaria de adequado refinamento teórico, matemático e computacional.

(5) Pode-se dizer que o método de inclusão do efeito do transporte por ônibus proposto se aproxima dos estudos de redes em multicamadas, tal como descrito por Bianconi (2018), já que o método procurou descrever o efeito de interdependência de diferentes camadas de redes sobre as propriedades de uma outra rede. Desdobramentos da pesquisa poderiam aprofundar teórica e metodologicamente a representação dos efeitos de modos alternativos de transporte sobre a estrutura espacial urbana, valendo-se da abordagem dos estudos de redes em multicamadas.

(6) A abordagem proposta foi baseada em um modelo autorreferente, em que os fatores intervenientes no fenômeno e o modo com que esses fatores condicionam o fenômeno são incluídos na modelagem por dedução, à luz dos conhecimentos teóricos e metodológicos existentes. Estudos futuros poderiam ir além, buscando compreender com mais profundidade como os resultados dos métodos analíticos propostos poderiam estar correlacionados com situações empíricas decorrentes da disparidade geográfica entre a população e os empregos como, por exemplo, o desempenho da população em indicadores do mercado de trabalho.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMO, P. A Teoria Econômica da Favela: quatro notas sobre a localização residencial dos pobres e o mercado imobiliário informal. In: ABRAMO, P. (org.). **A cidade da informalidade**. O desafio das cidades latino-americanas. Rio de Janeiro: Sette Letras, 2003. p. 189–223.
- ABRAMO, P. **A cidade caleidoscópica**. Coordenação Espacial e Convenção Urbana. Rio de Janeiro: Bertran Brasil, 2007a.
- ABRAMO, P. A cidade COM-FUSA: a mão inoxidável do mercado e a produção da estrutura urbana nas grandes metrópoles latino-americanas. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 9, n. 2, p. 25, 2007b.
- ABRAMO, P.; PULICI, A. Vende-se uma casa: o mercado imobiliário informal nas favelas do Rio de Janeiro. In: ABRAMO, P. (org.). **Favela e mercado informal: a nova porta de entrada dos pobres nas cidades brasileiras**. Porto Alegre: Coleção HABITARE/FINEP, 2009, p. 200–225.
- ALETA, A.; MORENO, Y. Multilayer Networks in a Nutshell. **Annual Review of Condensed Matter Physics**, v. 31, p. 45–62, 2018.
- ALLEN, J.; FARBER, S. Sizing up transport poverty: A national scale accounting of low-income households suffering from inaccessibility in Canada, and what to do about it. **Transport Policy**, v. 74, p. 214–223, 2019.
- ANAS, A.; ARNOTT, R.; SMALL, K. A. Urban Spatial Structure. **Journal of Economic Literature**, v. 36, n. 3, p. 1426–1464, 1998.
- ANTP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana (SIMOB) – Relatório 2018**. 2020. Disponível em: <<http://files.antp.org.br/>>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- BADINGER, H.; URL, T. Les déterminants du chômage régional: Des preuves provenant de l’Autriche. **Regional Studies**, v. 36, n. 9, p. 977–988, 2002.
- BARBOZA, M. H. C. et al. Balancing time: Using a new accessibility measure in Rio de Janeiro. **Journal of Transport Geography**, n. 90, p. 102924, 2021.
- BARUFI, A. M. B.; HADDAD, E. A. Spatial mismatch, wages and unemployment in metropolitan areas in Brazil. **Region**, v. 4, n. 3, p. 175–200, 2017.
- BATTY, M. **A new theory of space syntax**: CASA Working Papers. Paper 75. London: University College London, 2004. Disponível em: <<http://www.casa.ucl.ac.uk/publications/workingpapers.asp>>
- BATTY, M. **Complexity in City Systems: Understanding, Evolution, and Design**: CASA Working Papers. Paper 117. London: University College London, 2007. Disponível em: <<https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/3473/>>.
- BATTY, M. Accessibility: In search of a unified theory. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 36, n. 2, p. 191–194, 2009.
- BATTY, M. **The New Science of Cities**. Cambridge: MIT Press, 2013.
- BAVELAS, A. A Mathematical Model for Group Structures. **Human Organization**, v. 7, n. 3, p. 16–30, 1948.
- BEAUCHAMP, M. A. An Improved Index of Centrality. **Behavioral Science**, v. 10, p. 161–163, 1965.
- BERTALANFFY, L. VON. **General Systems Theory**. New York: George Braziller, 1968.
- BERTOLINI, L.; LE CLERCQ, F.; KAPOEN, L. Sustainable accessibility: A conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two test-applications in the Netherlands and a reflection on the way forward. **Transport Policy**, v. 12, n. 3, p. 207–220, 2005.
- BERTUGLIA, C.; CLARKE, G.; WILSON, A. **Modelling the City: Performance, Policy and Planning**. London: Routledge, 1994.
- BIANCONI, G. **Multilayer networks: Structure and function**. Oxford: Oxford University Press, 2018.

- BITTENCOURT, T. A.; GIANNOTTI, M.; MARQUES, E. Cumulative (and self-reinforcing) spatial inequalities: Interactions between accessibility and segregation in four Brazilian metropolises. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 48, n. 7, p. 1–17, 2020.
- BOISJOLY, G. et al. Accessibility measurements in São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba and Recife, Brazil. **Journal of Transport Geography**, v. 82, p. 102551, 2020.
- BOISJOLY, G.; EL-GENEIDY, A. M. How to get there? A critical assessment of accessibility objectives and indicators in metropolitan transportation plans. **Transport Policy**, v. 55, p. 38–50, 2017.
- BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos. **Comissão para Definição da Classe Média no Brasil**, 2012.
- CAMPOS, N.; FARRET, R. Mercado Imobiliário em Assentamentos Informais no Distrito Federal. In: ABRAMO, P. (org.). **Favela e mercado informal: a nova porta de entrada dos pobres nas cidades brasileiras**. Porto Alegre: Coleção HABITARE/FINEP, 2009, p. 242-271.
- CERVERO, R. Jobs-housing balancing and regional mobility. **Journal of the American Planning Association**, v. 55, n. 2, p. 136–150, 1989.
- CERVERO, R.; ROOD, T.; APPLEYARD, B. Job Accessibility as a Performance Indicator: An Analysis of Trends and Their Social Policy Implications in the San Francisco Bay Area. [s.l.: s.n.], 1995. Disponível em: <<https://escholarship.org/uc/item/6mp941d9>>.
- CERVERO, R.; SANDOVAL, O.; LANDIS, J. Transportation as a stimulus of welfare-to-work: Private versus public mobility. **Journal of Planning Education and Research**, v. 22, n. 1, p. 50–63, 2002.
- CHENG, J.; BERTOLINI, L. Measuring urban job accessibility with distance decay, competition and diversity. **Journal of Transport Geography**, v. 30, p. 100–109, 2013.
- CORAK, M. Income Inequality, Equality of Opportunity, and Intergenerational Mobility. **Journal of Economic Perspectives**, v. 27, n. 3, p. 79–102, 2013.
- CORRÊA, R. Construindo o conceito de cidade média. In: **Cidades médias: espaços em transição**. São Paulo: Expressão Popular, 2007. p. 23–34.
- COSTA, F. G. **Atributos Espaciais da Localização Residencial**. 2016. 162 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional), Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- CRUCITTI, P.; LATORA, V.; PORTA, S. Centrality measures in spatial networks of urban streets. **Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics**, v. 73, n. 3, p. 1–5, 2006.
- DAI, T. QI et al. Incorporating job diversity preference into measuring job accessibility. **Cities**, v. 78, p. 108–115, 2018.
- DALCIN, G. K.; KRAFTA, R. **Graph Analysis of Urban Systems (GAUS)**. Versão 1.0. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021. Disponível em: <https://github.com/gkdalcin/GAUS>. Acesso em: 9 jun. 2021.
- DAVIS, G. F.; SINHA, A. Varieties of Uberization: How technology and institutions change the organization(s) of late capitalism. **Organization Theory**, v. 2, n. 1, p. 1–17, 2021.
- DEBOOSERE, R.; EL-GENEIDY, A. Evaluating equity and accessibility to jobs by public transport across Canada. **Journal of Transport Geography**, v. 73, p. 54–63, 2018.
- DELMELLE, E.; NILSSON, I.; ADU, P. Poverty suburbanization, job accessibility, and employment outcomes. **Social Inclusion**, v. 9, n. 2, p. 166–178, 2021.
- DUPAS, G. **Economia global e exclusão social**. São Paulo: Paz e Terra, 1999.
- ECHENIQUE, M. **Modelos matemáticos de la estructura urbana**. Buenos Aires: Ediciones SIAP, 1976.
- FAINSTEIN, S. S. The just city. **International Journal of Urban Sciences**, v. 18, n. 1, p. 1–18, 2013.

- FARIA, A. P. N. **Análise configuracional da forma urbana e sua estrutura cognitiva**. 2010. 321 p. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional), Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- FARRINGTON, J. H. The new narrative of accessibility: its potential contribution to discourses in (transport) geography. **Journal of Transport Geography**, v. 15, n. 5, p. 319–330, 2007.
- FEPAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. **Biblioteca Digital: arquivos digitais para uso em SIG**. 2005.
- FERRARI, T. K. et al. Household structure and urban opportunities: Evaluating differences in the accessibility to jobs, education and leisure in São Paulo. **Journal of Transport and Land Use**, v. 14, n. 1, p. 841–862, 2021.
- FERNANDEZ, R. M. Race, spatial mismatch, and job accessibility: Evidence from a plant relocation. **Social Science Research**, v. 37, n. 3, p. 953–975, 2008.
- FILIZTEKIN, A. Regional unemployment in Turkey. **Papers in Regional Science**, v. 88, n. 4, p. 863–878, 2009.
- FRANÇA, A. **Indicadores de desempenho espacial estudo de caso: a cidade de Curitiba - SC**. 2004. 136 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional), Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- FREEMAN, L. C. A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. **Sociometry**, v. 40, n. 1, p. 35, 1977.
- FREEMAN, L. C. Centrality in social networks. **Social Networks**, v. 1, n. 3, p. 215–239, 1979.
- GEARY, W. **Geocoding with Google Sheets**. Código para geolocalizações de endereços e CEPs, 2016. Disponível em: <https://willgeary.github.io/data/2016/11/04/Geocoding-with-Google-Sheets.html>. Acesso em: 28 mar. 2021.
- GEURS, K. T. **Transport Planning With Accessibility Indices in the Netherlands**. In: International Transport Forum. Enschede: University of Twente, 2018.
- GEURS, K. T.; ECK, J. R. **Accessibility measures: review and applications**. RIVM report 408505 006. Bilthoven: National Institute of Public Health and the Environment, 2001. Disponível em: <www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/408505006.html>.
- GEURS, K. T.; WEE, B. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. **Journal of Transport Geography**, v. 12, n. 2, p. 127–140, 2004.
- GHENO, P. Z. **Indicador de desempenho urbano: metodologia e perspectiva de integração**. 2009. 187 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional), Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- GIL, J. Street network analysis “edge effects”: Examining the sensitivity of centrality measures to boundary conditions. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 44, n. 5, p. 819–836, 2017.
- GOBILLON, L.; SELOD, H. Spatial mismatch, poverty, and vulnerable populations. In: FISCHER, M. M.; NIJKAMP, P. (org.). **Handbook of Regional Science**. Berlin: Springer, 2014, p. 93-107.
- GONÇALVES, A. R. **Indicadores de dispersão urbana**. 2011. 113 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional), Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- GONÇALVES, G. M. MARASCHIN, C. Avaliação das desigualdades de acesso a áreas verdes públicas através do modelo de Oportunidade Espacial. **Projectare**, n. 12, p. 123-139, 2021.
- GOODALL, B. **The economics of urban areas**. Oxford: Pergamon, 1972.
- HADDAD, E. A.; BARUFI, A. M. B. From rivers to roads: Spatial mismatch and inequality of opportunity in urban labor markets of a megacity. **Habitat International**, v. 68, p. 3–14, 2016.
- HANDY, S. L.; NIEMEIER, D. A. Measuring accessibility: An exploration of issues and alternatives. **Environment and Planning A**, v. 29, n. 7, p. 1175–1194, 1997.

- HANSEN, W. G. How Accessibility Shapes Land Use. **Journal of the American Planning Association**, v. 25, n. 2, p. 73–76, 1959.
- HARVEY, D. **Social Justice and the City**. Baltimore: John Hopkins University Press, 1973.
- HERNANDEZ, D. Uneven mobilities, uneven opportunities: Social distribution of public transport accessibility to jobs and education in Montevideo. **Journal of Transport Geography**, v. 67, p. 119–125, 2018.
- HERNANDEZ, D.; HANSZ, M.; MASSOBRI, R. Job accessibility through public transport and unemployment in Latin America: The case of Montevideo (Uruguay). **Journal of Transport Geography**, v. 85, p. 102742, 2020.
- HILLIER, B. et al. Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 20, n. 1, p. 29–66, 1993.
- HILLIER, B.; HANSON, J. **The Social Logic of Space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- HORNER, M. W. Exploring metropolitan accessibility and urban structure. **Urban Geography**, v. 25, n. 3, p. 264–284, 2004.
- HUFF, D. L. A Probabilistic Analysis of Shopping Center Trade Areas. **Land Economics**, v. 39, n. 1, p. 81–90, 1963.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2011. **Censo Demográfico 2010**. Resultados do Universo Agregados por Setor Censitário. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Regiões de Influência das Cidades: 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020, 192 p. Acesso em: 07 mai. 2021.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: Notas Metodológicas**. Vol. 1. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Acesso em: 6 jun. 2021.
- IHLANFELDT, K. R.; SJOQUIST, D. L. The Spatial Mismatch Hypothesis: A Review of Recent Studies and Their Implications for Welfare Reform. **Housing Policy Debate**, v. 9, n. 4, p. 849–892, 1998.
- INGRAM, D. R. The concept of accessibility: A search for an operational form. **Regional Studies**, v. 5, n. 2, p. 101–107, 1971.
- JIANG, B. A topological pattern of urban street networks: Universality and peculiarity. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 384, n. 2, p. 647–655, 2007.
- JIANG, B.; CLARAMUNT, C. Topological analysis of urban street networks. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 31, n. 1, p. 151–162, 2004.
- JIN, J.; PAULSEN, K. Does accessibility matter? Understanding the effect of job accessibility on labour market outcomes. **Urban Studies**, v. 55, n. 1, p. 91–115, 2018.
- JOSEPH, A. E.; BANTOCK, P. R. Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: A method and case study. **Social Science and Medicine**, v. 16, n. 1, p. 85–90, 1982.
- KAMAKURA, W.; MAZZON, J. Critérios de Estratificação e Comparação de classificadores socioeconômicos no Brasil. **Revista de Administração de Empresas**, v. 56, n. 1, p. 55–70, 2016.
- KELOBONYE, K. et al. Measuring the accessibility and spatial equity of urban services under competition using the cumulative opportunities measure. **Journal of Transport Geography**, v. 85, p. 102706, 2020.
- KRAFTA, R. Modelling intraurban configurational development. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 21, n. 1, p. 67–82, 1994.
- KRAFTA, R. Urban Convergence: Morphology and Attraction. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 23, n. 1, p. 37–48, 1996.
- KRAFTA, R. Avaliação de desempenho urbano. **Anais do VII Encontro Nacional da ANPUR**, v. 7, p. 207–235, 1997.

- KRAFTA, R. C. **Notas de aula de morfologia urbana**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2014.
- KRAJZEWICZ, D.; HEINRICHS, D.; CYGANOSKI, R. Intermodal Contour Accessibility Measures Computation Using the 'UrMo Accessibility Computer'. **International Journal on Advances in Systems and Measurements**, v. 10, n. 3, p. 111–123, 2017.
- KRÜGER, M. J. T. An approach to built-form connectivity at an urban scale: relationships between built-form connectivity, adjacency measures, and urban spatial structure. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 7, n. 2, p. 163–194, 1979.
- LATORA, V.; MARCHIORI, M. A measure of centrality based on network efficiency. **New Journal of Physics**, v. 9, n. 6, p. 188–188, 28 jun. 2007.
- LEFEBVRE, H. **O Direito à Cidade**. 5 ed. São Paulo: Centauro, 2011.
- LEVINSON, D. M.; KING, D. **Transport Access Manual**. Sydney: Committee of the Transport Access Manual, 2020.
- LUO, W.; WANG, F. Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: Synthesis and a case study in the Chicago region. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 30, n. 6, p. 865–884, 2003.
- LYONS, T.; EWING, R. Does transit moderate spatial mismatch? The effects of transit and compactness on regional economic outcomes. **Cities**, v. 113, p. 103160, 2021.
- MARASCHIN, C.; RIBEIRO, B. M. G.; SOUZA, J. L. Medindo a oportunidade espacial nas cidades: o acesso aos estabelecimentos varejistas de grande porte em Porto Alegre. Anais do XVII Encontro Nacional da ANPUR, 2017. Disponível em: <http://anpur.org.br/xviienanpur/principal/publicacoes/XVII.ENANPUR_Anais/ST_Sessoes_Tematicas/ST 8/ST 8.2/ST 8.2-04.pdf>
- MARTINS, G. DE A.; THEÓPHILO, C. R. Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas. São Paulo: Atlas, 2009.
- MATAS, A.; RAYMOND, J. L.; ROIG, J. L. Job accessibility and female employment probability: The cases of Barcelona and Madrid. **Urban Studies**, v. 47, n. 4, p. 769–787, 2010.
- MERLIN, L. A.; HU, L. Does competition matter in measures of job accessibility? Explaining employment in Los Angeles. **Journal of Transport Geography**, v. 64, n. April, p. 77–88, 2017.
- MTE – MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Relação Anual de Informações Sociais – RAIS. Programa de Disseminação de Estatísticas do Trabalho (PDET), **Base de microdados RAIS Estabelecimento, 2019**. Disponível em: <<ftp://ftp.mtps.gov.br/pdet/microdados/>>. Acesso em: 18 fev. 2021.
- NETTO, V. M.; KRAFTA, R. A forma urbana como problema de desempenho. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 11, n. 2, p. 157–180, 2009.
- NEUTENS, T. et al. Equity of urban service delivery: A comparison of different accessibility measures. **Environment and Planning A**, v. 42, n. 7, p. 1613–1635, 2010.
- OJIMA, R. Dimensões da urbanização dispersa e proposta metodológica para estudos comparativos: uma abordagem socioespacial em aglomerações urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 24, n. 2, 2007.
- PAINTER, G.; LIU, C. Y.; ZHUANG, D. Immigrants and the spatial mismatch hypothesis: Employment outcomes among immigrant youth in Los Angeles. **Urban Studies**, v. 44, n. 13, p. 2627–2649, 2007.
- PASSO FUNDO. Lei Complementar nº 170, de 2006. **Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado - PDDI do Município de Passo Fundo**. Passo Fundo, RS, 2006. Disponível em: <https://www.pmpf.rs.gov.br/>. Acesso em 03 jul 2021.
- PELOTAS. Lei 5.502 de 11 de setembro de 2008. **Institui o Plano Diretor Municipal e estabelece as diretrizes e proposições de ordenamento e desenvolvimento territorial no Município de Pelotas, e dá outras providências**. Pelotas, RS, 2008. Disponível em: <http://www.pelotas.rs.gov.br/>. Acesso em 03 jul 2021.

- PEREIRA, R. H. M.; SCHWANEN, T.; BANISTER, D. Distributive justice and equity in transportation. **Transport Reviews**, v. 37, n. 2, p. 170–191, 2017.
- PEREIRA, R. H. M. et al. **Desigualdades socioespaciais de acesso a oportunidades nas cidades brasileiras**. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Texto para Discussão, 2019.
- PEREIRA, R. H. M. Future accessibility impacts of transport policy scenarios: Equity and sensitivity to travel time thresholds for Bus Rapid Transit expansion in Rio de Janeiro. **Journal of Transport Geography**, v. 74, p. 321–332, 2019.
- PEREIRA, R. H. M.; SCHWANEN, T.; BANISTER, D. Distributive justice and equity in transportation. **Transport Reviews**, v. 37, n. 2, p. 170–191, 2017.
- PEREIRA, S. O. G.; CABRAL, J. P. C. Informalidade e crise do emprego no Brasil. **Revista Humanidades e Inovação**, v. 6, n. 18, p. 92–102, 2019.
- PORTA, S.; CRUCITTI, P.; LATORA, V. The network analysis of urban streets: A primal approach. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 33, n. 5, p. 705–725, 2006a.
- PORTA, S.; CRUCITTI, P.; LATORA, V. The network analysis of urban streets: A dual approach. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 369, n. 2, p. 853–866, 2006b.
- PORTUGALI, J. **Complexity Cognition and the City**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- REGGIANI, A.; BUCCI, P.; RUSSO, G. Accessibility and impedance forms: Empirical applications to the German commuting network. **International Regional Science Review**, v. 34, n. 2, p. 230–252, 2011.
- ROLNIK, R. Exclusão territorial e violência. **São Paulo em Perspectiva**, v. 13, n. 4, p. 100–111, dez. 1999.
- ROY, J. R.; THILL, J. C. Spatial interaction modelling. **Papers in Regional Science**, v. 83, n. 1, p. 339–361, 2004.
- RUPASINGHA, A.; GOETZ, S. J. Social and political forces as determinants of poverty: A spatial analysis. **Journal of Socio-Economics**, v. 36, n. 4, p. 650–671, 2007.
- SABIDUSSI, G. The centrality index of a graph. **Psychometrika**, v. 31, n. 4, p. 581–603, 1966.
- SANCHEZ, T. W. Poverty, policy, and public transportation. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 42, n. 5, p. 833–841, 2008.
- SANDOVAL, J. S. O.; CERVERO, R.; LANDIS, J. The transition from welfare-to-work: How cars and human capital facilitate employment for welfare recipients. **Applied Geography**, v. 31, n. 1, p. 352–362, 2011.
- SEVTSUK, A. **Path and Place: A Study of Urban Geometry and Retail Activity in Cambridge and Somerville, MA**. 2010. 215 p. Tese (PhD em Urban Studies and Planning). Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, 2010.
- SEVTSUK, A.; MEKONNEN, M. Urban network analysis. A new toolbox for ArcGIS. **Revue Internationale de Géomatique**, v. 22, n. 2, p. 287–305, 2012.
- SHEN, Q. Location characteristics of inner-city neighborhoods and employment accessibility of low-wage workers. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 25, n. 1, p. 345–365, 1998.
- SILVA, A. L. Breve Discussão Sobre O Conceito De Cidade Média. **Geogingá**, v. 5, n. 1, p. 58–76, 2013.
- SILVEIRA, T. DA S. **Avaliação da equidade no acesso aos serviços públicos de saúde utilizando o modelo de Oportunidade Espacial**. 2019. 133 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional), Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
- SOUZA, A. G.; MONTEIRO, D. A. Ocupação Urbana e Mercado Informal de Solo em Salvador. In: ABRAMO, P. (org.). **Favela e mercado informal: a nova porta de entrada dos pobres nas cidades brasileiras**. Porto Alegre: Coleção HABITARE/FINEP, 2009, p. 80–111.

- SPOSITO, M. E. B. et al. O estudo das cidades médias brasileiras: uma proposta metodológica. In: SPOSITO M.E.B. et al. (org.). **Cidades médias: espaços em transição**. São Paulo: Expressão Popular, 2007. p. 35–67.
- SUÁREZ, M.; MURATA, M.; CAMPOS, J. D. Why do the poor travel less? Urban structure, commuting and economic informality in Mexico City. **Urban Studies**, v. 53, n. 12, p. 2548–2566, 2016.
- SUGAI, M. I. Há favelas e pobreza na “Ilha da Magia”? In: ABRAMO, P. (org.). **Favela e mercado informal: a nova porta de entrada dos pobres nas cidades brasileiras**. Porto Alegre: Coleção HABITARE/FINEP, 2009, p. 162-199.
- TALLEN, E. Visualizing fairness: Equity maps for planners. **Journal of the American Planning Association**, v. 64, n. 1, p. 22–38, 1998.
- TALLEN, E.; ANSELIN, L. Assessing spatial equity: An evaluation of measures of accessibility to public playgrounds. **Environment and Planning A**, v. 30, n. 4, p. 595–613, 1998.
- TEKLENBURG, J. A. F.; TIMMERMANS, H. J. P.; VAN WAGENBERG, A. F. Space syntax: standardised integration measures and some simulations. **Environment & Planning B: Planning & Design**, v. 20, n. 3, p. 347–357, 1993.
- VILLAÇA, F. **Espaço Intra-Urbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- WANG, F. Job proximity and accessibility for workers of various wage groups. **Urban Geography**, v. 24, n. 3, p. 253–271, 2003.
- WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social Network Analysis. Methods and Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- WATTS, D. J. **Six Degrees – The Science of a Connected Age**. New York: W.W. Northon and Company, 2004.
- WILSON, A. G. A Family of Spatial Interaction Models, and Associated Developments. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 3, n. 1, p. 1–32, 1971.
- WONG, C. **Indicators for Urban and Regional Planning**. London: Routledge, 2006.
- WU, Y.; ZHOU, Y.; LIU, Y. Exploring the outflow of population from poor areas and its main influencing factors. **Habitat International**, v. 99, 2020.
- ZENOU, Y. Urban unemployment, agglomeration and transportation policies. **Journal of Public Economics**, v. 77, n. 1, p. 97–133, 2000.