

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**MESTRADO ACADÊMICO EM MODELAGEM DE SISTEMAS COMPLEXOS**

**EDUARDO VICENSI DE BASTIANI**

**Análise e Modelos de Localização de  
Atividades Econômicas em Cidades**

**São Paulo,**

**2021**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Artes, Ciências e Humanidades,  
com os dados inseridos pelo(a) autor(a)  
Brenda Fontes Malheiros de Castro CRB 8-7012; Sandra Tokarevicz CRB 8-4936

Vicensi De Bastiani, Eduardo  
Análise e modelos de localização de atividades  
econômicas em cidades / Eduardo Vicensi De Bastiani;  
orientador, Camilo Rodrigues Neto. -- São Paulo,  
2021.  
98 p: il.

Dissertacao (Mestrado em Ciencias) - Programa de  
Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos,  
Escola de Artes, Ciências e Humanidades,  
Universidade de São Paulo, 2021.  
Versão corrigida

1. Cidades. 2. Economia urbana. 3. Atividade  
econômica. 4. Espaço urbano - Análise. 5. Geografia  
urbana. 6. Sistemas complexos. I. Rodrigues Neto,  
Camilo, orient. II. Título.

EDUARDO VICENSI DE BASTIANI

## **Análise e Modelos de Localização de Atividades Econômicas em Cidades**

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Complexos.

Área de concentração: Sistemas Complexos

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 15 de Outubro de 2021. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da EACH-USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a Resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Orientador: Prof. Dr. Camilo Rodrigues Neto

São Paulo,

2021

Dissertação de autoria de Eduardo Vicensi De Bastiani, sob o título “**Análise e Modelos de Localização de Atividades Econômicas em Cidades**”, apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, na área de concentração Sistemas Complexos, aprovada em 15 de Outubro de 2021 pela comissão julgadora constituída pelos doutores:

---

**Prof. Dr. Camilo Rodrigues Neto**

Escola de Artes, Ciências e Humanidades - Universidade de São Paulo  
Presidente

---

**Prof. Dr. Marcelo de Souza Lauretto**

Escola de Artes, Ciências e Humanidades - Universidade de São Paulo

---

**Prof. Dr. Fabiano Lemes Ribeiro**

Departamento de Física - Universidade Federal de Lavras

---

**Prof. Dr. Haroldo Valentin Ribeiro**

Departamento de Física - Universidade Estadual de Maringá



## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Camilo Rodrigues Neto, pelo entusiasmo com cidades que me motivou a ingressar no curso, e por ser um grande orientador nessa jornada, em todos os momentos gentilmente compartilhando conhecimentos tão essenciais na completude deste trabalho, apoiando e incentivando, e isso fez toda a diferença.

Aos professores do programa de Sistemas Complexos que contribuíram para minha formação e por uma visão holística do mundo. Aos colegas de curso, que evocam momentos inspiradores dividindo experiências, desafios e aspirações. Ao Prof. Dr. Fernando Fagundes e Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Flávia Sarti por ótimas conversas e ideias.

Aos professores Dr. Fabiano Ribeiro, Dr. Haroldo Valentin Ribeiro e Dr. Marcelo Laretto por suas contribuições na defesa da dissertação. Ainda aos professores Fabiano e Marcelo pelos direcionamentos na qualificação, e ao professor Fabiano pela participação em muitos de nossos encontros semanais de pesquisa.

Aos pesquisadores urbanos Ms. João Meirelles (*in memoriam*) e Ms. Leonardo Lima por contribuições abrindo pontos centrais deste trabalho. À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Karen Fiuza pelo incentivo a seguir na pós-graduação. Aos ex-colegas da Biossplena e da *University of Illinois at Urbana-Champaign*, onde se iniciaram muitos de meus interesses pelas abordagens quantitativas nos estudos urbanos.

Ao meu gestor no QuintoAndar, Jonas Fernandes, por todo o incentivo aos estudos e ao mestrado. Aos estimados colegas *Data Analysts*, com os quais aprendi tantas técnicas que muito facilitaram minha vida na execução das análises.

Ao meu sócio na jornada do *Great Spaces*, Francisco Maraschim Zancan, por toda a sua visão de cidades e negócios, que sempre me anima a evoluir e levar parte destes conhecimentos para impactar positivamente a vida de empreendedores.

Aos meus pais, Luís Carlos e Lourdes Marili, com quem sempre pude contar para o irrestrito amor, educação, apoio, incentivo a estudar e ser eternamente curioso. Aos familiares e amigos que cruzaram caminhos e de forma direta ou indireta foram importantes para este momento. Expresso aqui meu muito obrigado.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1 APRESENTAÇÃO	12
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	17
1.4 HIPÓTESE DE PESQUISA	18
1.5 OBJETIVO GERAL	18
1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.7 MATERIAIS E MÉTODOS	19
<b>CAPÍTULO 2 - CIDADES E COMPLEXIDADES</b>	<b>22</b>
2.1 CIDADES E COMPLEXIDADE DE SUA ECONOMIA	22
2.2 SISTEMAS COMPLEXOS	23
2.3 CIÊNCIA DAS CIDADES	24
2.4 ECONOMIA URBANA E ANÁLISE ESPACIAL	26
2.5 MÉTODOS PARA ANÁLISES URBANAS	29
2.6 DINÂMICA URBANA DE ATIVIDADES ECONÔMICAS	32
<b>CAPÍTULO 3 - MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE ATIVIDADES ECONÔMICAS</b>	<b>34</b>
3.1 LEIS DE ESCALA	34
3.2 ÍNDICE M DE INTERAÇÃO ESPACIAL	42
3.3 CENTRALIDADES E SINTAXE ESPACIAL	45
<b>CAPÍTULO 4 - ANÁLISES DE MODELOS</b>	<b>50</b>
4.1 LEIS DE ESCALA	50
4.1.1 ORGANIZAÇÃO DE ATIVIDADES ECONÔMICAS	50
4.1.2 ORGANIZAÇÃO DE CIDADES	56
4.1.3 GRANULARIDADES ESPACIAIS	56
4.1.4 EXPOENTES DE ESCALA PARA SEGMENTOS	60

4.1.5 QUANTIDADE E ESCALONAMENTO	65
4.1.6 EVOLUÇÃO DO EXPOENTE DE ESCALA NAS DÉCADAS	67
4.1.7 DIVERSIDADE E ABUNDÂNCIA DE ATIVIDADES ECONÔMICAS	71
4.2. ÍNDICE-M DE INTERAÇÃO ESPACIAL	73
4.2.1 ATIVIDADES NO ENTORNO DE SEGMENTOS	73
4.2.2 MATRIZ DE ÍNDICE-M	75
4.2.3 EXPLORAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE Q	79
4.3 CENTRALIDADES ESPACIAIS	81
4.3.1 ORGANIZAÇÃO DE CENTRALIDADES ESPACIAIS	81
4.3.2 ASSOCIAÇÃO ENTRE ATIVIDADES E CENTRALIDADES	83
4.3.3 CENTRALIDADES DE SETORES ECONÔMICOS	84
4.3.4 EVIDÊNCIAS DA CENTRALIDADE PARA SUCESSO DA ATIVIDADE	87
4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	89
4.4.1 CONVERGÊNCIA ENTRE MODELOS DE LOCALIZAÇÃO	89
4.4.2 MECANISMOS DA DINÂMICA URBANA	92
4.4.3 SURGIMENTO E ESPECIALIZAÇÃO DE ATIVIDADES ECONÔMICAS	93
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>95</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>98</b>

## Resumo

DE BASTIANI, Eduardo Vicensi. "Análise e Modelos de Localização de Atividades econômicas em Cidades". Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2021.

As cidades são uma manifestação de complexidade organizada. Seus elementos são interdependentes e dentre eles encontram-se as atividades econômicas. Compreender as dinâmicas de localização destas atividades é essencial para planejadores urbanos, empreendedores e pesquisadores das cidades. A investigação aborda elementos da ciência das cidades, economia urbana e análises espaciais, associadas aos modelos de sistemas complexos das Leis de Escala, Índice M de interação espacial e Centralidades Espaciais. Como hipótese, propõe-se que estes modelos podem explicar aspectos da localização das atividades econômicas brasileiras. O presente trabalho apresenta os resultados da exploração de cada método dentro de um conjunto de 64 segmentos classificados de atividades econômicas dependentes de localização. As Leis de Escala mostram regimes de escalonamento de atividades conforme esperados pela teoria, sendo sub-lineares para infraestrutura urbana, lineares para alimentação e varejo e super-lineares para atividades especializadas e serviços. O Índice M demonstra segmentos econômicos com maior dependência de atividades próximas e traz evidências sobre a sensibilidade da localização como um fator de sucesso do estabelecimento. As Centralidades associam-se consistentemente com alguns segmentos econômicos, mesmo em cidades distintas em tamanho e características. Por fim, apresenta-se uma hipótese unificando os efeitos comuns dos três diferentes modelos sobre as causas subadjacentes da localização das atividades econômicas.

Palavras-chave: Ciência das Cidades. Localização de Atividades Econômicas. Leis de Escala. Índice M de Interação Espacial. Centralidades urbanas. Sistemas Complexos.

## **Abstract**

DE BASTIANI, Eduardo Vicensi. "Locational Models and Analysis of Economic Activities in Cities". Dissertation (Master of Science). School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, Brazil, 2021.

Cities are a manifestation of organized complexity. Among its interdependent elements are economic activities. Comprehending the locational dynamics of these activities is essential for urban planners, entrepreneurs and city researchers. This research addresses elements of the science of cities, urban economics and spatial analysis, associated with the complex systems models of the Scaling Laws, M-Index of spatial interaction and Space Syntax. The central hypothesis proposes that these models are able to explain locational aspects of Brazilian economic activities. The investigation presents the results on the exploration for each method within a set of 64 classified segments of location-dependent economic activities. The Scaling Laws shows scaling regimes for activities as expected by theory, being sub-linear for urban infrastructure, linear for food and retail, and super-linear for specialized activities and services. The M-Index demonstrates economic segments with greater dependence on nearby activities and provides evidence on the sensitivity of location as a success factor for the establishment. The Centralities are consistently associated with some economic segments, even in different cities on size and characteristics. Finally, we present a hypothesis unifying common effects of the three different models connecting the underlying locational causes of economic activities.

Keywords: Science of Cities. Location of Economic Activities. Scaling laws. M-Index of Spatial Interaction. Space Syntax. Complex Systems.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma contendo etapas de investigação	20
Figura 2 - Origem de novas atividades a partir da divisão do trabalho	22
Figura 3 - Representação da área de influência hexagonal em ordem k	27
Figura 4 – Indicadores urbanos na cidade de Caxias do Sul	31
Figura 5 - Estado-da-arte para modelos sobre sistemas urbanos	32
Figura 6 - Taxa de metabolismo de animais em função de sua massa	35
Figura 7 - Indicadores de cidades dos EUA em relação aos habitantes	36
Figura 8 - Expoentes de escala de indicadores em cidades brasileiras	37
Figura 9 - Expoentes em indicadores de escala para cidades brasileiras	38
Figura 10 - Sensibilidade do expoente de escala em função do corte de densidade mínimo de hab/km <sup>2</sup> das cidades observados	39
Figura 11 - Atividades características em segmentos de cidades	41
Figura 12 - Observação empírica do threshold para economia criativa	42
Figura 13 - Comparação do índice de qualidade da localização entre as atividades fechadas e o conjunto total	44
Figura 14 - Espaço de amenidades de atividades	45
Figura 15 – Medida da sintaxe espacial calculadas na cidade de Caxias do Sul – RS, para um raio métrico de 2 km	48
Figura 16 - Segmentos classificados com maior quantidade de atividades	55
Figura 17 - Distribuição de população e densidade nas cidades, microrregiões e mesorregiões brasileiras	57
Figura 18 - Expoente de escala $\beta$ para atividades ativas com cortes de população e densidade, segmentado por região do Brasil	58
Figura 19 - Expoente de escala $\beta$ para categorias de atividades, segmentado por diferentes granularidades	59
Figura 20 - Escalonamento dos segmentos de Atividades Econômicas	62

Figura 21 - Quadrantes de atividades por abundância e expoente de escala	66
Figura 22 - Evolução de expoentes de escala selecionados em regimes	67
Figura 23 - Especialização de atividades com população da cidade	69
Figura 24 - Abundância relativa por ranking de categoria	70
Figura 25 - Comparação entre segmentos e atividades no seu entorno	72
Figura 26 - Atividades econômicas analisadas em Londrina	73
Figura 27 - Rede de atração entre os setores econômicos em Londrina	75
Figura 28 - Matriz de interação entre os setores econômicos em Londrina	76
Figura 29 - Índice Q para novas padarias em relação a outras localizações	77
Figura 30 - Índice Q entre padarias que permaneceram abertas e fecharam	78
Figura 31 - Centralidades para a cidade de Londrina	80
Figura 32 - Atribuição de centralidade para a atividade econômica	81
Figura 33 - Setores de acordo com deltas de centralidade	83
Figura 34 - Setores e sucesso de atividades em relação à centralidade	85
Figura 35 - Relação entre deltas de Centralidades e vizinhos do Índice M	87
Figura 36 - Relação “próximos de casa” de Centralidades e Leis de Escala	89
Figura 37 - Relação “próximos de casa” de Centralidades e Índice M	90
Figura 38 - Conceito de surgimento e especialização de atividades	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Categorização de atividades econômicas	52
Tabela 2 - Conjuntos para análise do expoente de escala	58
Tabela 3 - Expoente de escala por granularidade	60
Tabela 4 - Evolução do expoente de escala ao longo das décadas	68
Tabela 5 - Índices M em destaque, para setores selecionados	74
Tabela 6 - Cidades analisadas para centralidades	79
Tabela 7 - Posição das atividades econômicas em cada centralidade	82



A verdadeira viagem do descobrimento  
não consiste em procurar novas paisagens,  
e sim em ter novos olhos.

Marcel Proust

# CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

Os sistemas complexos são aqueles compostos de um grande conjunto de componentes que interagem entre si, apresentando propriedades como emergência, dependência, não-linearidade, ordem espontânea, adaptação, entre outras. Diferente da abordagem reducionista, nestes sistemas o todo é maior que a soma de suas partes. Sistemas complexos incluem redes de infraestrutura (transportes, energia), componentes biológicos (células, cérebro, ecossistemas) e organizações sociais e econômicas (redes sociais, mercados financeiros, cidades) (MITCHELL, 2009).

Cidades são uma manifestação de *complexidade organizada* (JACOBS, 1961), cujos sistemas de infraestrutura, economia e componentes sociais são interligados e interdependentes. Acima das ciências da física e engenharia, a cidade está para as ciências biológicas, como um organismo vivo, cujos elementos individuais (economia, infraestrutura, ambiente, habitação, uso do solo) funcionam em conjunto e dificilmente são entendidos isoladamente. O planejamento descentralizado e a ordem espontânea emergem das inúmeras vontades individuais, o que torna a cidade viva e vibrante.

O ano de 2011 marcou o momento em que a população mundial vivendo nas áreas urbanas ultrapassou as áreas rurais. As cidades aproximam as pessoas e potencializam trocas de conhecimento, o que as faz impulsionar a criatividade e o progresso humano (da filosofia em Atenas, renascimento em Florença e tecnologia no Vale do Silício), promover a sustentabilidade (densidades maiores economizam recursos) e multiplicar oportunidades para seus habitantes prosperarem (maior acesso a melhor educação, trabalho, entretenimento) (GLAESER, 2011), fazendo das cidades cada vez mais importantes e necessárias de serem compreendidas.

*First we make our choices. Then our choices make us.*

As atividades econômicas e sua organização espacial são informações centrais para a dinâmica urbana (LIMA, 2015). No Brasil, três milhões de novos negócios foram abertos em 2019 (SERASA, 2020). Aproximadamente 80% desses empreendedores brasileiros (GEM, 2020) abrem seu primeiro empreendimento, possuem renda de até 3 salários mínimos e investem grande parte de suas economias pessoais para realizar o sonho de uma vida. Entretanto, com uma taxa de sobrevivência dos negócios de 42,6% em cinco anos (IBGE, 2017), cerca de 6 em cada 10 dos novos empreendimentos fecham antes de completarem cinco anos.

No varejo, a *localização* frequentemente é o fator determinante do sucesso ou fracasso dos negócios (HERNÁNDEZ, 2000). Segundo pesquisa do SEBRAE (2014), 37% dos empreendedores que fecharam consideraram possuir uma localização inadequada. Porta et al. (2009) associam o espaço ao principal fator de sucesso de uma atividade econômica urbana, parafraseando o Lord Harold Samuel nos três fatores essenciais do mercado imobiliário: “localização, localização e localização”.

Compreender as estratégias espaciais de atividades econômicas é fundamental para empreendedores, assim como planejadores urbanos, geógrafos e administradores públicos. A distribuição das atividades ainda gera consequências para a população, como a valorização e desvalorização de áreas, aumento de fluxos de movimento e uso do solo e o surgimento de empregos e comércios (LIMA, 2015).

As análises sobre a cidade contribuem para validar empiricamente modelos propostos pela ciência das cidades (BETTENCOURT e WEST, 2010; BATTY, 2013); assim como a tomada de decisões e estratégias (RUMELT, 2011), fundamentado em dados seus componentes do diagnóstico, direcionamentos e acionáveis.

Mesmo diante da importância da localização das atividades econômicas, perguntas fundamentais ainda possuem respostas longe de serem triviais. As questões abrangem diferentes escalas, por exemplo, desde cidades mais atrativas para uma determinada atividade, regiões urbanas com maiores oportunidades em uma cidade e melhores posicionamentos dentro dos espaços locais.

A escolha da localização das atividades econômicas usualmente vem da intuição, por exemplo em um raciocínio baseado em casos<sup>1</sup> do empreendedor que associa negócios de sucesso com características dos seus entornos, como o movimento na rua, perfil das pessoas do bairro ou peculiaridades daquela cidade. Quando uma pessoa imagina essas projeções, assim como qualquer outra dinâmica urbana - crescimento, segregação, mobilidade - pensa de alguma forma em um modelo. Porém este é um modelo *implícito*, com premissas ocultas, consistência lógica obscura e relação desconhecida com os dados (EPSTEIN, 2008).

Os modelos explícitos de economia urbana aplicados para a distribuição de atividades econômicas usualmente são mais conceituais. De um lado, carecem de validação empírica, em outro extremo, são altamente parametrizados e possuem aplicação restrita a situações e casos específicos (BARTHELEMY, 2017).

A ciência das cidades associou modelos da física estatística ao entendimento da dinâmica urbana (BETTENCOURT e WEST, 2010; BATTY, 2013). Entretanto, a aplicação destes modelos sobre as atividades econômicas ainda é incerta, sobretudo considerando o cenário brasileiro, segmentos econômicos distintos e a perspectiva da tomada de decisões para novos empreendimentos.

### *Proposta de trabalho*

Os desafios de localização de empreendimentos econômicos no Brasil somados com a inexorável complexidade das cidades direcionam a proposta deste trabalho, que combina os modelos de sistemas complexos com a análise dos dados observados, elucidando a dinâmica urbana no âmbito das atividades econômicas.

O trabalho considera três modelos fundamentados nos sistemas complexos (Leis de Escala, Índice-M de interação espacial, Centralidades Espaciais), analisando sua aplicação para avaliar a distribuição de atividades econômicas no cenário brasileiro, sobretudo na perspectiva da ciência das cidades e decisões locacionais.

---

<sup>1</sup> O cérebro é excelente em interpretar relações, mas possui grandes desvantagens e vieses cognitivos para calcular dados extensos e complexos, podendo trazer conclusões subjetivas e distantes de alternativas mais adequadas, sobretudo quando estas embasam decisões significativas (KAHNEMAN, 2012)

A partir dessa visão, os seguintes pontos norteiam a proposta metodológica:

- Abrangência de análises, incluindo diversas cidades brasileiras;
- Emprego exclusivo de dados abertos, fomentando análises reproduzíveis;
- Direcionamento a mecanismos locais, em escalas do território distintas;
- Comparação entre segmentos econômicos;
- Fundamentação em modelos de sistemas complexos para interpretar a dinâmica urbana, restringindo abordagens *data-driven* como *machine learning*.

A abordagem contempla este problema contemporâneo na sociedade brasileira de ponta-a-ponta: da revisão bibliográfica abrangente nos temas, execução de modelos em cenários reais e estudos de caso discutindo a tomada de decisões.

A motivação para este tema de pesquisa surgiu do desejo de aproximar os sistemas complexos das análises urbanas. A localização de atividades econômicas aos empreendedores proporciona um amplo espectro de problemas e oportunidades nos sistemas complexos. O estudo desses fenômenos é contemporâneo e inédito na realidade brasileira, promovendo desafios e oportunidades únicas de aprendizagem. Por fim, modelos acurados aliados com tecnologia permitem escalar sua aplicação e trazer essas soluções para empoderar pessoas que usam do empreendedorismo para melhorar de vida. Ajudar essas pessoas a acertem mais significa impactos em um futuro mais próspero, sustentável e humano.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho divide-se em quatro capítulos. O presente capítulo 1 inclui a introdução e Estrutura de Pesquisa, na qual delimita o problema de pesquisa, hipóteses, objetivo geral, específicos e metodologia proposta.

O capítulo 2, denominado “Cidades e complexidades”, aborda aspectos fundamentalistas de sistemas complexos, a complexidade econômica das cidades, o desenvolvimento da ciência das cidades, modelos clássicos de economia urbana, método para análises urbanas e modelos aplicados na dinâmica urbana.

O capítulo 3, “Modelos de Localização de Atividades Econômicas”, apresenta mais detalhadamente três modelos de sistemas complexos aplicados na dinâmica urbana, e nessa investigação sobre as atividades econômicas, sendo eles as Leis de Escala, Índice de Interação Espacial, e Centralidades Urbanas.

Por fim, o capítulo 4 contempla a execução das análises e resultados, incluindo a coleta e organização de dados; a análise individual de cada um dos três modelos e seus componentes dentro do cenário brasileira; discussões sobre os modelos na dinâmica urbana no contexto da ciência das cidades e localização de empreendimentos. Ao final, incluem-se conclusão e referências.

## 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A pesquisa procurará responder a seguinte questão:

Considerando-se um conjunto de modelos de sistemas complexos aplicados na dinâmica urbana (*Leis de Escala, Índice M de interação espacial e Centralidades*), qual seu potencial para explicar a distribuição de segmentos de atividades econômicas no território brasileiro (em escala nacional, regional, micro-urbano)?

## 1.4 HIPÓTESE DE PESQUISA

As cidades são sistemas complexos e pode-se avaliar quantitativamente seus componentes. Assim, os modelos da dinâmica urbana seriam capazes de refletir a distribuição de atividades econômicas em múltiplas escalas do território brasileiro. Existiriam ainda atividades mais e menos sensíveis para a localização. Dessa forma, partindo-se da literatura sobre a ciência das cidades, esta pesquisa admite três hipóteses de modelos que serão testados, analisados e posteriormente discutidos:

HIPÓTESE/MODELO 1 - Leis de Escala - Os expoentes de escala explicam de forma consistente o escalonamento das atividades econômicas de acordo com a população das cidades, possibilitando avaliar como as diferentes categorias de atividades econômicas se distribuem entre as cidades do território brasileiro.

HIPÓTESE/MODELO 2 - Índice de interação espacial - Os índices entre setores revelam uma estrutura consistente do espaço de atividades nas cidades, permitindo avaliar o “índice de qualidade” em relação às localizações mais adequadas para atividades econômicas dentro das regiões de uma cidade.

HIPÓTESE/MODELO 3 - Centralidades - As centralidades relacionam-se a fenômenos urbanos e com a maior concentração de atividades econômicas, possibilitando avaliar sua distribuição em escala micro-urbana.

## 1.5 OBJETIVO GERAL

Avaliar a distribuição de atividades econômicas sobre o território brasileiro, analisando os segmentos econômicos em três abordagens de sistemas complexos (Leis de Escala, Índice de Interação Espacial e Centralidades).

## 1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

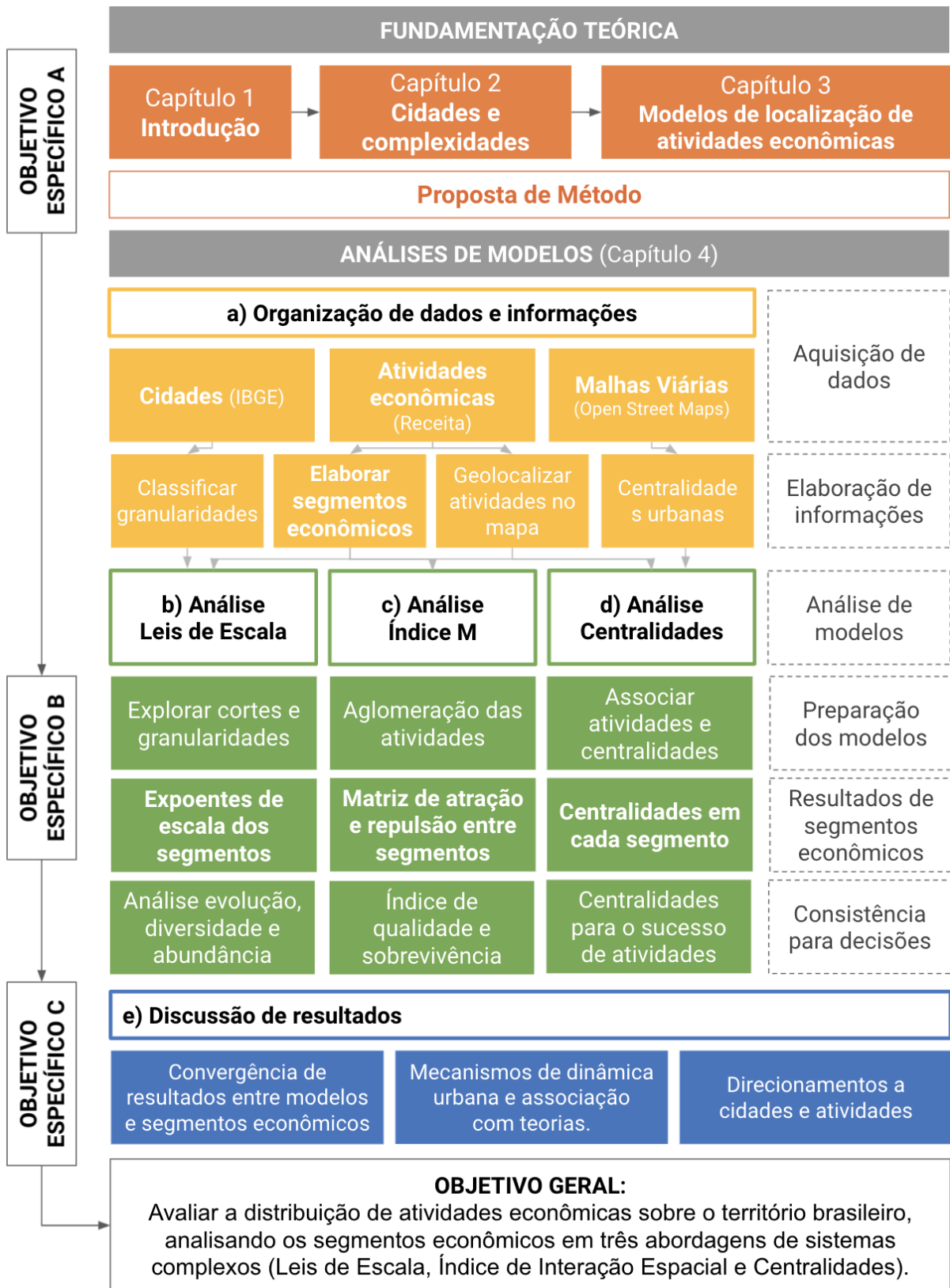
- a) Revisar a literatura conectando os sistemas complexos, cidades e localização de atividades econômicas, presentes nos modelos de Leis de Escala, Índice de Interação Espacial e Centralidades.
- b) Analisar os componentes específicos e resultados da aplicação de cada um dos três modelos propostos no cenário brasileiro.
- c) Discutir a relação entre as abordagens, no contexto da ciência das cidades e decisões de localização para empreendedores.

## 1.7 MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma da figura 1 mostra em alto nível as etapas desta investigação, detalhado em sua sequência. A metodologia de pesquisa empregada (NETTO, 2016) possui finalidade aplicada, partindo de um problema conhecido de localização de atividades econômicas para possíveis melhorias neste processo. Com objetivo exploratório, desde a revisão bibliográfica sobre cidades e localização de atividades e investigação experimental dos modelos em novos cenários. Emprega-se a abordagem quantitativa, utilizando análise de dados e generalização de fenômenos. O método é indutivo, derivando premissas gerais sobre casos específicos.



Figura 1 - Fluxograma contendo etapas de investigação



Fonte: O Autor (2020)

A fundamentação teórica consistiu na conexão entre sistemas complexos e modelos de localização de atividades econômicas, com a proposição do método.

As etapas de análise dos modelos dividem-se em:

**a) Organização de dados e informações.** Coletar os dados de atividades econômicas, cidades, classificações econômicas e malhas viárias. Preparar estes dados aos modelos, como granularidades, geolocalizar atividades e normalizar centralidades. Criar grupos de segmentos econômicos para análises entre modelos.

**b) Análise do modelo Leis de Escala.** Explorar possíveis granularidades ao expoente. Calcular o expoente de escala para os segmentos analisados. Analisar a evolução do expoente ao longo das décadas, diversidade e abundância das atividades.

**c) Análise do modelo Índice-M.** Avaliar a quantidade de vizinhos das atividades. Calcular a matriz de aproximação e distanciamento entre segmentos e analisar estas relações. Explorar o índice Q para novos pontos e sucesso das atividades.

**d) Análise do modelo Centralidades.** Associar as atividades nos trechos de ruas e calcular seu posicionamento relativo nas centralidades, nos diversos segmentos econômicos. Verificar associação de centralidades com o sucesso de atividades.

**e) Discussão de resultados.** Analisar convergência entre os resultados dos modelos e segmentos econômicos, para compreender possíveis mecanismos e associar o comportamento dos modelos com as teorias da ciência das cidades.

# CAPÍTULO 2 - CIDADES E COMPLEXIDADES

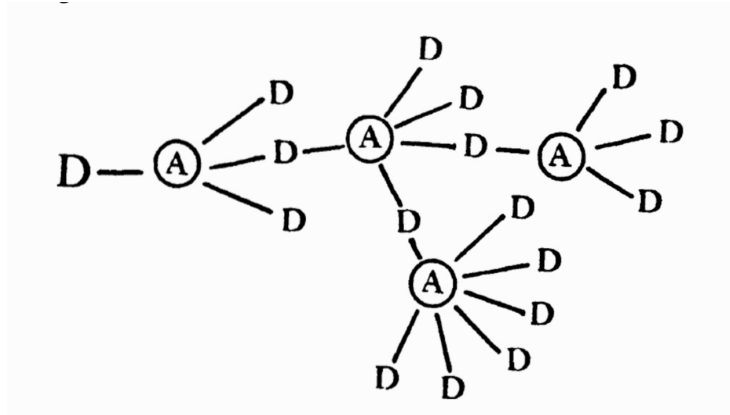
## 2.1 CIDADES E COMPLEXIDADE DE SUA ECONOMIA

Até o século XX, as cidades eram observadas ambiciosamente pelo movimento modernista como “máquinas para resolver problemas”, que poderiam ser construídas como uma ferramenta, com a imposição de vontades e planejamento centralizados – uma forma que antecede o desenvolvimento.

Na década de 60, a essência de “Morte e vida de grandes cidades” (JACOBS, 1961) ataca a tradição ortodoxa do planejamento urbano. Diferente de uma máquina, incorporou-se a ideia de diversidade, densidade e vitalidade urbana, reconhecendo a cidade como uma manifestação de *complexidade organizada*.

Em seu trabalho seguinte, “The Economy of Cities”, Jane Jacobs explora a origem das cidades a partir da perspectiva da divisão do trabalho, com a adição progressiva de novas atividades aos trabalhos existentes, multiplicando as divisões de trabalho. Cada tipo de atividade existente A abre possíveis divisões D, que por sua vez podem gerar novas atividades e  $n$  divisões  $D + A \rightarrow nD$ , como mostra a Figura 2:

Figura 2 - Origem de novas atividades a partir da divisão do trabalho



Fonte: JACOBS (1969)

Por exemplo, três atividades - um fabricante de equipamentos para cozinha, um importador de queijo, um clube noturno - podem ter origens comuns em um restaurante. Cada um se especializou em um aspecto do trabalho do restaurante, criou um novo tipo de atividade e conseqüentemente novas divisões de trabalho. Nesse cenário onde um tipo de atividade leva a cada vez mais combinações, incluem-se os acidentes e a imprevisibilidade das combinações - a “serendipidade” da inovação incidental, ideias estranhas entre si e eventos que não podem ser antecipados (JACOBS, 1969).

Essa é uma das razões pela qual a economia centralizada verticalmente, ou planejada “top-down” travam o processo de inovação, restringindo a emergência espontânea de novas atividades ou especializações a partir das antigas. As interações entre as pessoas nas cidades estimula novas ideias e a inovar. A teoria também prevê os *spillover effects*, ou “transbordamentos” de conhecimento ocorridos quando atividades de um setor se concentram, e que atividades localizadas em áreas mais diversificadas cresçam mais rapidamente e sejam mais resilientes para oscilações econômicas (NETTO, 2016)

## 2.2 SISTEMAS COMPLEXOS

Os sistemas complexos são aqueles onde um grande número de componentes conectados sem um controle central e com regras simples de operação resultam em um comportamento coletivo complexo, processamento sofisticado de informação e adaptação por aprendizado ou evolução. Sistemas sem um planejador central são chamados de *auto-organizados*. Quando regras simples produzem comportamentos difíceis de prever, seu comportamento macroscópico é chamado de *emergente*. Adicionalmente, um sistema complexo pode ser definido como um sistema que exhibe comportamentos não-triviais de auto-organização e emergência (MITCHELL, 2009).

A física estatística desenvolveu no século XIX os estudos de termodinâmica, temperatura e entropia; avançou nas relações entre propriedades microscópicas (átomos e moléculas) e macroscópicas (pressão e volume) dos sistemas; e mais

recentemente, em transições de fase. A transição do estado líquido ao sólido é um dos fenômenos comuns, e simultaneamente, difíceis de explicar sob os constituintes individuais. A *interação* entre as moléculas origina o comportamento emergente.

As contribuições desses estudos incluem a noção de parâmetros relevantes e escala dos fenômenos. Os parâmetros abstraem regras microscópicas do sistema possibilitando o entendimento dos comportamentos emergentes macroscópicos. A escala determina conceitos e ferramentas em cada granularidade do sistema, como em nível subatômico, de átomos, moléculas ou fluídos. Ambos elementos permitem transportar as ferramentas a sistemas socioeconômicos complexos, como cidades.

A cidade passou a ser observada como um fenômeno emergente de agentes interagindo entre si. Da mesma forma que os materiais físicos, as cidades seriam expressões do mesmo "objeto", entendidas com um conjunto relevante de parâmetros suficientes para explicar aspectos universais, que podem ser encontrados em todas as cidades, independente de suas origens, localizações ou histórias (BARTHELEMY, 2017).

## 2.3 CIÊNCIA DAS CIDADES

A proposta da ciência das cidades (BATTY, 2013) sugere uma abordagem interdisciplinar empregando ideias e métodos da ciência da complexidade, física estatística, geografia quantitativa e econometria espacial. Buscam-se os fatos universais, extraídos e validados a partir dos dados, avançando além de aspectos qualitativos como a história ou geografia das cidades. Desta maneira, estes resultados podem direcionar modelos com um número mínimo de componentes, capazes de explicar de forma consistente com os dados os comportamentos emergentes e coletivos das cidades.

O desafio central para entender a urbanização é o grande número de processos interdependentes e temporais que geram as cidades. Disciplinas como a geografia e economia urbana abordaram exaustivamente cada um desses processos, porém de forma individual e isolados de um todo (BARTHELEMY, 2017).

A ciência das cidades almeja, além de histórias consistentes explicando uma seleção de fatos observados, um entendimento quantitativo do impacto de diferentes fatores em modelos matemáticos. Os parâmetros relevantes servem para entender o passado e também indicar a evolução futura, com uma margem de confiança que possibilite avaliar impactos da tomada de decisões (BATTY, 2013).

Da mesma forma, Bettencourt e West (2010) enfatizam na ciência das cidades a necessidade de um entendimento integrado, científico, quantitativo e preditivo sobre a dinâmica, crescimento e organização das cidades. Assim, planejadores públicos podem desenvolver políticas integradas, conduzidas como experimentos e direcionadas a otimizar a performance das cidades.

Entre as barreiras para a ciência das cidades, estão a interdisciplinaridade, definição de medidas e a aproximação qualitativa-quantitativa. A primeira, considera que cidades interessam a muitos atores e disciplinas (por exemplo, antropologia, sociologia, urbanismo, até áreas mais quantitativas como geografia, economia urbana e física estatística) e a especialização por vezes dificulta um entendimento mais integrado e holístico. As métricas ainda são discutidas, como a densidade média, que embora possa ser ineficaz para explicar a complexidade de um lugar, se mostra suficiente para distinguir padrões de organização. Abordagens quantitativas por vezes causam entre cientistas sociais a percepção de que pretendem explicar toda a cidade; entretanto enquanto estas buscam a universalidade e o comum a todos, aquelas qualitativas aprofundam no que torna cada lugar único e peculiar. Aproximar áreas também pode causar conflitos de ideias, como as diferentes teorias e métodos de economistas e físicos, porém com encontros oportunos para levar a novas descobertas. O diálogo entre todas essas diferenças é necessário para o sucesso da ciência das cidades (BARTHELEMY, 2017).

## 2.4 ECONOMIA URBANA E ANÁLISE ESPACIAL

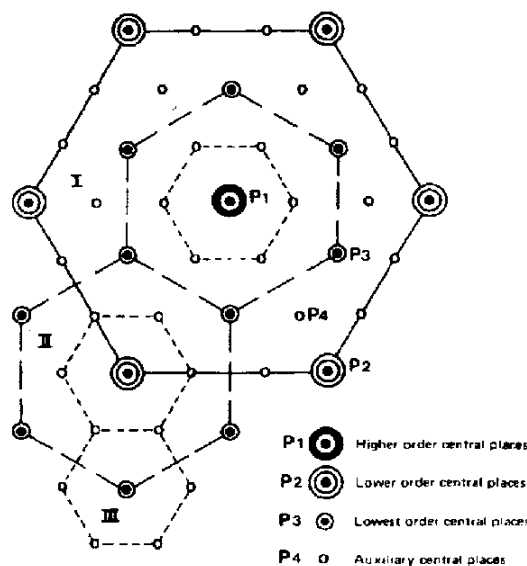
Esta seção conceitua aspectos clássicos da economia. Embora estejam em parte dissociados dos modelos apresentados posteriormente, são proveitosos para interpretar mecanismos e suas dinâmicas urbanas subjacentes. A *economia urbana* emprega ferramentas da microeconomia no estudo de aspectos econômicos das cidades, organização e distribuição das atividades urbanas, como moradia, trabalho, educação, crime, transporte e finanças públicas (O'SULLIVAN, 2011).

O modelo de Alonso-Mills-Muth estabeleceu os primeiros estudos da economia urbana, formalizando as relações da utilidade econômica entre o local central das cidades (*Central Business District*), valor do solo, densidade das habitações e custos de transporte, distribuídos na cidade (KULISH, 2011).

A *teoria do lugar central* (CHRISTALLER, 1966) prevê a organização espacial dos lugares, especialmente no tamanho, distribuição e o número de cidades. Lugares centrais são aqueles onde os indivíduos se dirigem para realizar suas demandas específicas, que podem ser estabelecimentos, espaços, assentamentos. Os locais centrais seguem hierarquias, desde vilas, pequenas cidades, grandes cidades e metrópoles. Hierarquias maiores necessitam de maiores demandas (população) para seus serviços e oferecem maior quantidade de atividades de ordem superior (atividades complexas, especializadas e sofisticadas).

Christaller representa a área de influência com o hexágono, a forma mais próxima do círculo sem o problema dos vazios ou sobreposições, e a ordem  $k$  onde os consumidores se dirigem ao local superior mais próximo, conforme mostra a Figura 3. Locais com ordem mais baixa na hierarquia (como locais produtores rurais) possuiriam itens e serviços de baixa ordem mais básicos (escola primária, lojinhas). Seus habitantes se deslocam para locais de ordens mais altas (cidades, metrópoles) ao buscar produtos e serviços de ordens mais altas (mobiliário, universidades, especialidades médicas). Este modelo é amplamente utilizado por governantes para planejar a localização de novos centros e serviços, autoridades de transporte e empresas na expansão de mercado (MONASTÉRIO & CAVALCANTE, 2011).

Figura 3 - Representação da área de influência hexagonal em ordem k



Fonte: CHRISTALLER, 1966

O *modelo gravitacional de Huff* estabelece a partir desta lógica a relação entre a demanda dos consumidores por bens e serviços, e a oferta destes distribuída no espaço. Em analogia com a Lei da gravidade de Newton, a massa de trabalho ou produção de uma localização  $i$  é atraída pela demanda destes bens das localizações  $j$ , em proporção à sua distância e atratividade. Os parâmetros incluem o custo do transporte e sensibilidade de atratividade; e são ajustados em função de setores econômicos ou localizações. Constrói-se assim uma matriz de interação entre a quantidade de consumidores em  $i$  e sua quantidade demandada em  $j$ . Esta abordagem é empregada em aplicações como o consumo no varejo em cidades, fluxos migratórios entre regiões e o comércio internacional (ANDERSON, 2011).

Os *modelos de preços hedônicos* são aplicados na economia urbana usualmente para a elucidação de preços e atributos relevantes para o consumidor. A avaliação de preços no mercado imobiliário (GONZALES, 1997; DANTAS, 2003; BAPTISTELLA, 2005) é um exemplo da aplicação de preços hedônicos. Usualmente realizados por regressões lineares múltiplas que incluem variáveis de entrada sobre o imóvel (e.g. área, quartos, garagens, padrão construtivo, idade) e sobre a sua localização (distância ao *Central Business District*, amenidades da vizinhança como parques, transporte público, atividades econômicas).



Os preços hedônicos, originados na microeconomia, são compostos a partir de um vetor de características diretamente mensuráveis em um produto (ROSEN, 1974), a partir da hipótese que os atributos de um determinado bem servem para proporcionar valor a quem os consome (LANCASTER, 1966).

A *econometria espacial* (ANSELIN, 1988) possibilita analisar estatisticamente regressões múltiplas incorporando a dependência espacial, para lidar com a complexidade da interação dos dados com o espaço (e.g., amenidades que valorizam e desvalorizam os imóveis) e a heterogeneidade espacial, a variação das formas funcionais e dados em diferentes localizações. Entre os métodos, a matriz de pesos espaciais associa resíduos da regressão defasados espacialmente como um proxy de variáveis locais não consideradas explicitamente.

Os *modelos empíricos* são muito utilizados em decisões de localização, que incluem instalação, realocações, reformas, replanejamentos e desinvestimentos. Estas decisões são uma mistura de “arte e ciência” (HERNANDEZ, 2000), com os métodos mais utilizados sendo: experiência; checklists, casos análogos e indicadores; regressões múltiplas e análises discriminantes (classificações); geoprocessamento, agrupamentos e análises fatoriais; interações espaciais (e.g. gravitacional) e mineração de dados (e.g. redes neurais).

Críticas da economia urbana incluem premissas de cidades monocêntricas, uma aproximação válida para pequenas cidades mas imprecisa quando as cidades crescem; da cidade em equilíbrio, desconsiderando dinâmicas como a mobilidade, migrações e infraestrutura; *path dependence* (evolução contínua e irreversibilidade para começar tudo novamente); falta de validações empíricas, onde os modelos atuam como guias mas são simplistas (cidades monocêntricas e agentes idênticos) e questionados quando validados diretamente (BARTHELEMY, 2017). A função utilidade da microeconomia também é questionada por premissas de agregação dos agentes, curvas de demanda simplificadas e comportamento racional<sup>2</sup> (KEEN, 2011).

---

<sup>2</sup> A economia comportamental (KAHNEMAN, 2012) confronta a premissa clássica da economia sobre o comportamento racional, em experimentos que demonstram uma série de vieses de pensamento na tomada de decisões pelos agentes, promovendo novas abordagens comportamentais.

## 2.5 MÉTODOS PARA ANÁLISES URBANAS

Nesta seção apresentamos o contexto das análises urbanas num processo análogo com a ciência de dados (FOREMAN, 2014), desde a aquisição de dados, transformação e elaboração de modelos. Os acionáveis incluem a validação empírica de modelos da ciência das cidades (BATTY, 2013); e elaboração de estratégias para tomada de decisões (RUMELT, 2011).

### **Dados**

Os dados sobre a dinâmica urbana são essenciais para o desenvolvimento e avanço da ciência das cidades; sendo estes cada vez mais disponíveis. As principais fontes a nível nacional no Brasil para o entendimento das atividades econômicas das cidades incluem dados socioeconômicos, atividades econômicas e redes viárias.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realiza a cada década o Censo Populacional, elucidando “quem são, quantos, onde e como vive a população brasileira”, em nível micro-urbano no setor censitário<sup>3</sup>. Busca contribuir para a definição de políticas públicas e tomada de decisão, no setor público, iniciativa privada e terceiro setor, sendo os dados produzidos disponibilizados gratuitamente.

O Open Street Maps (OSM) é uma iniciativa *open source* de mapeamento aberto, incluindo malhas viárias, que abrangem a maioria das cidades brasileiras e países do mundo, em redes conectadas e topologicamente corretas. Possibilitam analisar a morfologia urbana e centralidades, sendo estas *proxies* de movimentos. Dados sobre tráfego são mais restritos e inacessíveis, quando disponíveis.

A Receita Federal disponibiliza as atividades econômicas trimestralmente por meio do cadastro completo dos CNPJs brasileiros (RECEITA, 2020), contendo seus endereços, datas de abertura e fechamento, caracterização, contatos e categorias. A classificação CNAE (2020) segmenta as atividades econômicas brasileiras em cinco

---

<sup>3</sup> Os setores censitários são polígonos delimitados na cidade, em áreas contendo cerca de 500 habitantes, sendo menores em locais mais densos e aumentando na medida em que se afastam. Todos eles contém variáveis diversas, incluindo população, moradia, renda, educação e infraestrutura.

níveis de granularidades (seção, divisão, grupo, classe e subclasse), seguindo o princípio MECE - mutuamente exclusivos e coletivamente exaustivos.

Consideramos nesta pesquisa “atividades econômicas” os estabelecimentos que geram riquezas mediante a transformação de recursos, distribuição de bens e prestação de serviços, com finalidade da satisfação de necessidades humanas como a alimentação, educação, segurança e lazer. Assim, são considerados estabelecimentos como indústria, comércio e prestação de serviços, classificados em múltiplas granularidades (abrangentes e detalhadas). Considera-se o registro formal da atividade, desde microempreendedores até grandes corporações.

Adicionalmente, as cidades possuem dados abertos em diversos órgãos, como o MTE (Ministério do Trabalho e Emprego), RAIS (Relação Anual de Informações Sociais) e CAGED (Cadastro Geral de Empregados e Desempregados) sobre empregos e renda; INEP (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais) sobre educação; DATASUS sobre saúde; TSE (Tribunal Superior Eleitoral) sobre eleições; e Portal da Transparência, sobre obras e gastos do governo. Todos estes dados requerem transformações para seu emprego em análises.

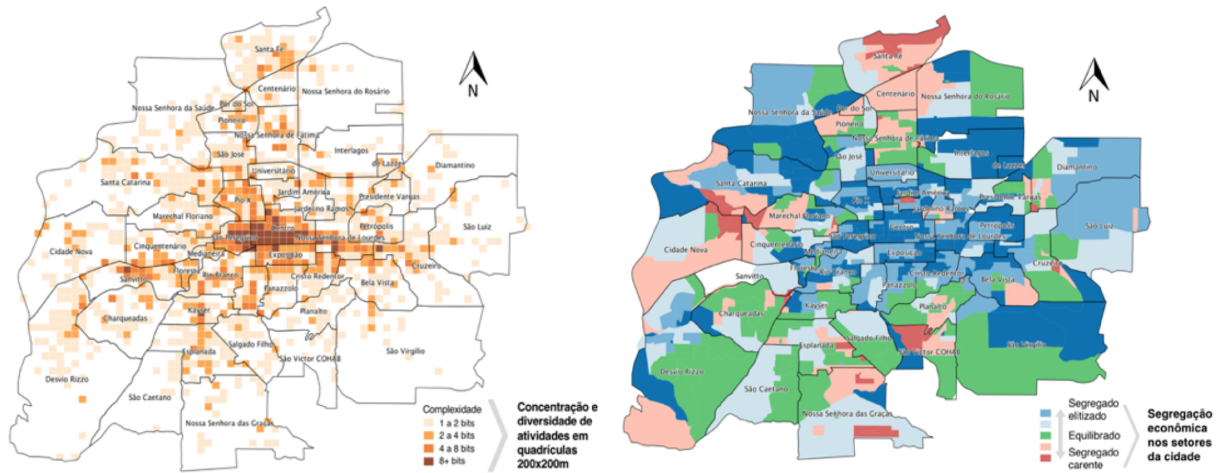
### ***Indicadores***

Podem-se avaliar aspectos da dinâmica urbana com a combinação e transformação dos dados em indicadores urbanos. Estes indicadores são calculados espacialmente sobre os mapas. Por serem numéricos permitem comparações, cruzamentos de informações e diagnósticos abrangentes (BIOSSPLENA, 2017).

Entre os exemplos, a Figura 4 mostra o indicador da complexidade urbana (RUEDA, 2009) que mede simultaneamente a diversidade e frequência de atividades econômicas no solo, para conhecer o equilíbrio de usos no tecido urbano e avaliar seu grau de desenvolvimento; o valor é calculado em quadrículas de 200x200 metros, em bits de informação, numa adaptação da teoria da informação de Shannon. O indicador da segregação espacial (HERMIDA, 2015) mede a proporção de pessoas com menores recursos em relação à população total na cidade, para evidenciar situações de equilíbrio, segregação e exclusão de populações.

Figura 4 – Indicadores urbanos calculados na cidade de Caxias do Sul – RS

a) Indicador de complexidade urbana      b) Indicador de segregação espacial



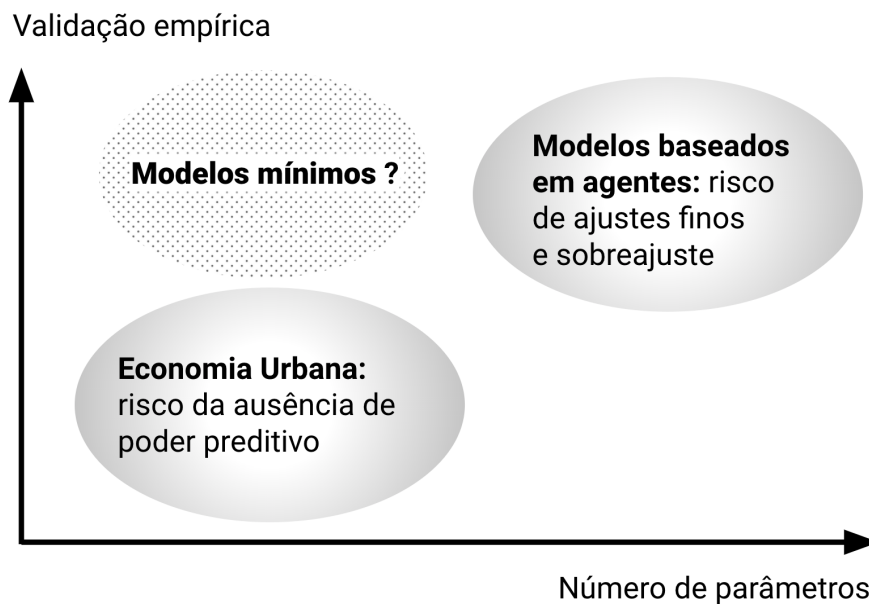
Fonte: O Autor

## Modelos

Os modelos são uma *abstração da realidade* e contribuem sobretudo para explicar mecanismos observados e prever os fenômenos. Adicionalmente auxiliam em propósitos como guiar a coleta de dados, testar a robustez das premissas assumidas, iluminar incertezas, sugerir analogias, demonstrar *tradeoffs* e robustez, direcionar as perguntas, promover o hábito científico e comunicar o conhecimento (EPSTEIN, 2008).

Os modelos atuais sobre cidades usualmente enfrentam o *tradeoff* sobre a quantidade de parâmetros, conforme mostra a Figura 5. Modelos da economia urbana possuem um pequeno conjunto de parâmetros, porém baixa relação com os dados. Outros como aqueles baseados em agentes muitas vezes possuem um grande número de parâmetros, aparentando ajuste com observações, mas com a explicação dos fenômenos ocasionalmente inseparável do *overfitting* dos dados (BARTHELEMY, 2017).

Figura 5 - Estado-da-arte para modelos sobre sistemas urbanos



Fonte: BARTHELEMY (2017), traduzido pelo autor

A alta quantidade de parâmetros ocorre em muitos modelos de sistemas complexos, podendo indicar um nível de unificação que eliminaria alguns parâmetros redundantes. Reproduzir um fenômeno que depende de ajustes finos de parâmetros pode significar o desconhecimento de algum mecanismo dinâmico ou modelo geral que faça esse ajuste naturalmente. Grande parte dos modelos conhecidos da física são livres de parâmetros de ajuste.

Os físicos usualmente começam com um modelo mínimo com o menor número de parâmetros e comparam os resultados com as observações. Este ciclo permite ajustar o modelo adicionando parâmetros ou propondo novos mecanismos. Atualmente existe uma elevada disponibilidade de dados sobre as cidades. Embora possam acrescentar complexidade, também podem favorecer a convergência aos modelos mínimos, que possuem um baixo número de parâmetros e um elevado poder explicativo, com alto número de previsões corretas (BARTHELEMY, 2017).

## 2.6 DINÂMICA URBANA DE ATIVIDADES ECONÔMICAS

Diversos modelos originados nos sistemas complexos são empregados na dinâmica urbana e estudo da distribuição das atividades econômicas nas cidades, em análises nas granularidades de cidades, regiões na cidade e intra-urbanas.

No nível de cidades, as Lei de Escala relacionam dinâmicas de indicadores urbanos de escalonamento superlinear, linear e sublinear (BETTENCOURT, 2007), podendo indicar também a diversidade e abundância das atividades econômicas (HYEJIN et al, 2015) e sua distribuição entre cidades (HONG et al, 2018).

Ao nível de região na cidade, o índice M de Jensen (2006) mede a atração entre segmentos de atividades econômicas, possibilitando analisar a composição de atividades colocacionais, com um índice de qualidade para caracterizar localizações mais adequadas para determinadas categorias de atividades. Os modelos dinâmicos de Boltzmann-Lotka-Volterra (WILSON, 2007) desenvolvem um espaço de interação entre os consumidores e atividades econômicas; simulando a localização provável dessas atividades na cidade, e suas dinâmicas de evolução.

No âmbito intra-urbano, os modelos configuracionais como a sintaxe espacial permitem analisar quantitativamente a morfologia urbana, por meio de centralidades (HILLER, 1999). Essas medidas são empregadas na abordagem configuracional para a compreensão de fenômenos urbanos, entre eles a localização de atividades econômicas (PORTA et al, 2009; LIMA, 2015).

# CAPÍTULO 3 - MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE ATIVIDADES ECONÔMICAS

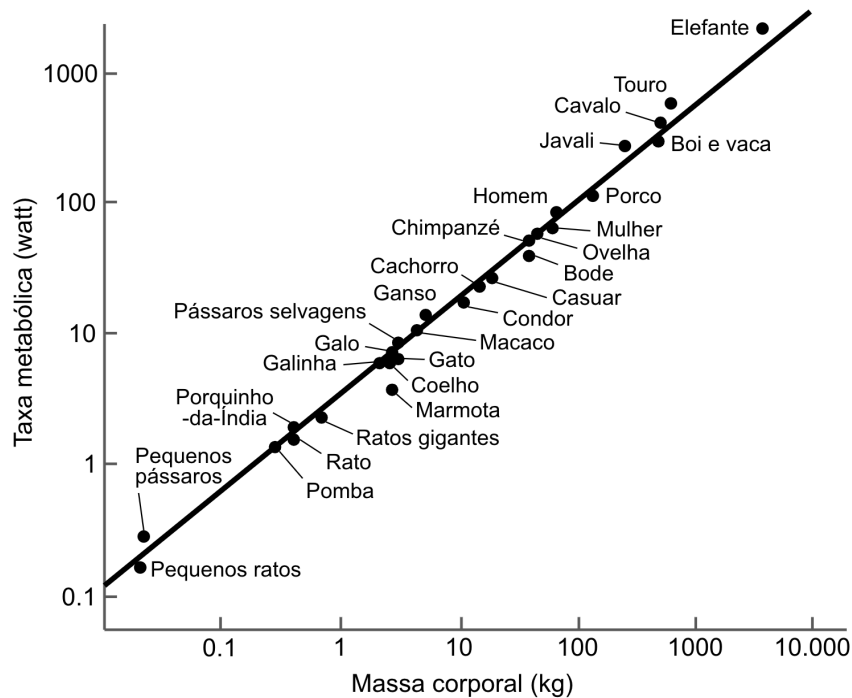
## 3.1 LEIS DE ESCALA

A “segunda ciência” de Galileu Galilei em seu último livro (*Two New Sciences*) consistia na movimentação de projéteis, que influenciou a física como conhecemos. A “primeira ciência” era o estudo das *escalas*, observando o risco de grandes navios quebrarem com seu próprio peso (um problema incomum em pequenos navios), a resistência de materiais e o dimensionamento de vigas. Galileu observa que “a área de um pequeno sólido é comparativamente maior que um grande”. Enquanto a área cresce com o quadrado da dimensão linear, o volume cresce ao cubo. Esse assunto ficou conhecido como análise dimensional. A partir das distribuições empíricas que divergiam das distribuições normais, surgem as Leis de Escala (PETERSON, 2002).

Em 1930, Kleiber formalizou aplicações emblemáticas de escalas na biologia. As taxas de metabolismo dos animais escalam com sua massa corporal na potência de três-quartos, ou seja, a taxa metabólica do organismo é proporcional à sua *massa*<sup>3/4</sup>. Essa relação é robusta para ordens de grande diferente, como mostra o gráfico log-log da Figura 6, contendo espécies selecionadas (MITCHELL, 2009).

A relação de 3/4 ficou conhecida como Lei de Kleiber e posteriormente foi aplicada para outros organismos vivos além dos mamíferos e pássaros, como peixes e plantas. Nos anos 1990, Brown e West explicaram esse expoente para organismos vasculares com a otimização das redes de distribuição de energia. A biologia ainda inclui escalonamentos adicionais, como o tempo de vida, taxa de batimentos cardíacos e o tamanho adulto de organismos, todos em relação a sua massa.

Figura 6 - Escala da taxa de metabolismo de animais em função de sua massa (organismos selecionados)



Fonte: MITCHELL (2009), tradução do autor (2021)

### Leis de Escala nas Cidades

As cidades muitas vezes são comparadas com os sistemas vivos, que consomem energia e recursos para produzir artefatos, informação e resíduos. Bettencourt et al (2007) associam em "*Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities*" o escalonamento com a dinâmica urbana de diversas cidades mundiais.

A partir de uma população  $N(t)$  como uma medida do tamanho da cidade em um tempo  $t$ , onde  $Y(t)$  é uma medida de um recurso material (e.g. energia, infraestrutura) ou um processo social (e.g. riqueza, patentes, crimes), e  $Y_0$  sendo uma constante de normalização, e equação derivada das leis de potência,

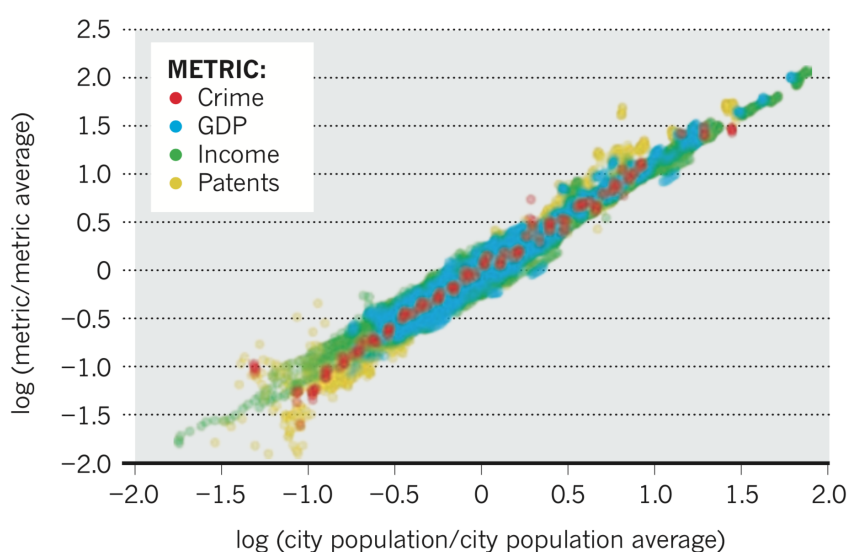
$$Y(t) = Y_0 N(t)^\beta, \quad (1)$$

apresenta no expoente  $\beta$  uma dinâmica presente nos sistemas urbanos. Bettencourt et al (2007) encontraram relações robustas do expoente de escala para indicadores urbanos em regiões metropolitanas de diferentes países (Estados



Unidos, União Européia, Alemanha, China). Os indicadores compreendem âmbitos como consumo energético, atividade econômica, demografia, infraestrutura, inovação, emprego e comportamento humano. A Figura 7 mostra o escalonamento de quatro indicadores analisados em 360 regiões metropolitanas dos Estados Unidos, em eixos normalizados. Os indicadores possuem fortes relações de escala com a população das cidades, apresentando robustez mesmo diante de diferentes países, sistemas econômicos, níveis de desenvolvimento e períodos históricos.

Figura 7 - Indicadores de cidades dos EUA em relação ao número de habitantes



Fonte: WEST & BETTENCOURT (2010)

Os expoentes de escala revelam mecanismos subjacentes nas cidades e trazem insights quantitativos para a compreensão de processos urbanos. Por exemplo, dizer que os salários possuem um  $\beta=1,15$  significa que a cada vez que uma cidade dobra de tamanho, seus salários são 15% mais altos. Estes expoentes classificam-se em três grupos:  $\beta < 1$  (sublinear),  $\beta \approx 1$  (linear) e  $\beta > 1$  (superlinear). Aqueles lineares são associados com necessidades humanas (emprego, casa, trabalho, consumo de água). A escala sublinear associa-se às economias de escala da infraestrutura (malha viária, rede elétrica, postos de gasolina), sendo otimizados no crescimento da cidade. A escala superlinear incorpora retornos socioeconômicos (informação, inovação, riqueza), potencializados com o crescimento da cidade.

A presença de escalonamentos nas cidades sugere que a quantidade de habitantes é a principal característica da cidade, predominando sobre sua história e geografia. O tamanho direciona três dinâmicas urbanas. O espaço necessário *per capita* reduz, em função de assentamentos densos e infraestrutura. O ritmo das atividades socioeconômicas acelera, aumentando a produtividade. As atividades socioeconômicas se tornam mais diversificadas e independentes, com novas formas de especialização econômica e expressão cultural (WEST & BETTENCOURT, 2010).

### **Leis de Escala em cidades brasileiras**

No cenário brasileiro, Ignazzi (2014) analisa os municípios nacionalmente e verifica expoentes de escala robustos em rendimentos, salários, desemprego, educação, nascimentos, força de trabalho e homicídios, conforme mostra a Figura 8. Os expoentes apresentaram comportamentos semelhantes aos esperados de outros países. A exceção foram os homicídios com expoente em 0.81 (sublinear), diferente dos Estados Unidos com expoente 1.16 (superlinear) (BETTENCOURT, 2007) em 2003, indicando que a violência no Brasil está dissociada de suas maiores cidades.

Figura 8 - Expoentes de escala de indicadores em cidades brasileiras

Table 1 / Scaling exponents for urban indicators following city size								
$\gamma$	$\beta$	R <sup>2</sup>	n. cities	Year	Std error	t-ratio	p-value	DW
Total income	1.09-1.10	0.89-0.96	4974	1991-2010	0.003-0.005	170.0-185.5	0.00-0.00	2.00-2.03
Elementary education	1.19-1.07	0.77-0.95	4974	1991-2010	0.009-0.003	126.6-308.7	0.00-0.00	2.00-2.01
High education	1.21-1.13	0.58-0.85	4974	1991-2010	0.016-0.008	71.88-142.5	0.00-0.00	2.00-2.01
Total births	0.99-0.99	0.91-0.96	4974	1991-2010	0.004-0.002	220.9-338.6	0.00-0.00	2.00-2.00
Labor force	1.00-1.00	0.96-0.97	4840	2000-2010	0.002-0.002	375.1-419.3	0.00-0.00	2.00-2.00
Unemployment	1.23-1.19	0.78-0.79	4480	2000-2010	0.009-0.009	134.3-131.6	0.00-0.00	2.00-2.00
Nominal wages	1.11-1.09	0.61-0.70	4840	2000-2010	0.014-0.011	76.88-92.86	0.00-0.00	2.01-2.02
Minimun wages	1.11-1.10	0.60-0.69	4840	2000-2010	0.014-0.012	75.87-93.00	0.00-0.00	2.01-2.01
a) homicides*	1.04	0.67	3088	2010	0.014	74.36	0.00-0.00	2.00
b) homicides**	0.81	0.7	1214	2010	0.022	33.6	0.00-0.00	2.00

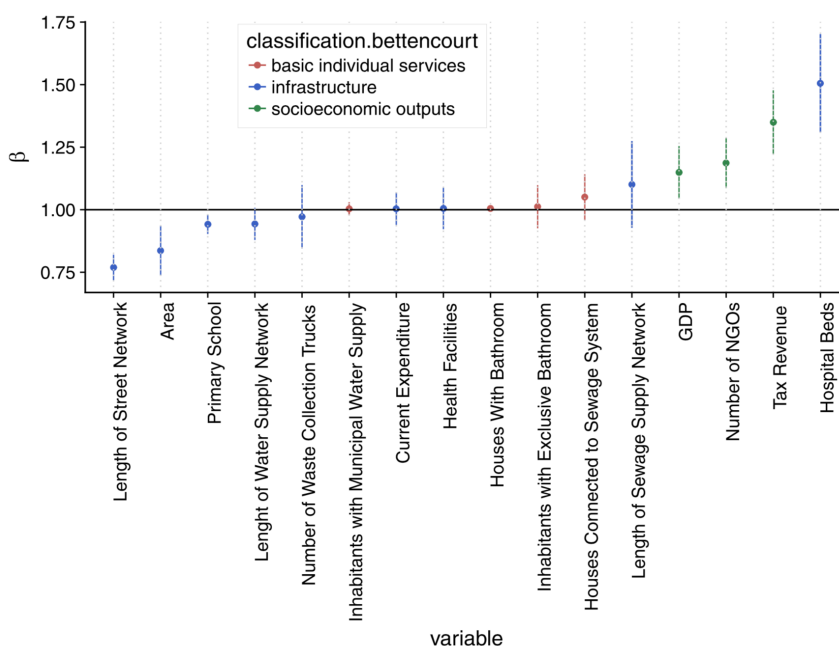
\* cities with at least one homicide; \*\* cities with more than ten homicides.

Fonte: IGNAZI (2014)

Na série temporal, Ignazi (2014) comparou os expoentes de escala para os fenômenos nos períodos de tempo de 1991 e 2000 com aqueles em 2010, dentro dos mesmos municípios. Os resultados evidenciam mudanças nas dinâmicas entre cidades pequenas e maiores. Por exemplo, a “população com educação fundamental” alterou seu expoente de 1.19 (1991) para 1.07 (2010), mostrando uma evolução educacional na menor desigualdade relativa entre cidades menores e maiores; incluindo também a educação superior (1.22 para 1.11). Indicadores de escala linear como a “população ativa” (1.00) e “total de nascimentos” (0.99) mantiveram os mesmos expoentes em ambos os períodos, indicando a independência no tempo de análise.

Meirelles (2015) verifica a universalidade das Leis de Escala no Brasil observando 60 indicadores abrangendo espectros da dinâmica urbana associados a diferentes regimes de escala (linear, superlinear, sublinear). Entre elas, infraestrutura (vias, saneamento, escolas), necessidades individuais (consumo de água, casas com banheiro) e produtividade socioeconômica (PIB, ONGs, impostos).

Figura 9 - Expoentes em indicadores e grupos de escala para cidades brasileiras

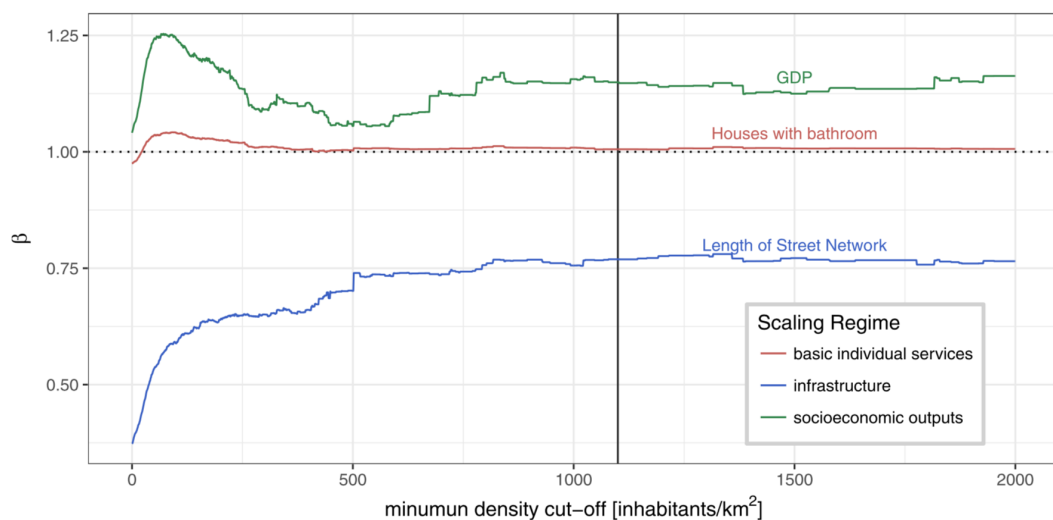


Fonte: MEIRELLES (2015)

A maioria das variáveis escalam consistentes em seus regimes esperados, confirmando a presença de Escalas em cidades brasileiras. A Figura 9 mostra um conjunto de variáveis significativas e seus expoentes de escala, com intervalos de confiança. A maior robustez é observada no grupo socioeconômico ( $\beta > 1$ , superlinear), enquanto os maiores desvios no grupo de infraestrutura ( $\beta < 1$ , sublinear). Os autores ressaltam que indicadores dependendo de decisões políticas top-down (como o saneamento), especialmente nos países em desenvolvimento, ocasionalmente são restritas por orçamentos e falta de atendimento universal, o que desvia das interações locais e dos expoentes de escala esperados.

O método analisa a sensibilidade da amostra para corte em thresholds mínimos de densidade de população nas cidades, conforme mostra a figura 10. As flutuações são relativamente altas até cerca de 250 hab/km<sup>2</sup>, ponto em que existem um grande número de municípios pouco urbanizados. Os expoentes de escala apresentam maior robustez a partir de 500 hab/km<sup>2</sup>, com municípios mais densos e centros urbanos estabilizados. Desta faixa em diante os expoentes independem da definição da cidade.

Figura 10 - Sensibilidade do expoente de escala em função do corte de densidade mínimo de hab/km<sup>2</sup> das cidades observados



Fonte: MEIRELLES (2015)

Os desafios para medir o escalonamento urbano incluem a própria definição da cidade. O modelo de escalonamento urbano baseado em interações dependentes de distância (RIBEIRO et al, 2017) associa o escalonamento da cidade com sua fractalidade, constatando expoentes de escala compatíveis com os dados empíricos nos casos onde distâncias de interação longas na cidade são prevalentes. Ou seja, define-se a cidade pelas áreas geográficas onde a população interage, conhecida como *cidade funcional*, sendo mais importantes que bordas políticas ou geográficas.

Entre os mecanismos subjacentes governando a presença de Leis de Escala na dinâmicas urbanas, sugere-se que o crescimento urbano favorece as possibilidades de encontros e interações entre as pessoas, estimulando taxas de produtividade, inovação e resiliência econômica. Como exemplo de um ciclo de feedback positivo, o aumento do custo de moradia nas cidades torna apenas lucrativas as atividades que acrescentam um valor considerável; o que atrai ainda mais talentos para a cidade, aumenta a especialização e diversificação dos trabalhos e intensifica cada vez mais a vida social e atividades econômicas (IGNAZZI, 2014).

### ***Leis de Escala em Atividades Econômicas***

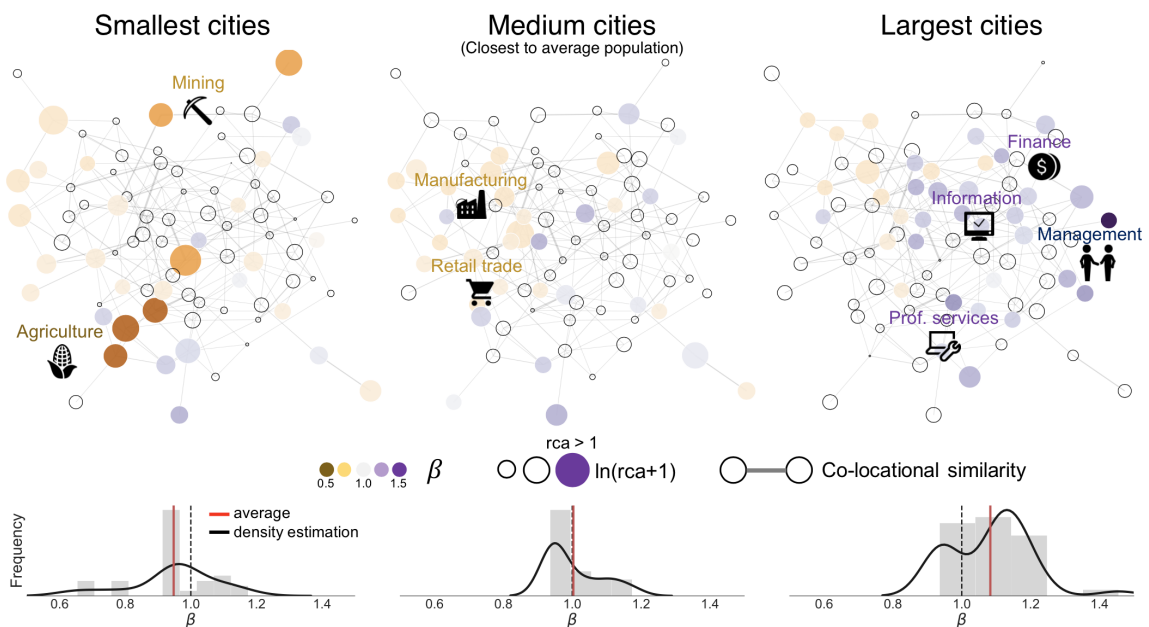
A diversificação e especialização das atividades econômicas seguem comportamentos sistemáticos dentro das cidades. Hyiejn et al. (2015) caracterizam e medem a diversidade econômica de estabelecimentos em 366 regiões metropolitanas dos Estados Unidos, observando sua frequência de distribuição e abundância, em quatro granularidades da classificação NAICS (3, 4, 5 e 6 dígitos).

Os resultados mostram que independente de população, dinâmicas urbanas e históricas, a abundância relativa de cada espécie de atividade no ranking em cada cidade é universal. As cidades diversificam suas atividades conforme crescem. Começam com um conjunto de atividades básicas, que seguem aumentando com o crescimento da cidade, a uma taxa cada vez menor porém que nunca deixa de existir. O mecanismo sugere que novas atividades partem das combinações daquelas existentes, aumentando a produtividade da economia (HYEJIN et al, 2015).

O processo pelo qual tipos específicos de atividades ocorrem em diferentes cidades, além de particularidades de cada lugar específico, é apontado e analisado como uma propriedade de escala. Atividades de setores primários como agricultura, utilidades e mineração mostram um escalonamento sub-linear, suprimidas relativamente com o crescimento. Por outro lado, atividades de setores de informação, como serviços profissionais, científicos e administração de companhias escalam super-linearmente com a população (HYEJIN et al, 2015).

O trabalho de Hong et al (2018) analisa a economia de cidades dos Estados Unidos e demonstra que o tamanho da população determina a composição dos expoentes de escala das atividades desenvolvidas. A figura 11 mostra as atividades características em pequenas, médias e grandes cidades. Cada indústria (nó) possui o tamanho de acordo com o logaritmo da sua vantagem comparativa revelada (RCA), colorido em atividades características ( $rca > 1$ ) com tons do expoente de escala ( $\beta$ ). Os nós são conectados quando possuem similaridade colocacional  $\psi(i,j) > 0,15$ .

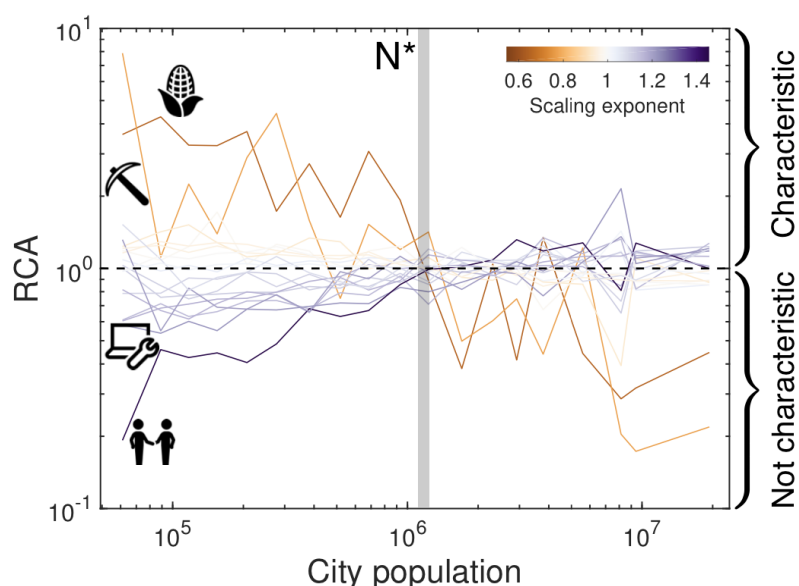
Figura 11 - Atividades características em segmentos de cidades



Fonte: HONG et al (2018)

Observando períodos de tempo, a evolução da economia das cidades mostra evidências de que em média as atividades econômicas nas cidades seguem uma trajetória comum, ou seja, as cidades também são uma versão escalada do seu passado (HONG et al, 2018). O modelo prevê uma transição de uma economia industrial para uma economia criativa em cerca de 1,2 milhão de habitantes. A Figura 12 mostra a análise dos resultados empíricos, onde a partir deste *threshold* as atividades de escala sub-linear deixam de ser características em sua vantagem comparativa, enquanto aquelas de escala super-linear passam a ser características.

Figura 12 - Observação empírica do *threshold* para economia criativa



Fonte: HONG et al (2018)

### 3.2 ÍNDICE M DE INTERAÇÃO ESPACIAL

Os índices de concentração espacial (MARCON & PUECH, 2009) empregam análises espaciais para resolver desafios observados em índices espaciais anteriores, sobretudo o desafio da regionalização. As interações baseadas em distância consideram o espaço contínuo. Assim, utilizam dados desagregados para oferecer informações sobre todas as escalas simultaneamente, independentes de zoneamento. O índice de interação espacial adapta conceitos e ferramentas da física estatística para a aplicações de localizações ótimas para atividades econômicas.

As interações entre as atividades econômicas na cidade são estudadas no modelo de Jensen (2006). O índice “M” definido por Marcon e Puech (2009) compara para um par de setores econômicos A-B a densidade local de B presente no entorno de A. Mede-se a densidade local pelo número de atividades vizinhas de interesse B  $nb(x, r)$  presentes em um raio de distância  $r$  (normalmente 100 metros, distância que um potencial consumidor visita outras lojas) de distância de A, em relação ao total  $ntot(x, r)$  de atividades nesse mesmo raio. O denominador mede a concentração global, com o número de atividades B  $Nb$  em relação ao total de atividades  $Ntot$ :

$$M_{AB}(x, r) = \frac{\frac{nb(x, r)}{ntot(x, r)}}{\frac{Nb}{Ntot}}. \quad (2)$$

O índice M é a média de todas as atividades A  $Na$  em relação a B. Em analogia com os spins magnéticos, os valores superiores a 1,00 indicam uma atração entre os setores (por exemplo, entre lojas de roupas e calçados); do contrário, indicam repulsão entre setores (por exemplo, entre lojas de conveniência):

$$M_{AB}(r) = \frac{1}{Na} \sum_{X \in A} \frac{nb(x, r)}{ntot(x, r)} / \frac{Nb}{Ntot}. \quad (3)$$

A medida  $a_{AB} = \log(M_{AB})$  normaliza a atração/repulsão para valores positivos e negativos. Jensen adaptou o algoritmo de Potts para caracterizar a rede de comunidades das atividades, agrupando em categorias que minimizam a energia do sistema; normalmente inserindo os similares com atração no mesmo grupo e dissimilares com repulsão em grupos distintos. No estudo experimental, obteve cinco grupos de atividades relacionadas. Os grupos foram semelhantes à classificação do Departamento do Trabalho (EUA) e homogêneos em relação a correlação com a densidade de população (as atividades de dois grupos correlacionaram-se com a densidade, outros grupos ignoravam esta característica).

O índice de “qualidade” para encontrar localizações proeminentes para atividades foi proposto a partir dos coeficientes de interação (JENSEN, 2009). A ideia

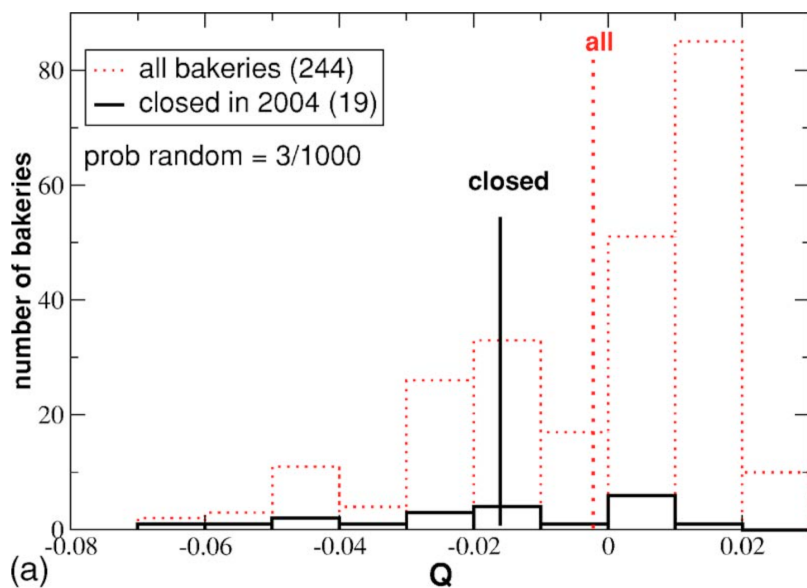


considera, por exemplo, que uma localização semelhante à média dos locais onde existe uma padaria seja uma boa localização para uma nova padaria. Assim, calcula-se (em um raio  $r$ ) o número  $n_{ij}(x)$  de atividades da categoria  $j$  na vizinhança uma atividade  $i$  localizada em  $x$ . O valor  $\overline{n_{ij}}$  é a média destas atividades em todas as outras localizações  $x$ . Calcula-se “qualidade” da localização centrada em  $x$  por:

$$Q_i(x) = \sum_j a_{ij} [n_{ij}(x) - \overline{n_{ij}}]. \quad (4)$$

Um índice maior representa uma localização onde os vizinhos preferidos de uma atividade  $i$  estão mais representados em relação a um conjunto de localizações  $x$ , indicando uma escolha de localização mais adequada para aquela atividade. A figura 13 mostra a distribuição deste índice para um conjunto de padarias. O conjunto de 19 padarias fechadas entre 2003 e 2005 possuía um índice de qualidade da localização menor que o conjunto total de padarias ( $-2.2 \times 10^{-2} < 4.6 \times 10^{-3}$ , probabilidade  $> 99.7\%$ ). O índice mostra uma sensibilidade notável, considerando a amostra reduzida e os muitos fatores no encerramento de atividades possíveis além da localização (e.g. gestão, problemas financeiros).

Figura 13 - Comparação do índice de qualidade da localização entre as atividades fechadas e o conjunto total

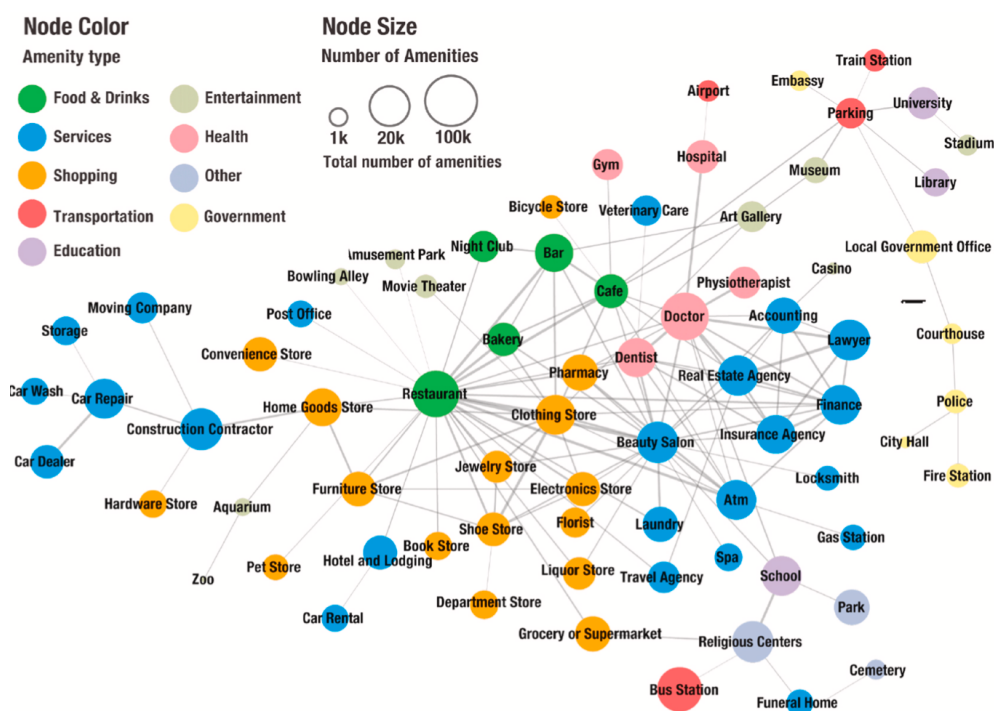


Fonte: JENSEN (2009)

## Medidas adicionais de atividades por região

Na mesma linha de atividades espacialmente próximas, Hidalgo et al (2020) criam o “espaço de amenidades”, por meio da identificação empírica de *clusters* geográficos a partir de 47 cidades nos Estados Unidos e de setores de atividades que usualmente estão presentes em conjunto nos mesmos *clusters*. A figura 14 mostra a rede de segmentos de atividades econômicas, conectados com a probabilidade de coexistirem em um mesmo cluster de atividades.

Figura 14 - Espaço de amenidades de atividades



Fonte: HIDALGO (2020)

Entre os índices utilizados para medir concentração, a vantagem comparativa revelada (RCA) é amplamente empregado na economia. Inicialmente introduzido por Balassa (1965), possui grande aplicação na complexidade econômica, como o “espaço de produtos” por Hidalgo et al (2007). Semelhante ao índice M, mede a proporção de participação relativa da atividade sobre um total. Por exemplo, em 2010 a exportação de soja representou 0,35% das exportações mundiais, enquanto 7,9% das exportações do Brasil. Assim, o país exportou 22 vezes sua participação “justa”, revelando uma grande vantagem comparativa neste produto.

### 3.3 CENTRALIDADES E SINTAXE ESPACIAL

Entre as características notáveis dos sistemas complexos está a conexão entre seus componentes e as redes subjacentes que representam essas interações. Essas redes são representadas por grafos compostos de nós (*nodes*) interligados por arestas (*edges*) (BARABASI 2014; NEWMAN 2010).

Os exemplos de sistemas representados incluem redes de infraestrutura (sistemas elétricos, internet, hidráulicos ou viários), biológicas (genes, proteínas, neurônios), sociais (famílias, amigos, profissionais) e econômicos (comércio, mercado financeiro, relações internacionais). A ciência das redes (*network science*) estuda propriedades universais destas redes, com sua estrutura e topologia (e.g. centralidades, clusters, formação e evolução de redes).

O estudo das centralidades surgiu na sociologia, em análises de redes sociais, expandido para áreas como a computação, física, biologia e análises espaciais. As centralidades medem a importância relativa de um vértice dentro de uma rede. Permitem estimar, por exemplo, a influência de uma pessoa em uma rede social, de uma sala em um edifício, de uma estrada em uma malha viária. Existem diferentes definições e métricas de centralidade. Entre as mais simples, a centralidade de grau (*degree centrality*) mede a quantidade de vértices conectados em um determinado nó, como amigos de um indivíduo, ou citações de um trabalho (NEWMAN, 2010).

A centralidade de proximidade (*closeness centrality*) (Eq. 5) mede a distância de um componente até todos os outros componentes da rede. A proximidade é o inverso da distância média  $d_{ij}$  a todos os vértices da rede. Os nós mais centrais possuem menor distância à rede, o que pode medir, por exemplo, a facilidade de deslocamento em uma rede urbana ou velocidade da difusão da informação.

$$C_i = \frac{1}{\sum_j d_{ij}} = \frac{n}{\sum_j d_{ij}} \quad (5)$$

A centralidade de atravessamento (*betweenness centrality*) (Eq. 6) mede quanto um componente se localiza na passagem entre outros componentes da rede. O atravessamento de um nó ou vértice é a soma da quantidade de caminhos  $n_{st}^i$  mais curtos entre os nós  $st$  da rede que passam pelo componente  $i$ . Componentes centrais são mais influentes na medida que controlam, por exemplo, a passagem de informação em uma rede social, ou movimentos preferenciais na malha urbana.

$$Xi = \sum_{st} n_{st}^i \quad (6)$$

Os modelos configuracionais caracterizam as redes espaciais sobre a cidade, sendo capazes de diferenciar e hierarquizar os elementos constituintes do espaço urbano. A morfologia urbana pode ser compreendida em função de propriedades como distância, posição relativa, alcance, entre outros fenômenos associados ao espaço da cidade (LIMA, 2015).

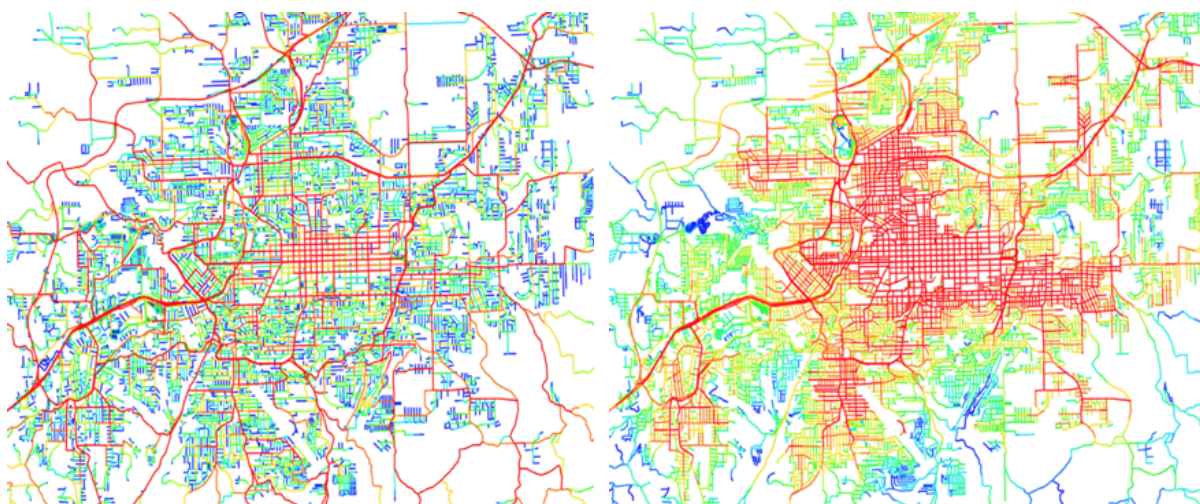
A sintaxe espacial (*space syntax*) (HILLER, 1999) aplica análise de redes de forma explícita no urbanismo, com um conjunto de teorias sugerindo que o *layout* espacial de espaços urbanos exerce forte influência no comportamento humano. A sintaxe espacial representa e analisa diferentes configurações espaciais por meio de centralidades. A malha viária é modelada conectando suas vias dentro de um grafo, onde se analisa cada um destes componentes como parte de um todo.

A sintaxe espacial evoca uma dimensão social do espaço antes somente intuída. As análises espaciais destes sistemas fornecem medidas sistêmicas em cada segmento de via, conforme mostra a Figura 15. A “Integração” é a facilidade de viajar de um segmento para outro, medida de *Closeness Centrality* ou centralidade de proximidade. A “Escolha” é a probabilidade de cruzar um segmento diante de todas as origens e destinos possíveis, medida de *Betweenness Centrality* ou centralidade de atravessamento. Estas medidas podem ser calculadas globalmente sobre a rede e também considerando raios de distância locais a partir de cada vértice.

Figura 15 – Medida da sintaxe espacial calculadas na cidade de Caxias do Sul – RS, para um raio métrico de 2 km

a) Centralidade de atravessamento

b) Centralidade de proximidade



Fonte: O Autor (2020)

As duas medidas atuam como *proxies* para modelar comportamentos humanos dentro no espaço, como: porquê alguns lugares possuem maior movimento de pessoas e veículos que outros, padrões de segregação espacial, padrões de criminalidade, mudanças no uso do solo, vetores de expansão urbana e estimativas de valor da terra (HILLER, 1999).

Porta et al (2009) examinaram empiricamente a relação entre centralidades urbanas e a densidade de atividades comerciais e de serviços na cidade de Bologna, Itália. As maiores correlações resultaram com as centralidades de atravessamento, próximas ainda da centralidade de proximidade ( $\rho=0,72$  e  $\rho=0,62$ ), ambas medidas em nível global e com o maior *kernel* para a unificação das atividades (300m). Os resultados mostram que as centralidades atuam na formação e constituição do espaço urbano, refletidas na distribuição de comércios e serviços em nível de bairro.

No cenário brasileiro, o trabalho de Lima (2015) investiga a influência das centralidades na localização de atividades econômicas em três cidades brasileiras. A pesquisa combina centralidades (Alcance, Excentricidade, Proximidade, Intermediação e Intermediação Planar), representações espaciais (Axial, Nodal e Trechos de Ruas) e processamento de distâncias (Geométrica e Topológica) em uma bateria de experimentos para encontrar as combinações mais correlacionadas com a distribuição espacial das atividades econômicas.

Embora a maioria das combinações resultem em correlações fracas, os resultados mostram parâmetros mais adequados de cálculo. O processamento de distâncias mais efetivo é o geométrico. A melhor representação espacial são trechos de rua, de maneira mais desagregada. As centralidades mais correlacionadas foram a de intermediação planar (raios entre 2.600 a 3.200 metros) e excentricidade (raios entre 800 e 1.000 metros). Essas combinações estiveram entre aquelas com as maiores correlações ( $r > 0,50$ ) entre a representação e a quantidade de atividades econômicas presentes no trecho da rua. As evidências mostram que as maiores variações entre as cidades acontecem na distância do raio. As principais limitações deste trabalho foram em relação a amostras locais de atividades econômicas e centralidades; e a ausência de diferenciação dos segmentos econômicos.

# CAPÍTULO 4 - ANÁLISES DE MODELOS

## 4.1 LEIS DE ESCALA

### 4.1.1 ORGANIZAÇÃO DE ATIVIDADES ECONÔMICAS

As atividades econômicas são os dados centrais dos três modelos estudados. Estas foram obtidas no banco de dados do Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ) da Receita Federal (2019), contendo 38 milhões de atividades no território brasileiro. Cerca de 20 milhões destas estão ativas. Realizou-se a geolocalização, incorporação de setor e agrupamento de categorias.

#### **Geolocalização**

A localização das atividades sobre o ponto exato no mapa é necessária para os modelos de Índice M e Centralidades. A geolocalização transforma o endereço textual das atividades (rua, número, bairro, cidade, estado) em coordenadas espaciais (latitude e longitude). Nesta transformação empregou-se o *geocoder* open source *Pelias*, com os bancos de dados do *Open Street Maps* (*wiki* colaborativa de mapas, estilo *Google Maps*), *Who is On First* (banco de hierarquias entre locais) e *Open Addresses* (banco de dados colaborativo onde usuários registram a localização geográfica de endereços). As 19.471.620 atividades ativas foram geolocalizadas.

Existem três categorias de precisão das atividades: A básica, que encontra apenas a posição da cidade ou do bairro pelo *Who is on First*; a intermediária, que encontra a rua da atividade e interpola a altura de seu número pelo *Open Street Maps*; e a alta, correspondente ao ponto exato do *Open Addresses*, com posição e lado da rua. Cerca de 67% das atividades no território nacional foram localizadas com precisão média ou alta, correspondendo ao nível da rua ou ponto exato. Em 47 cidades, incluindo 7 capitais, essa precisão foi superior a 80%. Estas cidades foram priorizadas nos métodos espaciais dependentes da sensibilidade da localização.

## **Incorporação do setor econômico**

Cada atividade possui um código CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas) associado, que classifica as atividades econômicas do país, semelhante ao NAICS nos Estados Unidos. Este código é empregado para fins legislativos, tributários e estatísticos. Incorporou-se nas atividades a descrição da atividade todas as granularidades, a partir do banco de dados organizado pelo IBGE.

Os sete dígitos do CNAE representam agregações correspondentes a hierarquia da classificação. Os dois primeiros dígitos representam a Divisão, por exemplo “01” sendo “Agricultura, pecuária e serviços relacionados”. Os três primeiros dígitos mostram o Grupo, como em “011” para “Produção de lavouras temporárias”. Os quatro primeiros dígitos combinados ao dígito verificador representam a Classe, como “0111-2” para “Cultivo de cereais para grãos”. Por fim, o CNAE integral até o sétimo dígito mostra a Subclasse, por exemplo “0111-2/01” para “Cultivo de arroz”.

## **Agrupamento de Atividades**

A diversidade do CNAE traz uma grande liberdade e desafios para comparação direta entre seus elementos. Os grãos de alto nível como a “Divisão” abstraem grandes setores em sua totalidade (por exemplo, “47” sendo todo o comércio varejista). Enquanto níveis mais específicos como a “Subclasse” abrangem milhares de categorias em quatro ordens de grandeza distintas<sup>4</sup>. Pode-se padronizar as comparações por meio de abordagens como categorias mais populares, *clusters* de setores semelhantes ou delimitação de estabelecimentos desejados para análise. Agregar usualmente confronta o *tradeoff* entre abranger o máximo de atividades existentes (ou idealmente, sua totalidade), ao mesmo tempo de distinguir as particularidades de cada grupo, dentro da restrição de limitar um número de elementos razoável para o entendimento da análise.

---

<sup>4</sup> A subclasse abrange desde categorias como “Transporte espacial (5130-7/00), Criação de escargô (0159-8/03) e Elaboração de combustíveis nucleares (2019-3/01), com menos de 10 atividades ativas no Brasil. Em outro extremo, existem três categorias contendo mais de 500.000 atividades ativas: “Comércio varejista de mercadorias em geral” (4712-1/00), “Cabeleireiros, manicure e pedicure” (9602-5/01) e “Comércio varejista de artigos do vestuário e acessórios” (4781-4/00).



Esta investigação prioriza o detalhamento das atividades no setor terciário, que abrange o comércio de bens e prestação de serviços, passando pelo comércio de mercadorias, atividades financeiras e imobiliárias, administração pública, serviços a empresas e pessoas, educação e saúde. Assim, é possível analisar atividades usualmente mais impactadas pela sua localização tanto no nível entre cidades como internamente na cidade. Os setores primário e secundário são despriorizados, consistindo na agricultura, matérias primas e indústrias de transformação.

O agrupamento elaborado possui 64 categorias, abrangendo 52,88% de todas as atividades ativas do Brasil (10.337.998 de 19.546.286). O primeiro critério considera uma abrangência elevada, priorizando elementos populares (acima de 10.000 atividades) nas categorias, em detrimento de atividades mais específicas. O segundo critério mantém a semelhança dentro dos elementos, considerando as descrições das Subclasses e seus expoentes de escalonamento semelhantes.

A tabela 1 mostra as classificações elaboradas, incluindo o segmento, quantidade de atividades ativas, o percentual de atividades ativas atualmente sobre o total da categoria (ativas e inativas), o percentual de microempreendedores individuais e o crescimento do número de atividades do nas últimas três décadas.

Tabela 1 - Categorização de atividades econômicas

Segmento	Classificação	Ativas	Ativas/ totais	MEI	Crescimento		
					1990-00	2000-10	2010-19
Saúde	<b>Academias</b>	69.697	69%	38%	453%	430%	347%
Alimentação	<b>Açougues</b>	95.626	35%	30%	156%	62%	117%
Órgãos públicos	<b>Administração pública</b>	56.086	80%	0%	188%	129%	121%
Serviços	<b>Agência de publicidade</b>	358.381	63%	77%	322%	155%	602%
Serviços	<b>Agências de viagens</b>	65.354	54%	42%	272%	133%	168%
Serviços	<b>Albergues</b>	26.301	59%	67%	259%	120%	264%
Varejo	<b>Artigos de cama, mesa e banho</b>	68.792	59%	74%	401%	264%	379%
Educação	<b>Autoescola</b>	18.441	68%	0%	344%	186%	108%
Serviços	<b>Bancos</b>	27.66	52%	0%	103%	124%	114%
Lazer	<b>Bares</b>	220.621	63%	73%	349%	318%	354%
Varejo	<b>Bombonieres</b>	46.491	49%	34%	539%	143%	129%

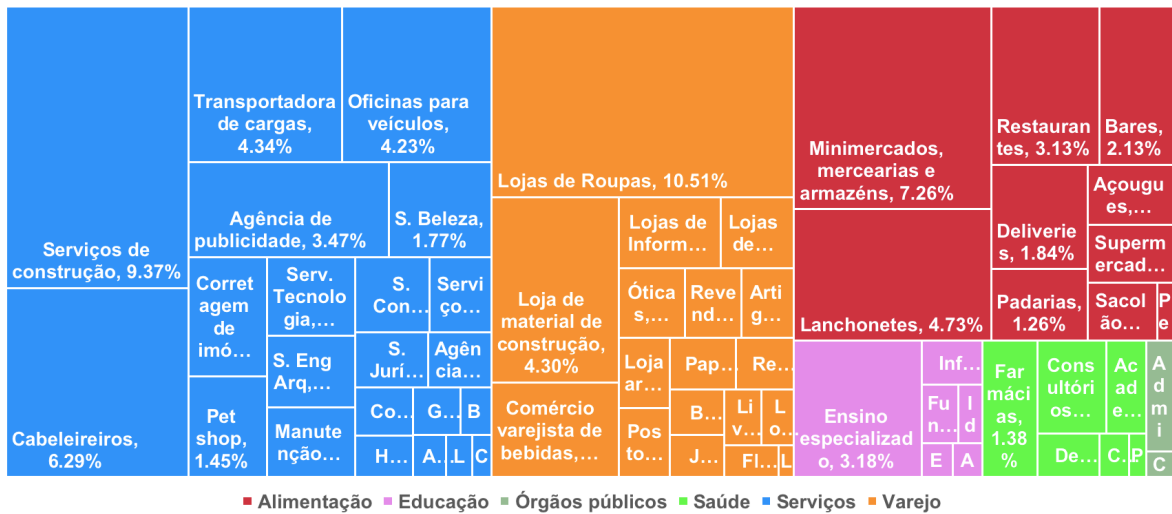
Serviços	<b>Cabeleireiros</b>	649.882	70%	93%	236%	194%	1371%
Órgãos públicos	<b>Cartórios</b>	13.06	94%	0%	120%	116%	129%
Serviços	<b>Casas lotéricas</b>	15.084	79%	0%	252%	211%	118%
Saúde	<b>Clínicas de Fisioterapia</b>	24.2	69%	1%	586%	386%	173%
Varejo	<b>Comércio varejista de bebidas</b>	227.716	51%	63%	264%	109%	216%
Saúde	<b>Consultórios médicos</b>	120.404	80%	0%	416%	319%	220%
Serviços	<b>Corretagem de imóveis</b>	175.685	70%	1%	166%	130%	195%
Serviços	<b>Corretagem de seguros</b>	52.107	65%	1%	351%	161%	135%
Alimentação	<b>Deliveries</b>	189.786	65%	92%	488%	607%	2034%
Saúde	<b>Dentistas</b>	49.974	73%	0%	564%	412%	211%
Educação	<b>Ensino especializado</b>	328.899	67%	72%	532%	382%	616%
Educação	<b>Escola de idiomas</b>	26.488	49%	39%	242%	106%	171%
Educação	<b>Escola fundamental e médio</b>	39.917	62%	0%	316%	139%	87%
Educação	<b>Escola infantil</b>	49.771	53%	1%	234%	114%	105%
Educação	<b>Escola técnica e superior</b>	19.616	66%	1%	218%	206%	129%
Saúde	<b>Farmácias</b>	142.652	47%	4%	209%	101%	111%
Varejo	<b>Floriculturas</b>	32.635	58%	39%	396%	185%	133%
Serviços	<b>Gráficas</b>	42.201	61%	54%	272%	166%	226%
Serviços	<b>Hotéis</b>	45.109	61%	1%	187%	128%	114%
Varejo	<b>Joalherias</b>	42.943	60%	53%	236%	164%	210%
Alimentação	<b>Lanchonetes</b>	489.227	35%	44%	155%	57%	139%
Serviços	<b>Lavanderias</b>	21.072	56%	49%	226%	141%	206%
Varejo	<b>Livrarias</b>	38.844	30%	29%	187%	72%	89%
Varejo	<b>Loja artigos esportivos</b>	67.356	60%	47%	401%	200%	177%
Varejo	<b>Loja de brinquedos</b>	33.694	57%	50%	582%	252%	186%
Varejo	<b>Loja de material de construção</b>	444.19	54%	23%	266%	130%	128%
Varejo	<b>Lojas de calçados</b>	97.599	47%	36%	205%	117%	149%
Varejo	<b>Lojas de conveniência</b>	9.273	79%	2%	489%	347%	621%
Varejo	<b>Lojas de Informática</b>	135.94	52%	35%	937%	295%	117%
Varejo	<b>Lojas de Roupas</b>	1.086.735	46%	59%	173%	97%	198%
Serviços	<b>Manutenção de computadores</b>	115.462	54%	74%	798%	356%	330%

Alimentação	<b>Minimercados, mercearias e armazéns</b>	750.62	48%	41%	235%	100%	137%
Serviços	<b>Oficinas para veículos</b>	437.658	65%	68%	270%	157%	319%
Varejo	<b>Óticas</b>	86.957	20%	16%	138%	35%	85%
Alimentação	<b>Padarias</b>	130.44	54%	44%	368%	134%	164%
Varejo	<b>Papelarias</b>	64.305	54%	20%	427%	191%	98%
Alimentação	<b>Peixaria</b>	17.435	60%	59%	348%	205%	270%
Serviços	<b>Pet shop</b>	149.401	66%	50%	392%	337%	254%
Varejo	<b>Postos de combustível</b>	66.349	54%	0%	154%	108%	104%
Saúde	<b>Psicólogos</b>	14.041	72%	1%	492%	410%	238%
Alimentação	<b>Restaurantes</b>	323.108	50%	32%	183%	106%	167%
Varejo	<b>Revenda de automóveis</b>	56.341	56%	1%	379%	231%	97%
Varejo	<b>Revenda de gás GLP</b>	74.739	57%	23%	336%	170%	135%
Alimentação	<b>Sacolão de frutas</b>	75.392	62%	58%	329%	178%	246%
Serviços	<b>Salões de beleza</b>	183.197	67%	88%	424%	235%	1146%
Serviços	<b>Serviços de construção</b>	968.423	68%	78%	333%	173%	686%
Serviços	<b>Serviços de contabilidade</b>	104.903	67%	26%	279%	180%	191%
Serviços	<b>Serviços de engenharia e arquitetura</b>	118.039	63%	1%	314%	197%	145%
Serviços	<b>Serviços de tecnologia</b>	130.154	55%	1%	1049%	260%	109%
Serviços	<b>Serviços domésticos</b>	87.53	84%	99%	610%	203%	14711%
Serviços	<b>Serviços jurídicos</b>	76.015	79%	0%	263%	212%	222%
Alimentação	<b>Supermercados</b>	92.926	21%	1%	112%	32%	82%
Serviços	<b>Transportadora de cargas</b>	449.054	62%	34%	254%	174%	190%

Fonte: O Autor (2021)

As três classificações mais populares são “Lojas de Roupas”, “Serviços de construção” e “Minimercados, mercearias e armazéns”, contendo mais de 750.000 atividades ativas cada uma. A Figura 16 mostra a representatividade dos principais segmentos. As três mais específicas são “Lojas de conveniência”, “Psicólogos” e “Cartórios”, com menos de 15.000 atividades ativas em cada categoria.

Figura 16 - Segmentos classificados com maior quantidade de atividades



Fonte: O Autor (2021)

Classificações com menos atividades ativas sobre total (inferior a 35%) indicam setores com maior rotatividade de estabelecimentos, como óticas, livrarias, supermercados, lanchonetes e açougues. Enquanto os setores com maior taxa de atividades ativas sobre o total (superior a 80%) indicam maior estabilidade nos estabelecimentos, como consultórios médicos, administração pública e cartórios.

Microempreendedores são majoritários em serviços domésticos, deliveries, cabeleireiros e salões de beleza, todos com representatividade maior de 88% para a categoria MEI. Outros segmentos possuem a inexistência de microempreendedores, como consultórios médicos, dentistas, postos de combustível e bancos.

O crescimento das atividades na década de 1990 mostra a tecnologia como destaque, com alto crescimento de serviços de tecnologia, lojas de informática e manutenção de computadores. A década de 2000 trouxe quatro dos cinco maiores crescimentos em saúde e cuidados pessoais, em academias, dentistas, psicólogos e fisioterapia. A década de 2010 apresenta crescimento nos microempreendedores, na formalização de serviços domésticos, deliveries, cabeleireiros e salões de beleza.

#### 4.1.2 ORGANIZAÇÃO DE CIDADES

As cidades foram obtidas a partir do Censo IBGE 2010, contendo sua população e polígonos geográficos. O território brasileiro conta com 5.559 cidades, agrupadas em 554 mesorregiões, 137 microrregiões e 5 regiões brasileiras. Pode-se assim, como nos trabalhos de Bettencourt (2007) e Meirelles (2015), segmentar as Leis de Escala em cidades por cortes de habitantes mínimos ou densidade mínima, agrupamento em granularidades e regiões distintas no território brasileiro.

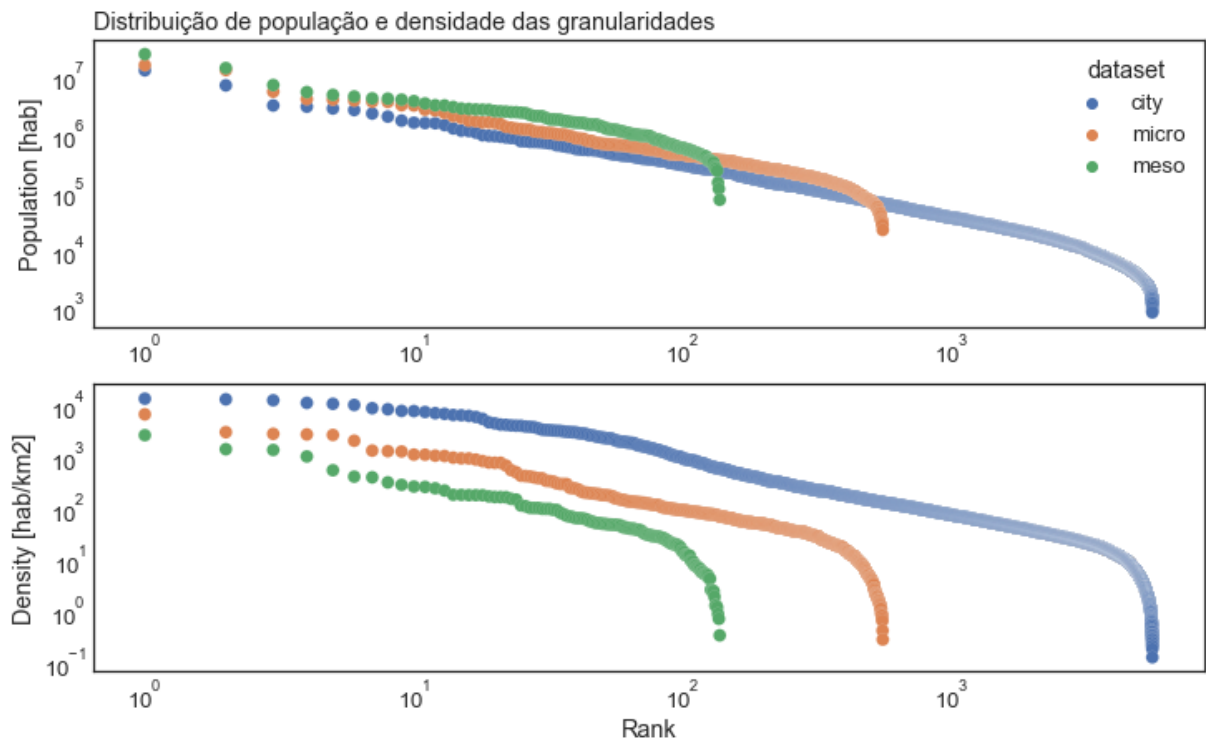
Incorporam-se as populações do Censo de 1990; 2000; e estimativas populacionais em 2018. Assim se compatibiliza o componente temporal da população com as atividades. As atividades também possuem série histórica de abertura e fechamento. Combinando ambas as séries temporais, adicionalmente pode-se analisar os expoentes nas décadas passadas.

#### 4.1.3 GRANULARIDADES ESPACIAIS

As Leis de Escala associam unidades territoriais com sua respectiva população e atividades econômicas. Sendo assim, é necessário escolher uma granularidade para análise. A menor unidade amostral consiste nas cidades, que podem ser agrupadas em microrregiões e mesorregiões. A figura 17 mostra a distribuição de população e de densidade nos elementos destes três conjuntos.

A amplitude de populações das cidades passa por cinco ordens de grandeza (entre 781 e 12.252.023 habitantes), enquanto permanece mais uniforme nos agrupamentos regionais. A densidade populacional (hab/km<sup>2</sup>) mostra distribuições semelhantes em todos os grupos. Todas as distribuições de habitantes e densidade apresentam uma cauda longa. A granularidade de cidade adicionalmente possibilita estabelecer cortes mínimos para determinados valores de população ou densidade (habitantes por quilômetro quadrado) de modo a reduzir eventuais vieses amostrais.

Figura 17 - Distribuição de população e densidade nas cidades, microrregiões e mesorregiões brasileiras

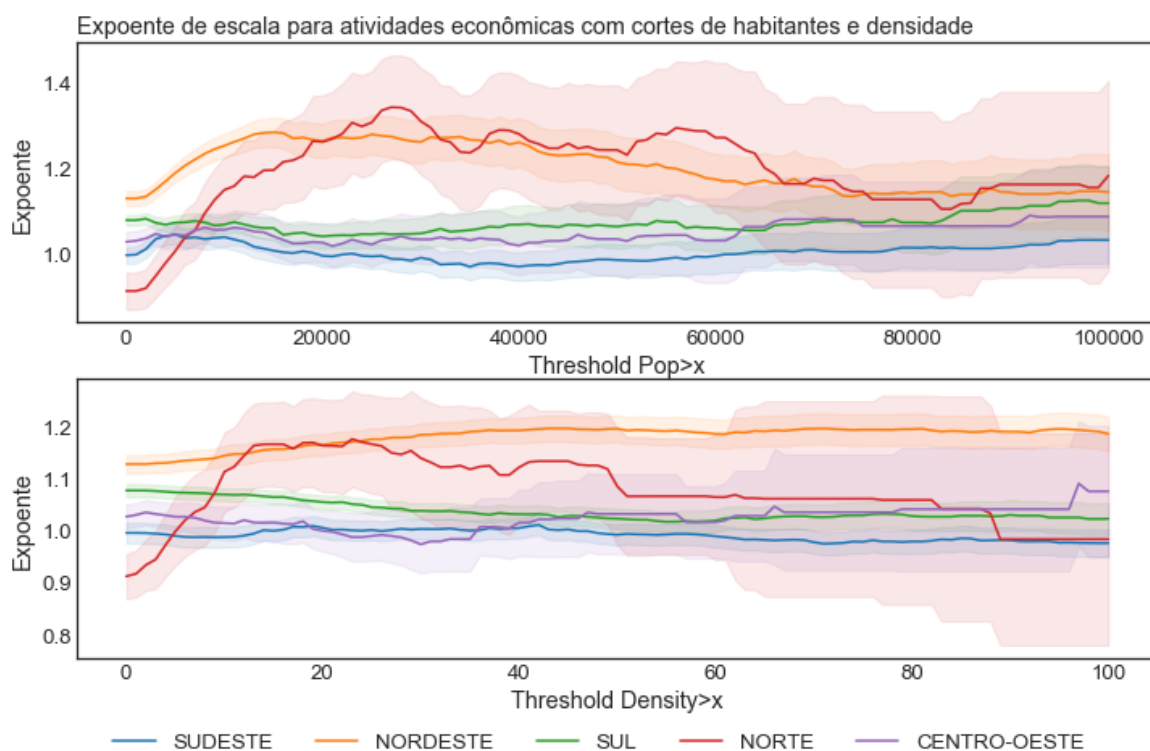


Fonte: O Autor (2021)

A convergência do expoente de escala  $\beta$  para atividades ativas nas cidades aumenta de acordo com cortes mínimos considerados de população e densidade, sobretudo nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul, conforme mostra a figura 18. As regiões Norte e Nordeste iniciam com expoentes maiores e tendem a normalizar o mesmo com o aumento dos cortes em cidades menores. Isso pode representar um desvio ao comportamento esperado, possivelmente com maior informalidade nas atividades econômicas de cidades menores. A região Sudeste é a mais consistente nos dados, apresentando baixos desvios independentemente de cortes na amostra.

Selecionamos seis conjuntos de unidades territoriais para análise do expoente de escala, considerando diferentes granularidades e cortes. A tabela 2 caracteriza cada conjunto com sua quantidade de elementos, sua representatividade sobre o total (quando cortados) e seus intervalos de população e densidade.

Figura 18 - Expoente de escala  $\beta$  para atividades ativas com cortes de população e densidade, segmentado por região do Brasil



Fonte: O Autor (2021)

Tabela 2 - Conjuntos para análise do expoente de escala

#	Granularidade	Corte	Unidades	População [hab]		Densidade [hab/km <sup>2</sup> ]	
				Maior	Menor	Maior	Menor
1		Completo	5.556	12.252.023	781	12.838	0,11
2	Cidade	d>25	2676 (48%)	=	1529	=	25,01
3		d>50	1403 (25%)	=	2161	=	50,00
4		h>20.000	1768 (32%)	=	20.024	=	0,20
5	Microrregião	Completo	553	15.041.894	20.979	6.374	0,26
6	Mesorregião	Completo	137	23.373.277	69.931	2.502	0,32

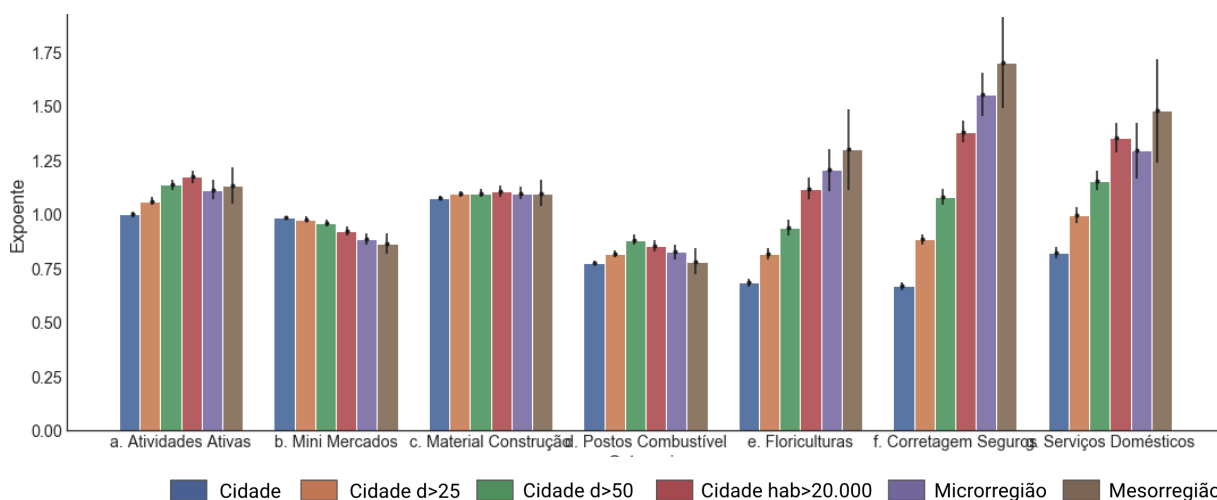
Fonte: O Autor (2021)

Os expoentes de escala foram calculados individualmente em cada conjunto, nas 64 categorias de atividades e na soma de atividades ativas. Enquanto algumas atividades econômicas mantêm seu expoente robusto nos diferentes conjuntos, outras sistematicamente aumentam o expoente com granularidades maiores.

A Figura 19 destaca expoentes selecionados entre as granularidades. As (a) *Atividades ativas* mantém o expoente ligeiramente superlinear para todas as granularidades. Atividades como (b) *Minimercados*, (c) *Materiais de Construção* e (d) *Postos de Combustível* apresentam pequenas oscilações entre granularidades. Atividades como (e) *Floriculturas*, (f) *Corretagem de Seguros* e (g) *Serviços Domésticos* aumentam o expoente e invertem o regime de escalonamento no aumento da granularidade.

Assim, cidades menores concentrariam individualmente mais atividades, entretanto nas regiões agregadas, aquelas maiores concentrariam mais atividades. Os dados destas atividades com expoentes menos robustos são mais esparsos e a hipótese mais provável deste comportamento é a ocorrência destas atividades em maior frequência nas cidades menores que interagem com regiões vizinhas maiores. Posteriormente podemos diluir este efeito na escolha da granularidade.

Figura 19 - Expoente de escala  $\beta$  para categorias de atividades, segmentado por diferentes granularidades



Fonte: O Autor (2021)



A tabela 3 mostra os expoentes de escala médios calculados em cada grupo, indicando seus limites superiores e inferiores, desvios e o ajuste de R<sup>2</sup>.

Tabela 3 - Expoente de escala por granularidade

#	Granularidade	Amostras	Expoente	Lower	Upper	Desvio	R <sup>2</sup>
1	Cidade	5556	0.83	0.82	0.85	± 0.02	0.63
2	Cidade d>25	2676	0.96	0.94	0.98	± 0.02	0.71
3	Cidade d>50	1403	1.07	1.04	1.1	± 0.03	0.76
4	Cidade h>20.000	1768	1.19	1.15	1.23	± 0.04	0.63
5	Microrregião	553	1.18	1.11	1.24	± 0.06	0.71
6	Mesorregião	137	1.19	1.07	1.3	± 0.12	0.75

Fonte: O Autor (2021)

Embora os melhores ajustes aconteçam em amostras menores, como o corte de cidades em densidades maiores de 50 hab/km<sup>2</sup> e a mesorregião, ambas introduzem vieses de observação parcial da amostra (apenas 25% em cidades d>50) ou grandes agregações (137 mesorregiões). Por outro lado, o conjunto completo de cidades pode apresentar divergência, como a informalidade em cidades menores e desigualdade entre cidades isoladas ou integradas a sistemas urbanos adjacentes.

A microrregião mostra um meio termo entre estas realidades e uma unidade mais próxima das interações entre os habitantes, que originam as Leis de Escala. Segundo o IBGE (1990), a divisão considera municípios limítrofes com organização espacial comum. O grupo apresenta o ajuste médio acima das cidades isoladas (R<sup>2</sup>=0.71) e permanece característico, com desvio menor que a mesorregião (±0.06), abrangendo todo o território em 553 microrregiões de sistemas urbanos comuns.

Assim, adotamos o conjunto de microrregiões como definição de cidade para a aplicação das as Leis de Escala no Brasil. Investigações sobre Escalas em outros países adotam a definição equivalente de regiões urbanas, como as *metropolitan statistical areas* (MSA) nos Estados Unidos, *larger urban zones* (LUZs) na União Européia e *urban administrative units* (UAUs) na China. Segundo Bettencourt (2009), regiões urbanas tendem a reduzir limites políticos e geográficos arbitrários, por se tratarem de núcleos urbanos onde uma fração considerável da população trabalha e interage dentro de suas fronteiras.

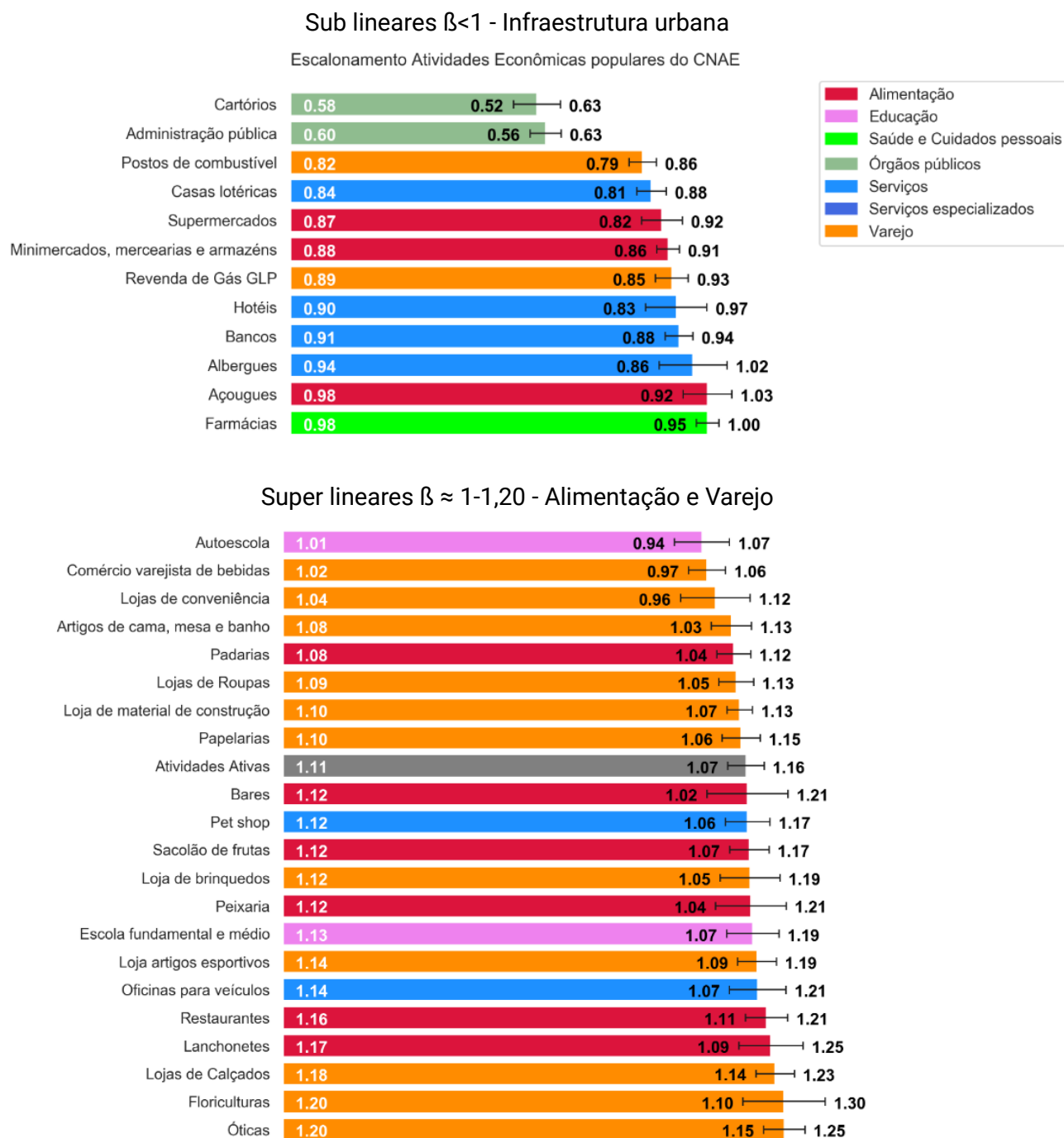
#### 4.1.4 EXPOENTES DE ESCALA PARA SEGMENTOS

Calculou-se o expoente de escala para os segmentos classificados por meio da regressão entre os logaritmos da população e das atividades da categoria. Adicionalmente, os mesmos foram calculados com um estimador de *maximum likelihood*, onde os 64 expoentes se mantiveram dentro do intervalo de confiança. A figura 20 mostra os expoentes de escala, seus intervalos de confiança e uma classificação da categoria macro do setor (por exemplo, alimentação, educação e saúde). Os resultados estão de acordo com os regimes esperados pela literatura.

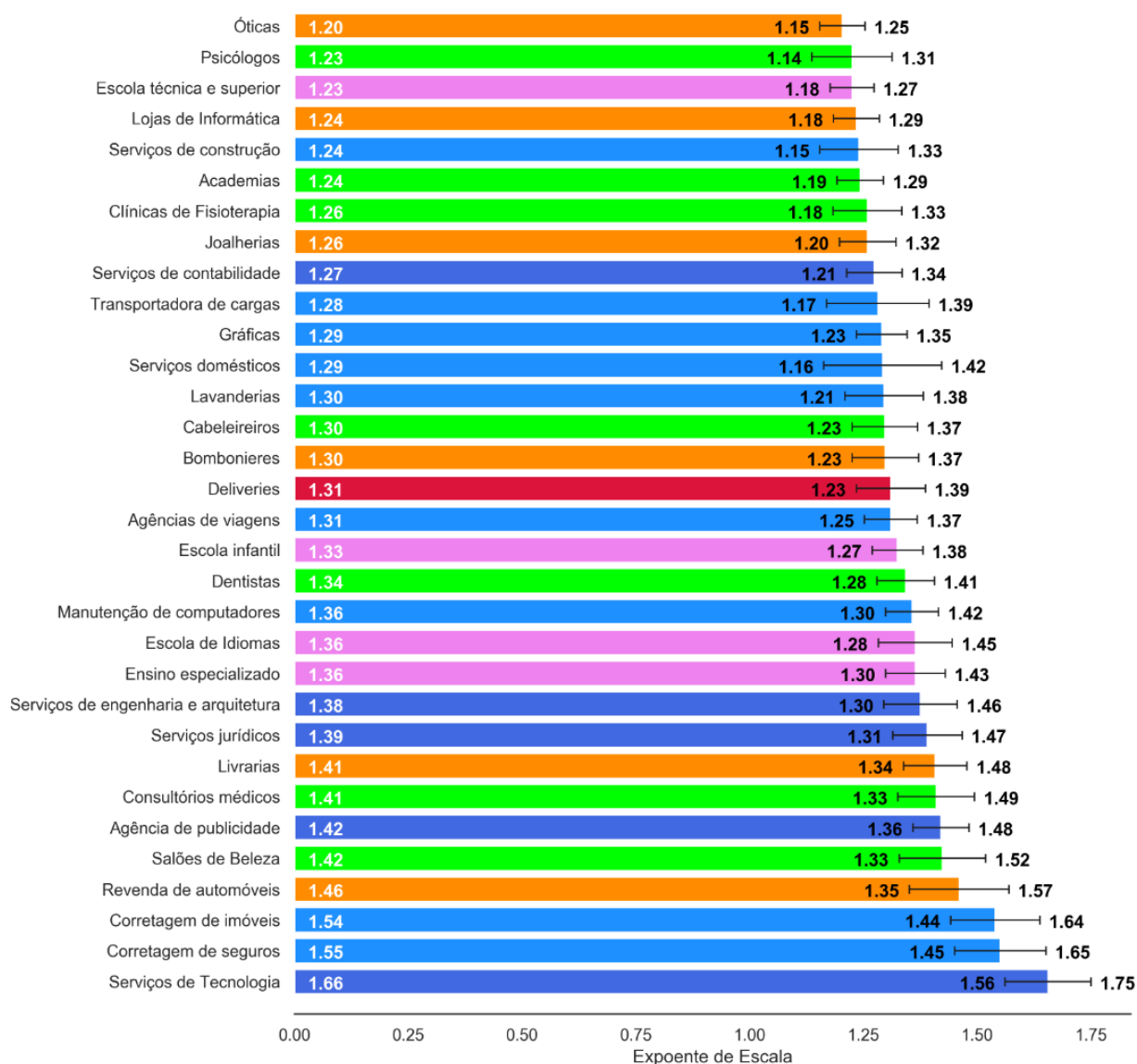
As atividades com  $\beta < 1.00$  estão fortemente associadas com a **infraestrutura urbana**, entre eles órgãos públicos (administração pública e cartórios), comércios de alimentos e energia (mercados, postos de combustível e revenda de gás) e serviços mais essenciais (casas lotéricas, bancos, farmácias). O expoente indica que estas atividades estão proporcionalmente mais concentradas em cidades menores, sendo relativamente suprimidas na medida em que a população da cidade cresce.

As atividades com  $\beta = 1.00 \approx 1.20$ , ligeiramente acima do escalonamento linear, aproximam-se da faixa de consumo e necessidades humanas. Associam-se sobretudo a **alimentação e varejo**. A alimentação compreende compra de alimentos (padaria, açougues e peixarias) e fora de casa (bares, restaurantes, lanchonetes). O varejo incorpora os mais diversos produtos (bebidas, conveniência, casa, materiais de construção, roupas, calçados, papelarias, brinquedos, floriculturas e óticas). O grupo ainda contém educação (ensino fundamental, médio e autoescola) e serviços pontuais (pet shop e oficinas de veículos). Estas atividades são super-lineares e crescem em proporção ligeiramente mais rápida que a população da cidade.

Figura 20 - Escalonamento dos segmentos de Atividades Econômicas



### Super lineares $\beta > 1,20$ - Serviços e atividades especializadas



Fonte: O Autor (2021)

As atividades com  $\beta > 1,20$  estão na faixa potencializada pelas trocas socioeconômicas (informação, inovação, riqueza) e concentram especialmente os **serviços e atividades especializadas**. Entre elas as atividades de saúde e cuidados pessoais (psicólogos, academias, fisioterapia, cabeleireiros, dentistas, consultórios médicos e salões de beleza), serviços diversos (construção, transportes, gráficas, domésticos e lavanderias, viagens, corretagem, informática), varejos especializados (informática, joalherias, bombonieres, livrarias, automóveis), educação específica (infantil, idiomas, especializado) e serviços especializados (engenharia e arquitetura, contabilidade, jurídicos, publicidade, tecnologia). Essas atividades super-lineares

com  $\beta > 1,20$  possuem um crescimento mais acelerado que a população e encontram-se proporcionalmente mais abundantes nas cidades maiores.

O maior expoente de escala está em “Serviços de Tecnologia” com  $\beta=1,66$ . Esta categoria compreende atividades como desenvolvimento e suporte técnico de sistemas (web design, sob encomenda, licenciados) e consultoria em tecnologia de informação; altamente dependente de informação e inovação e concentrada em grandes cidades. Em destaque ainda aparece corretagem de imóveis e seguros com  $\beta=1,54\approx 1,55$ , que também agregam valor em cidades maiores, com o aumento de interação entre pessoas e consequente demanda por serviços de corretagem.

O expoente de escala aumenta conforme o nível de especialização das atividades. O varejo apresenta os menores expoentes em categorias mais comuns nas cidades como combustíveis ( $\beta=0,82$ ), gás ( $\beta=0,89$ ) e bebidas ( $\beta=1,02$ ). Os maiores expoentes aparecem em produtos mais especializados como joalherias ( $\beta=1,26$ ), bombonieres ( $\beta=1,30$ ), livrarias ( $\beta=1,41$ ) e automóveis ( $\beta=1,46$ ). Os serviços mostram menores expoentes entre hotéis e albergues ( $\beta=0,90-0,94$ ), bancos ( $\beta=0,91$ ); enquanto expoentes maiores em agências de viagem ( $\beta=1,31$ ) manutenção de computadores ( $\beta=1,36$ ) e corretagem de imóveis e seguros ( $\beta=1,54-1,55$ ).

Todas as demais categorias possuem algum comportamento de especialização crescente com o expoente, revelando uma trajetória de desenvolvimento nas cidades. Saúde inicia em farmácias ( $\beta=0,98$ ) e continua até dentistas ( $\beta=1,34$ ) e médicos ( $\beta=1,41$ ). Alimentação inicia na compra de alimentos em minimercados e supermercados ( $\beta=0,87-0,88$ ) e segue a tendência para alimentação fora de casa em restaurantes ( $\beta=1,16$ ) e lanchonetes ( $\beta=1,17$ ). Educação inicia em autoescola ( $\beta=1,01$ ) e ensino fundamental e médio ( $\beta=1,13$ ) seguindo até idiomas ( $\beta=1,36$ ) e especializados (profissionais, música, informática, concursos, esporte etc) ( $\beta=1,36$ ). Entre os serviços, aqueles especializados prestados por profissionais com ensino superior possuem os expoentes de escala mais elevados, como contabilidade ( $\beta=1,27$ ), engenharia e arquitetura ( $\beta=1,38$ ), jurídicos ( $\beta=1,39$ ), publicidade ( $\beta=1,42$ ) e tecnologia ( $\beta=1,66$ ).

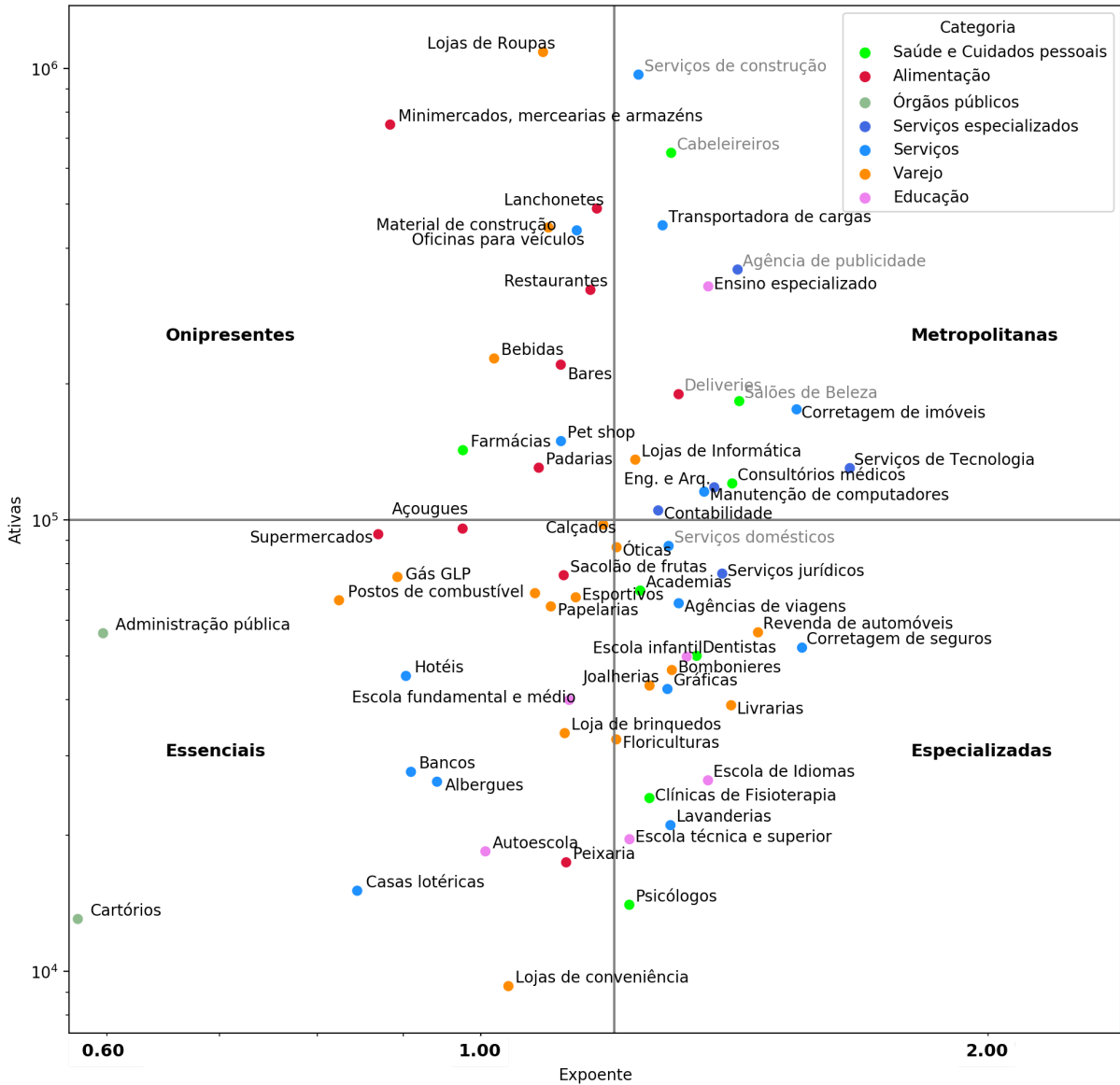
Observam-se expoentes excepcionalmente altos em algumas categorias relativamente mais comuns nas cidades, como cabeleireiros ( $\beta=1,30$ ), salões de beleza ( $\beta=1,42$ ) e deliveries ( $\beta=1,31$ ). Essas três categorias possuem em comum as maiores concentrações de MEI, com mais de 88% de suas atividades registradas como microempreendedor individual. Essa natureza jurídica pode possuir vieses de maior disseminação em cidades maiores, em consequência elevando seu expoente.

#### 4.1.5 QUANTIDADE E ESCALONAMENTO

Podem-se classificar alguns segmentos de atividades em relação à sua abundância nas cidades ( $\pm 100.000$  atividades ativas) e expoente de escala ( $\beta \pm 1,20$ ), revelando grupos de atividades, conforme ilustra a Figura 21.

- **Essenciais** - Segmentos com atividades escassas e de menor expoente. Consistem em necessidades frequentes e na base funcional do sistema urbano. Estas atividades são imprescindíveis mesmo nas pequenas cidades e saturam rapidamente com a cobertura de seus serviços. Como exemplos, a administração pública, postos de combustível, bancos e casas lotéricas.
- **Onipresentes** - Segmentos com atividades abundantes de menor expoente. Sua demanda é recorrente e ocorrem massivamente em todas as cidades. Exemplos sobretudo das necessidades de alimentação (minimercados, lanchonetes, bares, padarias), vestuário (lojas de roupas) e saúde (farmácias).
- **Metropolitanas** - Segmentos abundantes e maior expoente. O conhecimento potencializa estas atividades que atraem consumidores e concentram-se em maior proporção nos grandes centros. Exemplo de serviços de tecnologia, ensino especializado e consultórios médicos.
- **Especializadas** - Segmentos escassos e de maior expoente. Atendem necessidades específicas e mercados mais restritos. Desenvolvem-se com maior proporção nos centros urbanos. Exemplos dos serviços jurídicos, revenda de automóveis e livrarias.

Figura 21 - Quadrantes de atividades por abundância e expoente de escala

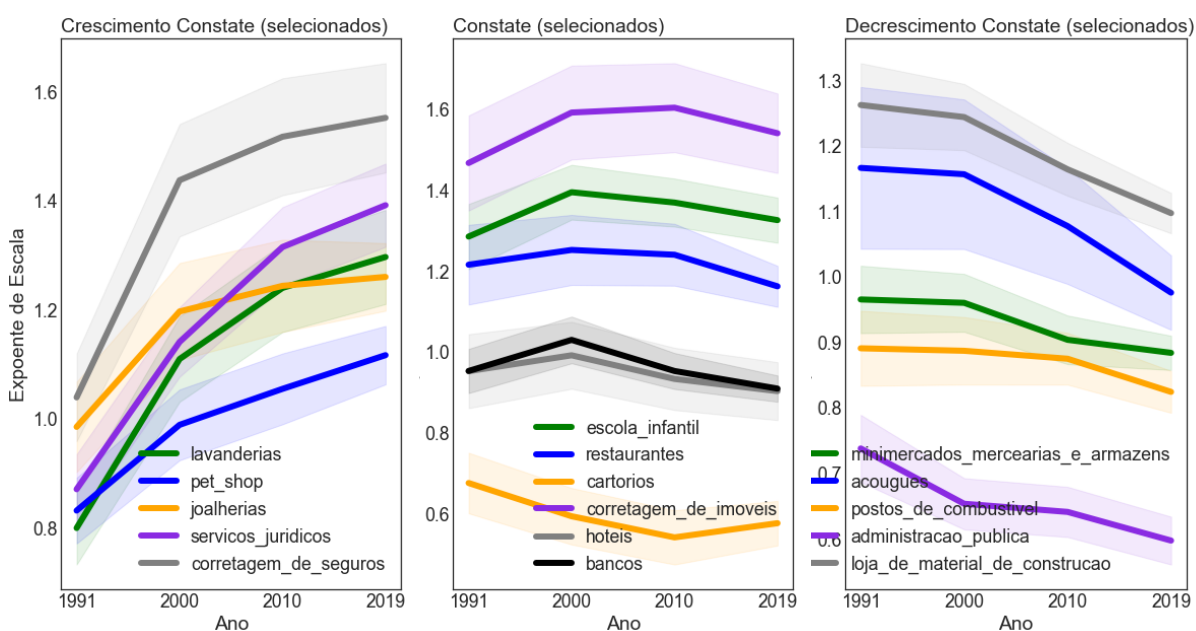


Fonte: O Autor (2021)

#### 4.1.6 EVOLUÇÃO DO EXPOENTE DE ESCALA NAS DÉCADAS

Os expoentes de escala para os segmentos de atividades econômicas evoluem de maneira distinta ao longo das décadas. Analisaram-se as atividades ativas historicamente com a população de 1991, 2000, 2010 e 2019. A tabela 4 mostra os critérios para considerar os expoentes em cada regime de crescimento; a quantidade e segmentos presentes naquela categoria. A figura 22 ilustra a evolução do expoente de escala de segmentos selecionados em regimes distintos.

Figura 22 - Evolução de expoentes de escala selecionados em diversos regimes



Fonte: O Autor (2021)

O expoente de escala constante aparece em cerca de metade (53%) dos segmentos, oscilando em  $\pm 0.10$  sobre a média ao longo das quatro décadas. A exceção de 1991 mostra um cadastro de atividades menos consistente. Possuir o expoente constante significa uma relação robusta do regime de escalonamento, capaz de atravessar as décadas mantendo o mesmo comportamento.

O crescimento do expoente de escala acontece em 22% dos segmentos, como escolas, restaurantes e *pet shops*. Ou seja, estas atividades passaram a se concentrar em maior proporção nas cidades maiores ao longo do tempo. Pode se associar também com hábitos de consumo e formalização de atividades.



Enquanto o decréscimo se mostra em 14% dos segmentos, como açougues, minimercados e administração pública. Estas atividades passam a se concentrar mais em cidades menores. Possivelmente por efeitos da popularização de alguns produtos e serviços, crescimento das cidade e o menor surgimento destas atividades nas cidades maiores.

Tabela 4 - Evolução do expoente de escala ao longo das décadas

Fenômeno	Regime	#	%	Critério	Atividades
<b>Os expoentes seguem a tendência que possuíam, escalas ficam inalteradas (53%)</b>	<b>Constante todo o período 1991-2019</b>	16	25%	4 expoentes (1991, 2000, 2010, 2019) ficaram em $\pm 0.10$ sobre a média	Escola fundamental e médio, infantil, Farmácias, Lanchonetes, Transportadora, Restaurantes, Gás GLP, construção, Hotéis, Livrarias, Óticas, Bancos, Bebidas, Cartórios, Corretagem de imóveis, Agências de Viagem.
	<b>Constante 2000-2019 (desconsidera antigo)</b>	18	28.10%	3 expoentes (2000, 2010, 2019) ficaram em $\pm 0.10$ sobre a média	Revenda de automóveis, Papelarias, Padarias Artigos do lar, Autoescola, Contabilidade, Engenharia e arquitetura, Loja de brinquedos, artigos esportivos, Albergues, Consultórios médicos, Bombonieres, Gráficas Floriculturas, Ensino especializado, técnica e superior, idiomas, Serviços de Tecnologia
<b>Atividades ficam mais superlineares, passam a se concentrar em cidades maiores (21.9%)</b>	<b>Crescimento consistente</b>	7	10.90%	Todos os anos crescem consistentemente	Salões de Beleza, Serviços jurídicos, Corretagem de seguros, Pet shop, Peixaria, Lavanderias, Joalherias
	Crescimento 2019-91	7	10.90%	O ano de 2019 foi maior que 1991, picos em 2000/2010	Bares, Agência de publicidade, Casas lotéricas, Lojas de Informática, Cabeleireiros, Sacolão de frutas, Academias
<b>Atividades ficam mais sublineares, passam a se concentrar em cidades menores (14%)</b>	<b>Decréscimo consistente</b>	8	12,5%	Todos os anos decrescem consistentemente	Minimercados, Administração pública, Lojas de Calçados, roupas, material de construção, Açougues, Supermercados, Postos de combustível
	Decréscimo 2019-91	1	1,5%	Ano de 2019 menor que 1991, menores em 2000/2010	Oficinas para veículos
Divergência	Expoente muito baixo em 1991	7	10.90%	Ano de 1991 apresenta menos da metade do expoente de 2000	Deliveries, Serviços domésticos, Fisioterapia, Psicólogos, Manutenção de computadores, Conveniência, Dentistas

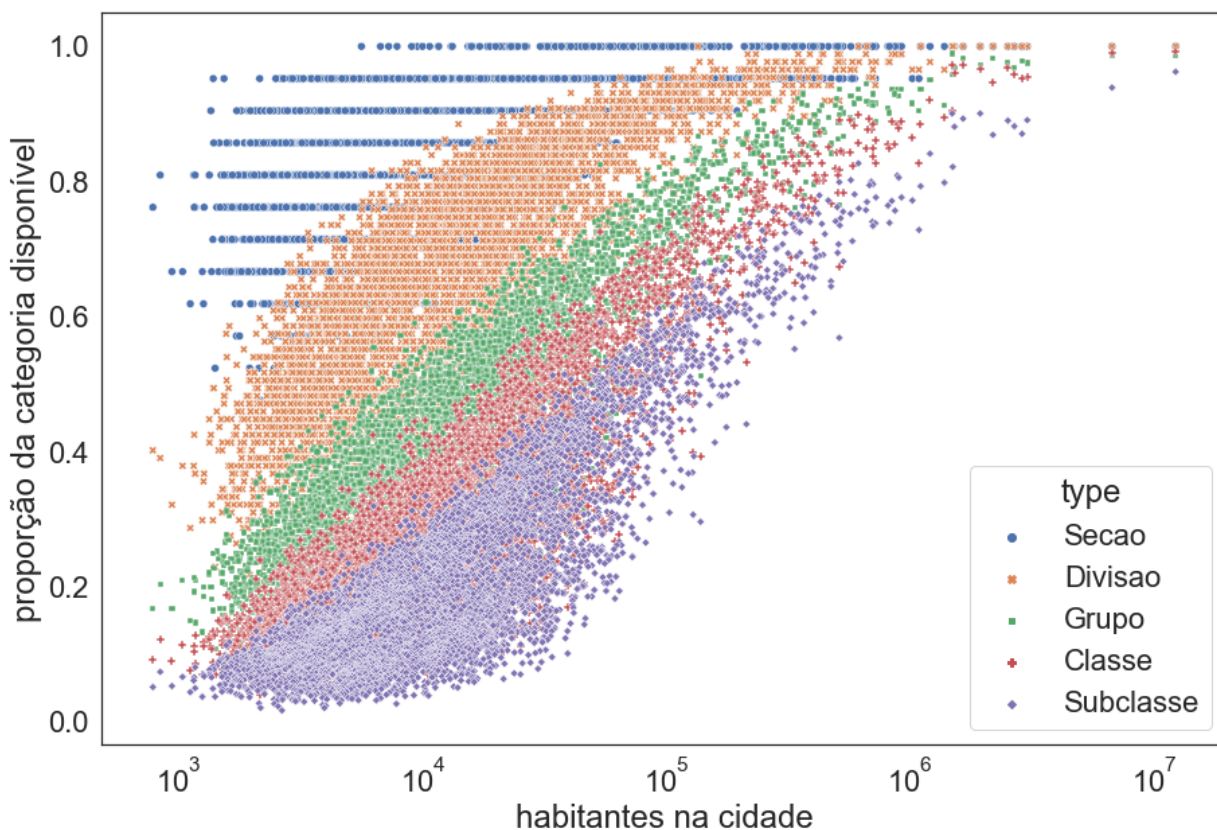
Fonte: O Autor (2021)

#### 4.1.7 DIVERSIDADE E ABUNDÂNCIA DE ATIVIDADES ECONÔMICAS

Verifica-se a especialização de atividades nas cidades, na linha dos estudos de Hyejin (2015). A figura 23 mostra a proporção de atividades existentes na cidade em cada granularidade de classificação. Cada ponto e granularidade representa uma cidade em relação à sua população. A distribuição segue o comportamento observado nos EUA, onde as cidades passam a abranger mais tipos de atividades econômicas na medida que crescem, gerando diversidade em sua economia.

As granularidades mostram uma especialização crescente e sempre contínua. Enquanto granularidades maiores (Seção) saturam rapidamente com o esgotamento de suas opções, granularidades menores (Subclasse) continuam adicionando novas especializações. Pequenas cidades constroem rapidamente um núcleo econômico ganhando diversidade, em seguida desaceleram, mas nunca deixam de inovar.

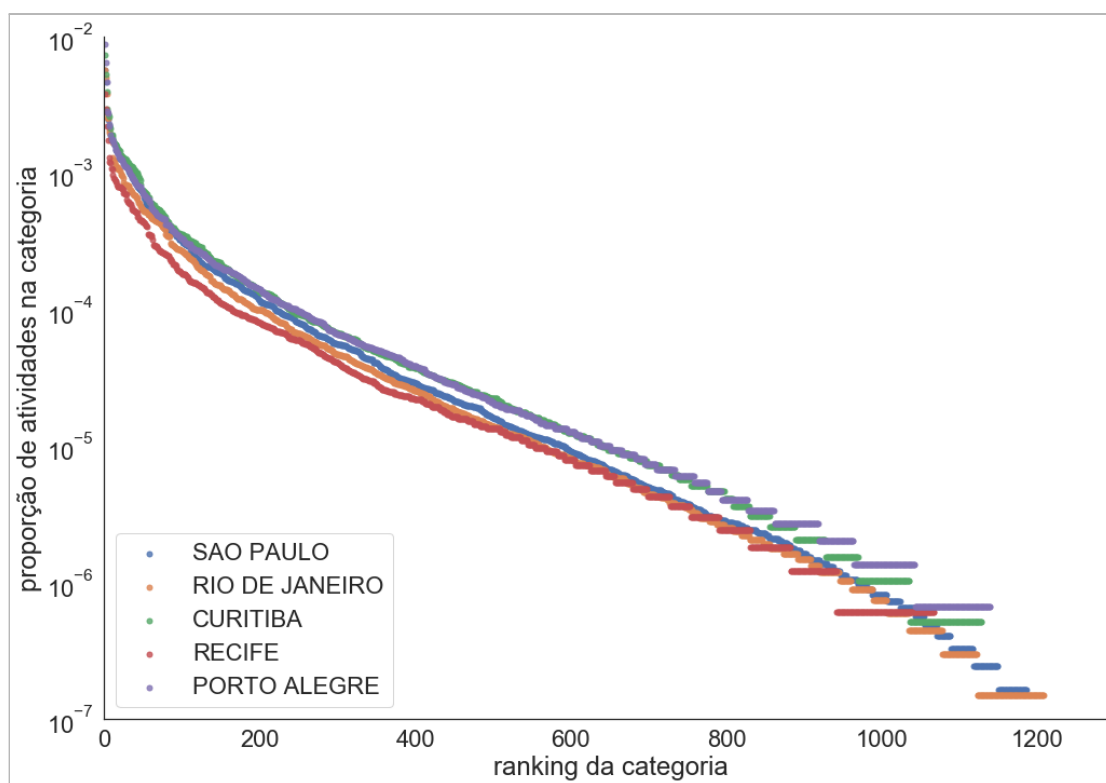
Figura 23 - Especialização de atividades com população da cidade



Fonte: O Autor (2021)

A proporção de atividades existentes em cada categoria ordenada também é um ponto em comum com os estudos de Hyejin (2015) e robusto para as cidades brasileiras. A figura 24 compara cinco cidades, onde o eixo horizontal mostra a ordem de popularidade de cada categoria econômica (Subclasse) da cidade, enquanto o eixo vertical mostra a proporção do total de atividades da cidade dentro daquela categoria. Conforme observa Hyejin, apesar das características individuais da cidade (população, densidade, renda, região) e da sua composição de atividades, a curva da distribuição da abundância relativa de cada atividade é uma propriedade comum presente em todas as cidades.

Figura 24 - Abundância relativa por ranking de categoria



Fonte: O Autor (2021)

## 4.2. ÍNDICE-M DE INTERAÇÃO ESPACIAL

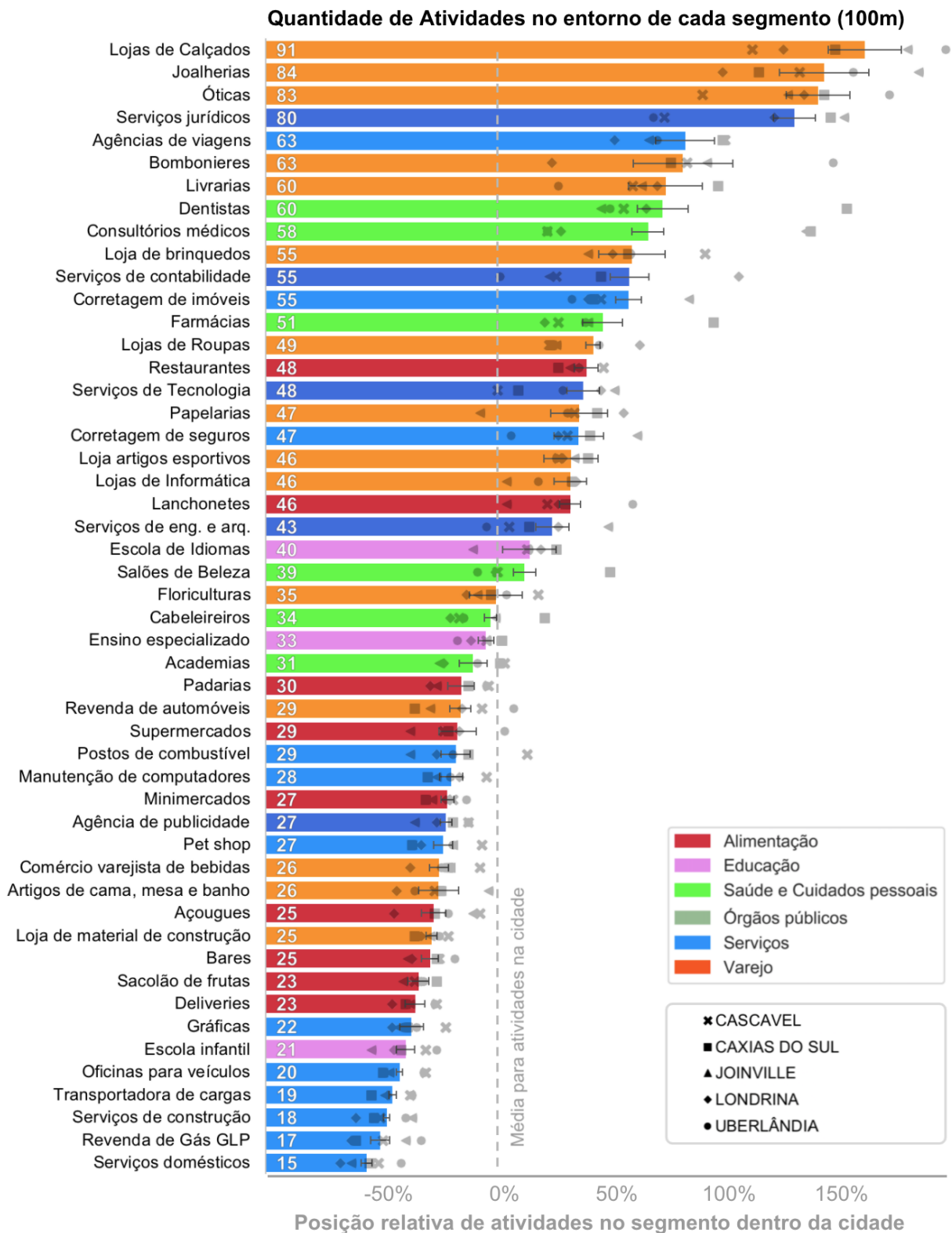
### 4.2.1 ATIVIDADES NO ENTORNO DE SEGMENTOS

O índice-M de interação espacial avalia a distribuição das atividades econômicas próximas espacialmente em “clusters” econômicos. Para isso, assume a premissa de concentração de atividades no entorno de cada ponto e interação com o mesmo. Inicialmente, exploram-se os setores econômicos e a quantidade de atividades médias no seu entorno num raio de 100m. Foram analisadas 149.111 atividades ativas e geolocalizadas nos segmentos classificados. Selecionaram-se as cidades de Cascavel (PR), Caxias do Sul (RS), Joinville (SC), Londrina (PR) e Uberlândia (MG), todas com elevada precisão na geocodificação de atividades.

A figura 25 mostra a quantidade média de atividades no entorno das atividades de cada segmento. Existem em média 35 atividades no entorno de 100 metros de cada ponto. Adicionalmente, mostra os valores individuais por cidade com a quantidade de vizinhos de cada segmento, normalizados pela média da cidade. Existe consistência nos grupos, onde os valores seguem a tendência das atividades.

As atividades com maior concentração de vizinhos no seu entorno são do varejo, sobretudo associadas com o vestuário (loja de calçados, roupas, joalherias, óticas) e atividades de saúde (dentistas, médicos e farmácias). Estas atividades usualmente são menores e se localizam próximas a outras atividades, como em ruas especializadas, shopping centers e prédios comerciais. As menores concentrações e mais isoladas, por outro lado, ressaltam atividades dependentes de veículos (oficinas, transportadoras, materiais de construção) e serviços externos (domésticos, construção, delivery), mais afastadas dos centros e demais atividades.

Figura 25 - Comparação entre segmentos e atividades no seu entorno



Fonte: O Autor (2021)



Tabela 5 - Índices M em destaque, para setores selecionados

<b>Setor A</b>	<b>Setor B</b>	<b>Índice M entre setores</b>
Administração pública	Bancos	3.81 ± 1.15
Consultórios médicos	Dentistas	3.06 ± 0.65
Clínicas de Fisioterapia	Psicólogos	4.52 ± 1.97
Escola infantil	Escola fundamental e médio	4.29 ± 2.87
Escola técnica e superior	Escola de Idiomas	3.05 ± 2.06
Lojas de Calçados	Joalherias	3.00 ± 0.66
Lojas de Roupas	Lojas de Calçados	3.67 ± 0.56
Oficinas para veículos	Revenda de automóveis	2.94 ± 1.06
Postos de combustível	Lojas de conveniência	13.10 ± 4.86
Serviços de Eng. e Arq	Corretagem de imóveis	1.97 ± 0.25

Fonte: O Autor (2021)

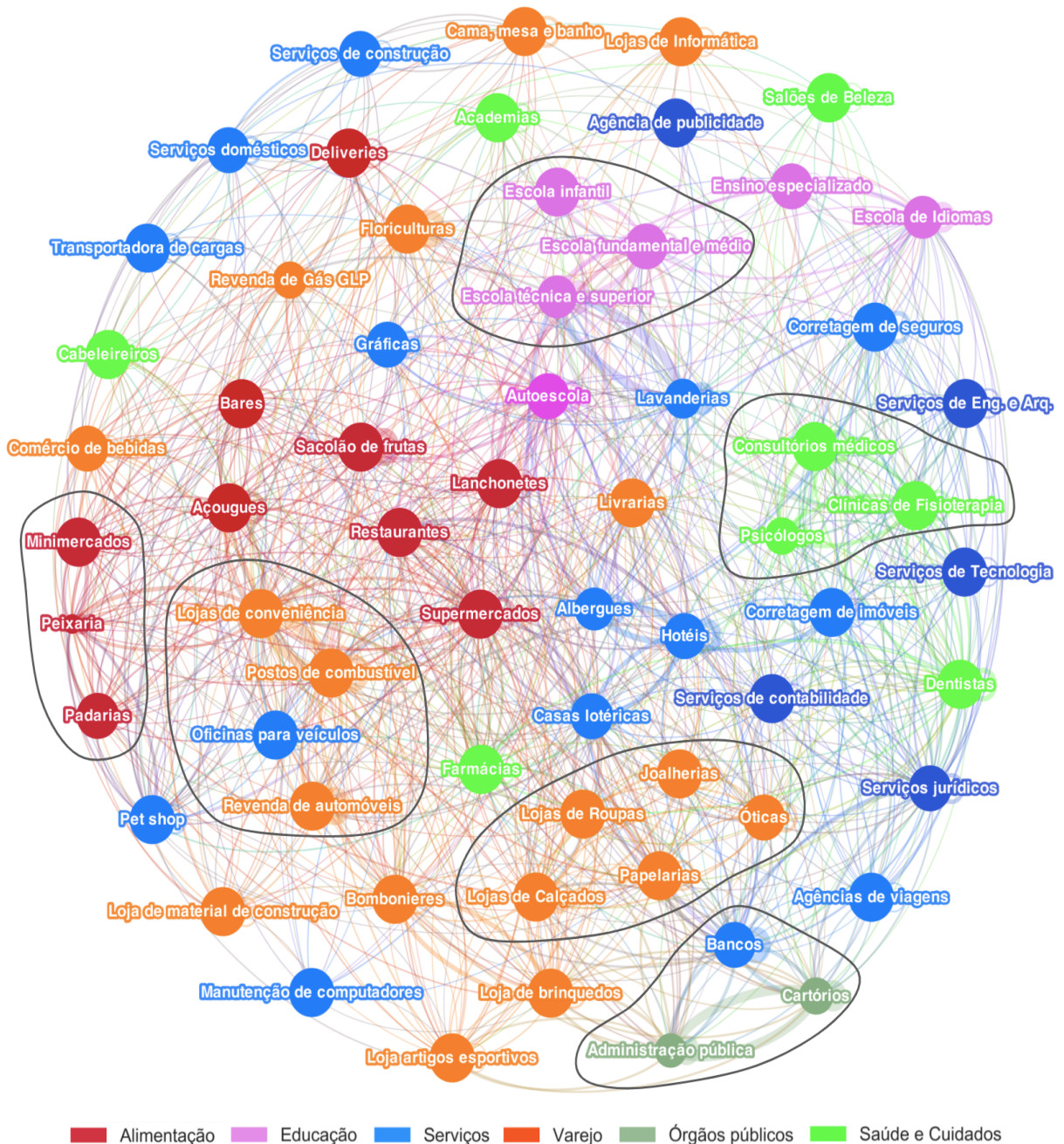
A figura 27 mostra uma rede conectando os setores com índices  $M > 1,30$ . As cores representam a categoria do setor. O algoritmo Force Atlas aproxima os setores com maiores coeficientes entre si. Aparecem relações de atração espacial em segmentos relacionados, com destaques em escolas (infantil, fundamental, média, superior), atividades com veículos (postos, oficinas, revenda de automóveis), comércio de moda (roupa, calçados, joalherias, ótica), saúde (médicos, psicólogos, fisioterapia) e serviços burocráticos (bancos, cartório, administração pública).

Categorias de setores (alimentação, varejo, educação, serviços) também tendem a se aproximar espacialmente. Podem existir diversas causas, como o oferecimento de necessidades em comum (alimentação), comércios especializados (moda) ou o agrupamento em prédios próximos (saúde).

A rede também divide indiretamente setores de escala sublinear e linear (inclinados à esquerda) daquelas superlineares (tendendo a direita), mostrando que atividades nos mesmos regimes concentram-se próximas. No regime superlinear agrupam-se possivelmente atividades mais centrais na cidade para atender necessidades mais complexas, enquanto em outros regimes as atividades aproximam-se diretamente dos consumidores frequentes.



Figura 27 - Rede de atração entre os setores econômicos em Londrina - PR



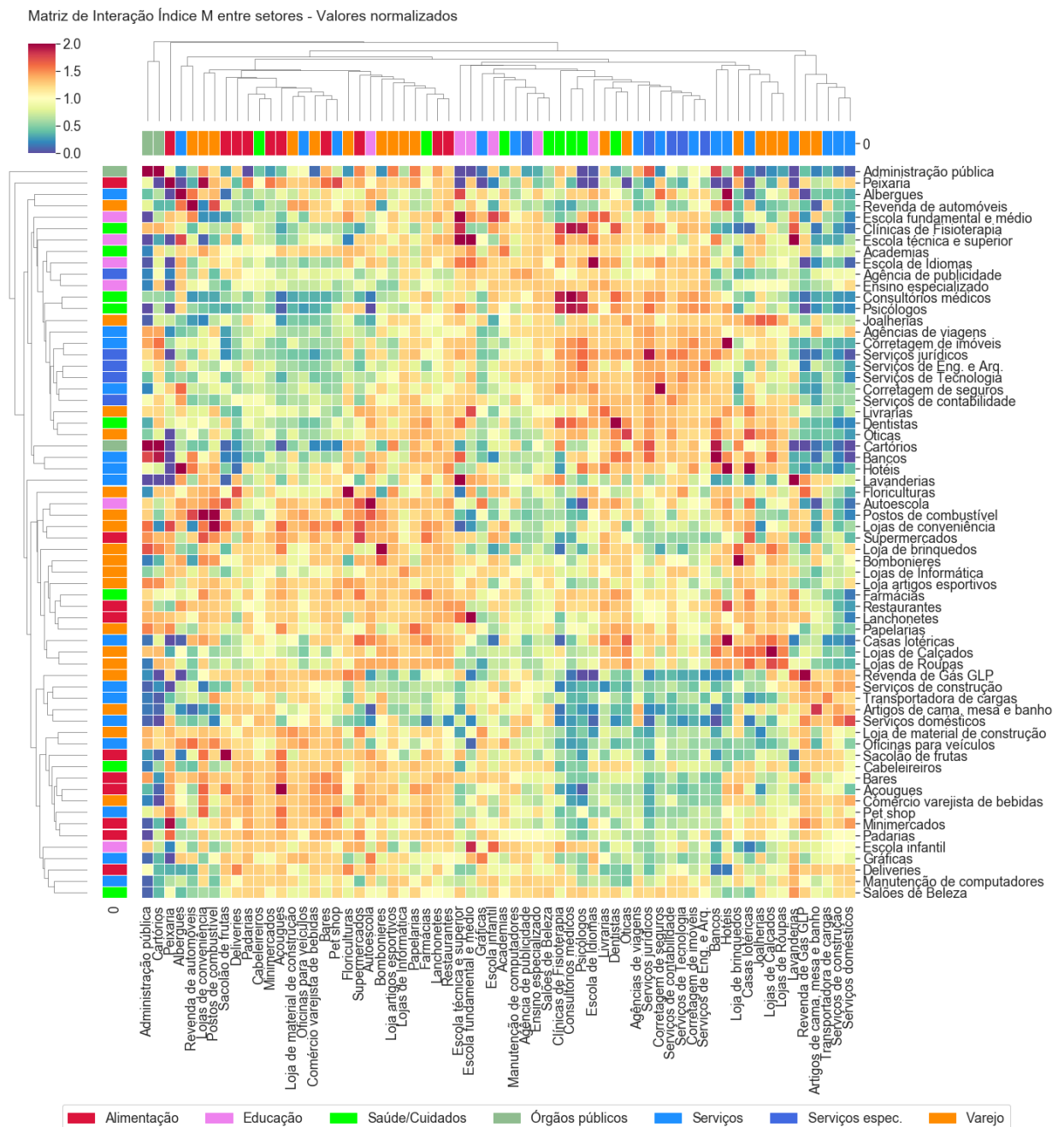
Fonte: O Autor (2021)

Quando comparados os 10 índices M selecionados com as demais cidades da amostra (Cascavel, Caxias do Sul, Joinville e Uberlândia), os mesmos se reproduzem dentro da margem de confiança em 80% dos casos (32 de 40 amostras). Pode ser uma evidência da universalidade da matriz de interação entre os setores econômicos (ou ao menos, daqueles com maior significância) entre as cidades.



A figura 28 mostra a intensidade das relações entre os setores econômicos de Londrina. Os valores acima de 1 foram normalizados, limitando 36 outliers ao valor de 5. Observam-se concentrações de setores que se aproximam ou afastam. As categorias (alimentação, educação, saúde, educação, serviços, varejo...) tendem a se aproximar, agrupando concentrações de ofertas de produtos e serviços relacionados. Os dendogramas representam valores similares.

Figura 28 - Matriz de interação entre os setores econômicos em Londrina - PR

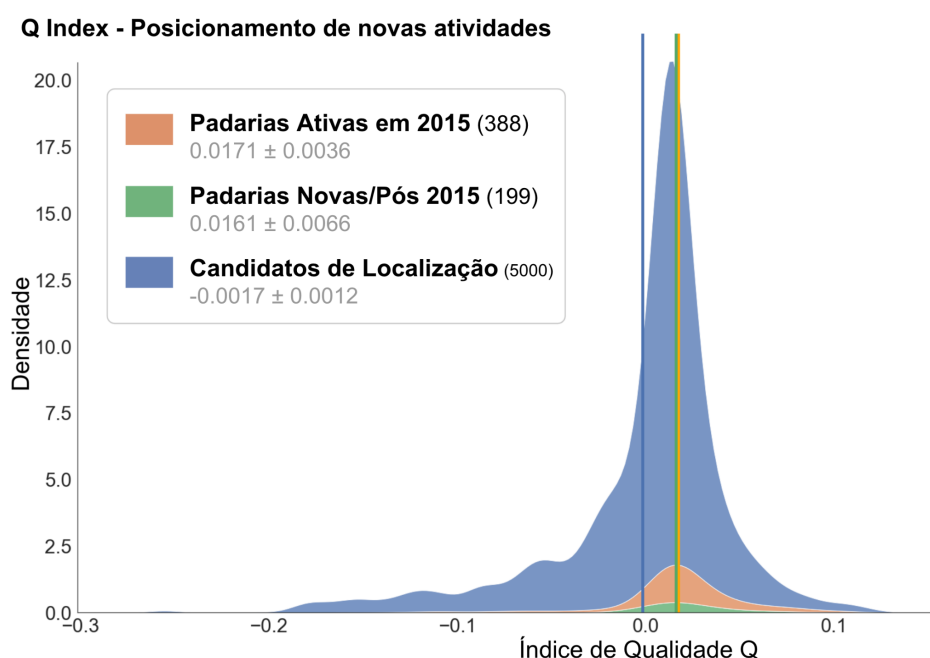


Fonte: O Autor (2021)

### 4.2.3 EXPLORAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE Q

O Índice-Q mede a qualidade de uma localização para uma determinada atividade, observando as categorias de suas atividades vizinhas e a afinidade da atividade para essas categorias. Verificamos a hipótese deste índice estar associado com a abertura de pontos e o sucesso dos mesmos. O teste é realizado de forma pontual no segmento de padarias da cidade (da mesma forma que JENSEN, 2009), partindo da matriz de interação entre as atividades de Londrina.

Figura 29 - Índice Q para novas padarias em relação a outras localizações

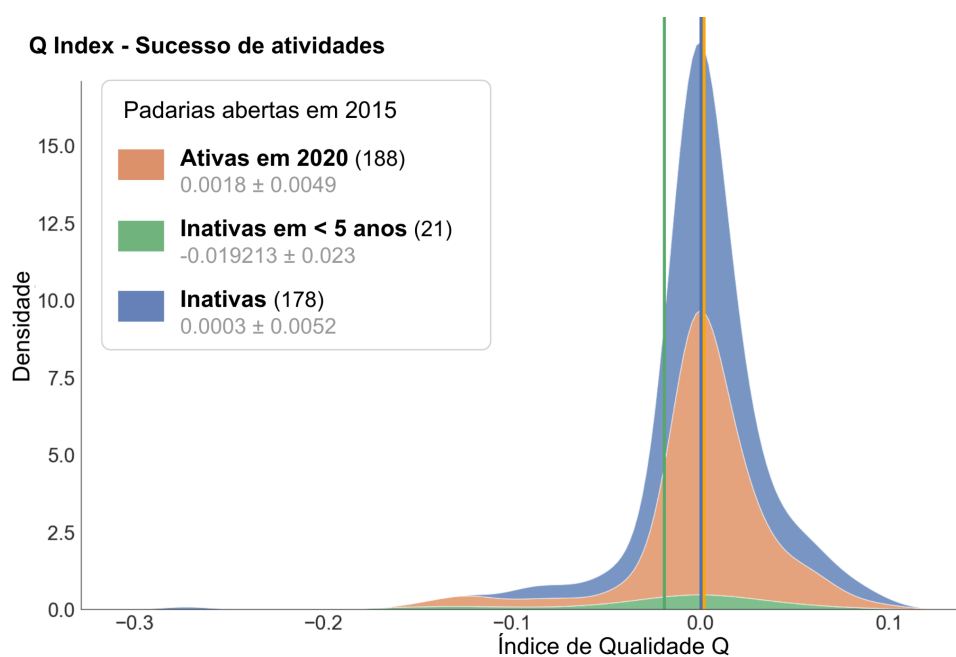


Fonte: O Autor (2021)

A figura 29 mostra que as novas padarias abertas após 2015 se assemelham na média da qualidade de localização em relação a outras padarias existentes. A média da qualidade destas está significativamente acima da média de uma amostra de 5.000 possíveis candidatos de localização contendo outras atividades. Assim, existem evidências que o índice Q consegue identificar localizações mais adequadas para um setor, considerando somente os tipos de vizinhos em 100 metros do ponto.

Adicionalmente, verifica-se o mesmo Índice Q entre as padarias que estavam abertas em 2015 e aquelas que fecharam após esta data. A figura 30 mostra que a qualidade das atividades fechadas é ligeiramente menor em relação às atividades que continuaram abertas, entretanto dentro do intervalo de confiança. A diferença se sobressai (porém ainda sem significância estatística) para as atividades que fecharam em menos de cinco anos após sua abertura, possivelmente aquelas proporcionalmente mais afetadas pela localização inadequada.

Figura 30 - Índice Q entre padarias que permaneceram abertas e fecharam



Fonte: O Autor (2021)

Outros fatores, embora além do escopo desta investigação, podem eventualmente contribuir para ajustes finos com o propósito de identificar com o índice Q localizações com maior chance de sucesso. Entre eles, a inclusão de atividades além do setor terciário, análise de outros raios do entorno, ponderação da matriz entre cidades e agrupamentos de atividades por setores econômicos afins.

## 4.3 CENTRALIDADES ESPACIAIS

### 4.3.1 ORGANIZAÇÃO DE CENTRALIDADES ESPACIAIS

Em “Centralidades” avaliam-se a distribuição das atividades econômicas nos espaços centrais, na escala micro-urbana de cidades. Os dados sobre a estrutura das cidades foram obtidos do Open Street Maps (2019). O tratamento das malhas viárias e valores de centralidades foram compartilhadas pelo pesquisador Leonardo de Lima com o propósito de estender as análises de correlação de atividades para os segmentos de atividades econômicas presentes nesta investigação.

As cidades analisadas foram escolhidas com os critérios da disponibilidade dos dados de centralidades e existência da localização das atividades econômicas com uma precisão satisfatória (acima de 80%) dentro das cidades. Conforme a tabela 6, consideraram-se cinco cidades de médio porte, em quatro estados.

Tabela 6 - Cidades analisadas para centralidades

Estado	Cidade	Habitantes	Segmentos de ruas	Atividades Ativas	Atividades geolocalizadas	Precisão Geo
PR	Londrina	569.733	20.11	67.263	60.349	90%
MG	Uberlândia	691.305	30.818	76.243	67.266	88%
SC	Joinville	590.466	16.794	70.681	62.261	88%
PR	Cascavel	328.454	12.919	43.579	37.676	86%
RS	Caxias do Sul	510.906	15.939	64.669	51.421	80%

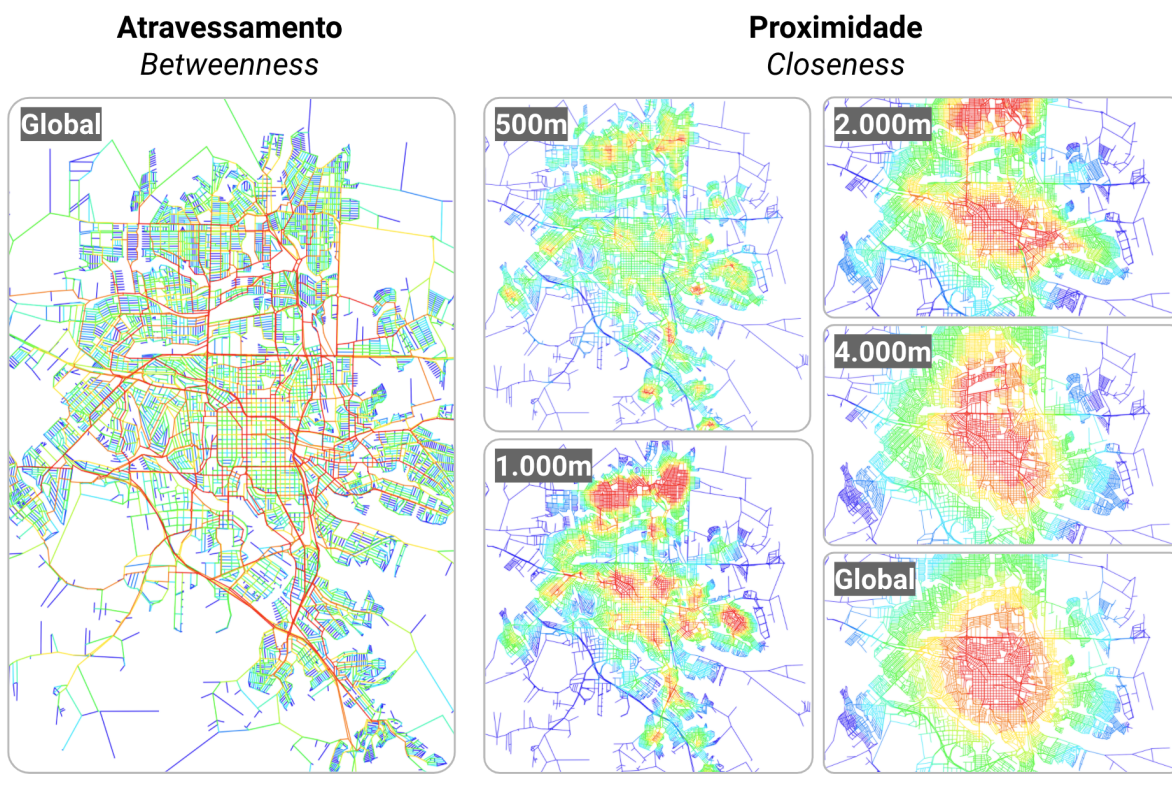
Fonte: O Autor (2021)

Cada cidade possui sua malha viária com os valores da centralidade de atravessamento (*betweenness centrality*) em raio global e proximidade (*closeness centrality*) em raio de 500 metros, 1.000m, 2.000m, 4.000m e global. Os trechos são calculados em formato geométrico, na menor granularidade do segmento de rua.

Realiza-se o tratamento para ordenar cada uma das centralidades em relação à sua cidade, normalizando valores absolutos para possibilitar uma comparação relativa entre as cidades. Os valores que abrangem ordens de grandeza passam a ser ordenados em 100 quantis, onde o primeiro quantil representa o 1% de trechos com menor valor da centralidade na cidade, o quantil “50” a mediana, o último quantil “100” o top-1% dos trechos.

A figura 31 mostra os mapas das seis centralidades em Londrina (PR), numa escala de dez decis. As centralidades de proximidade aumentam gradualmente nos centros locais para centros globais com o aumento do raio, enquanto a centralidade de atravessamento destaca as principais vias de movimentação na cidade.

Figura 31 - Centralidades para a cidade de Londrina - PR



Representação em decis relativos à cidade, de acordo com a centralidade dos locais



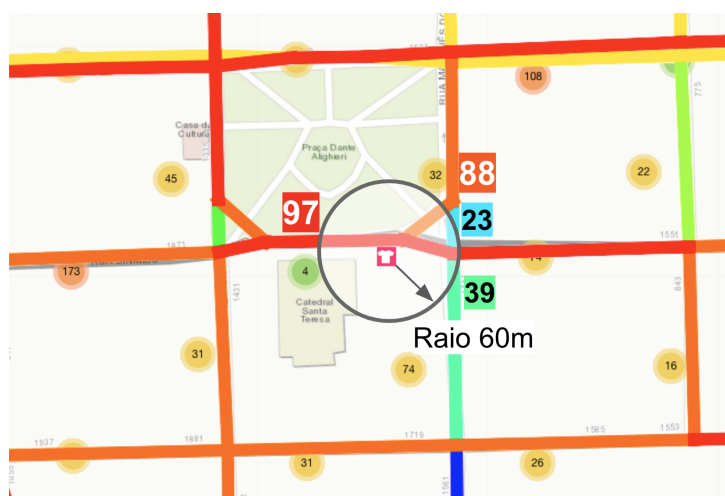
Fonte: O Autor (2021)

### 4.3.2 ASSOCIAÇÃO ENTRE ATIVIDADES E CENTRALIDADES

As atividades econômicas encontram-se numa camada distinta dos segmentos viários, sendo necessária uma heurística para associar ambas camadas. A literatura mostra métodos distintos, como um gradiente espacial dos valores (PORTA, 2009) ou contagem de atividades por trecho de rua (LIMA, 2015). Entretanto, ambos os métodos incluem parâmetros adicionais de densidade, ou dificultam a interpretabilidade das atividades nos segmentos individuais, limitando o contexto dessa investigação.

Assim, associa-se a atividade econômica diretamente com os valores de centralidade do seu trecho de rua correspondente. A escolha do segmento ocorre por meio do trecho com o maior valor num raio de 60 metros no entorno da atividade. O tamanho do raio garante que mesmo uma atividade posicionada no centro da quadra tenha uma correspondência viária, associando 99% das atividades. O raio abrangente reduz divergências de micro-posicionamento com maior precisão. Assume-se a premissa do movimento nesse entorno, preferindo o trecho com alta movimentação e evitando o viés de associar uma atividade central com um eventual trecho lateral. A figura 32 mostra o exemplo de uma loja de roupas com múltiplos segmentos próximos, sendo associado a aquele com o valor de “97” da centralidade:

Figura 32 - Atribuição de centralidade para a atividade econômica



Fonte: O Autor (2021)

### 4.3.3 CENTRALIDADES DE SETORES ECONÔMICOS

Observa-se inicialmente a posição das atividades econômicas nas centralidades. A tabela 7 mostra as centralidades específicas com o quantil médio das atividades econômicas e seu intervalo de confiança (95%). Por exemplo, a média das atividades na centralidade de atravessamento está no quantil  $75 \pm 1.56$ , significativamente acima da mediana (50). Cerca de 46% de todas as atividades se encontram no quartil superior ( $\geq 75$ ) desta centralidade. A comparação entre cidades contabiliza as atividades em cada cidade e a média entre as cinco cidades. A comparação entre atividades considera diretamente as atividades. Enquanto o intervalo de confiança possui melhor precisão na média por atividades, a média por cidades assegura a robustez da relação.

Escolhem-se as centralidades de atravessamento (global) e proximidade (500m e global) para seguir com as demais análises, especialmente por possuírem a menor correlação entre si e abrangerem aspectos distintos da dinâmica urbana.

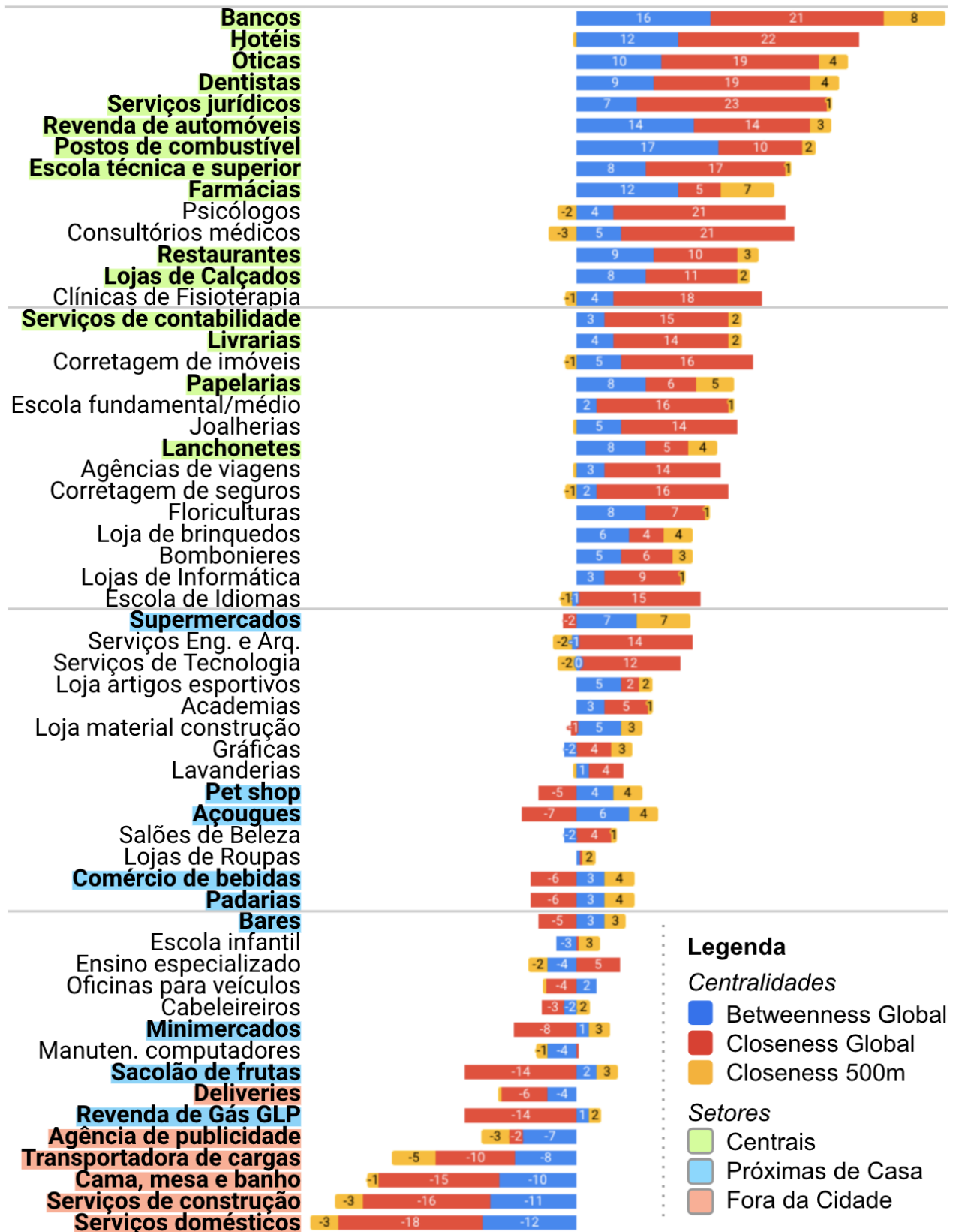
Tabela 7 - Posição das atividades econômicas em cada centralidade

Centralidade	Raio	Entre cidades	Entre atividades	% Quartil Sup.
Atravessamento (Betweenness)	Global	$75 \pm 3.42$	$75 \pm 1.56$	46.10%
	500m	$59 \pm 7.42$	$59 \pm 1.75$	28.50%
	1.000m	$66 \pm 6.13$	$66 \pm 1.60$	37.50%
Proximidade (Closeness)	2.000m	$70 \pm 6.03$	$69 \pm 1.64$	43.80%
	4.000m	$72 \pm 5.48$	$71 \pm 1.64$	47.60%
	Global	$74 \pm 4.33$	$73 \pm 1.66$	48.60%

Fonte: O Autor (2021)

O efeito das centralidades nos setores econômicos é comparado medindo o *delta* da posição daquele setor na centralidade em relação a média de todas as outras atividades na centralidade. A figura 33 mostra os setores de atividades econômicas (com mais de 250 amostras) e seus deltas para as centralidades. Deltas positivos mostram setores mais fortemente associados com a centralidade.

Figura 33 - Setores de acordo com deltas de centralidade



Fonte: O Autor (2021)



### **Centralidades**

As centralidades com deltas mostram padrões nos setores onde se destacam. A centralidade de atravessamento (*betweenness*) é destaque sobretudo em setores onde o movimento de pessoas parece ser primordial (postos de combustível, bancos, hotéis, farmácias, óticas, restaurantes, ensino superior).

A centralidade de proximidade (*closeness*) a curtas distâncias (500m) é relevante nas atividades cotidianas (padarias, lanchonetes, farmácias, mercados, açougue, *pet shop*), indicando locais preferenciais a esses negócios nos bairros.

A centralidade de proximidade (*closeness*) a longas distâncias (global) evidencia preferência dos setores super lineares (entre os 10 primeiros, 8 são super lineares: jurídicos, médicos, psicólogos, óticas, dentistas, fisioterapia, educação superior, corretagem). Estas atividades especializadas possivelmente buscam locais mais centrais na cidade para atender consumidores menos recorrentes.

### **Classificação de Setores**

Os setores também apresentam padrões com suas composições de deltas. Setores “centrais” possuem os três deltas positivos e podem ser considerados altamente dependentes da localização, como bancos, hotéis, óticas, dentistas, postos de combustível, escolas, farmácias, restaurantes e lojas de calçados.

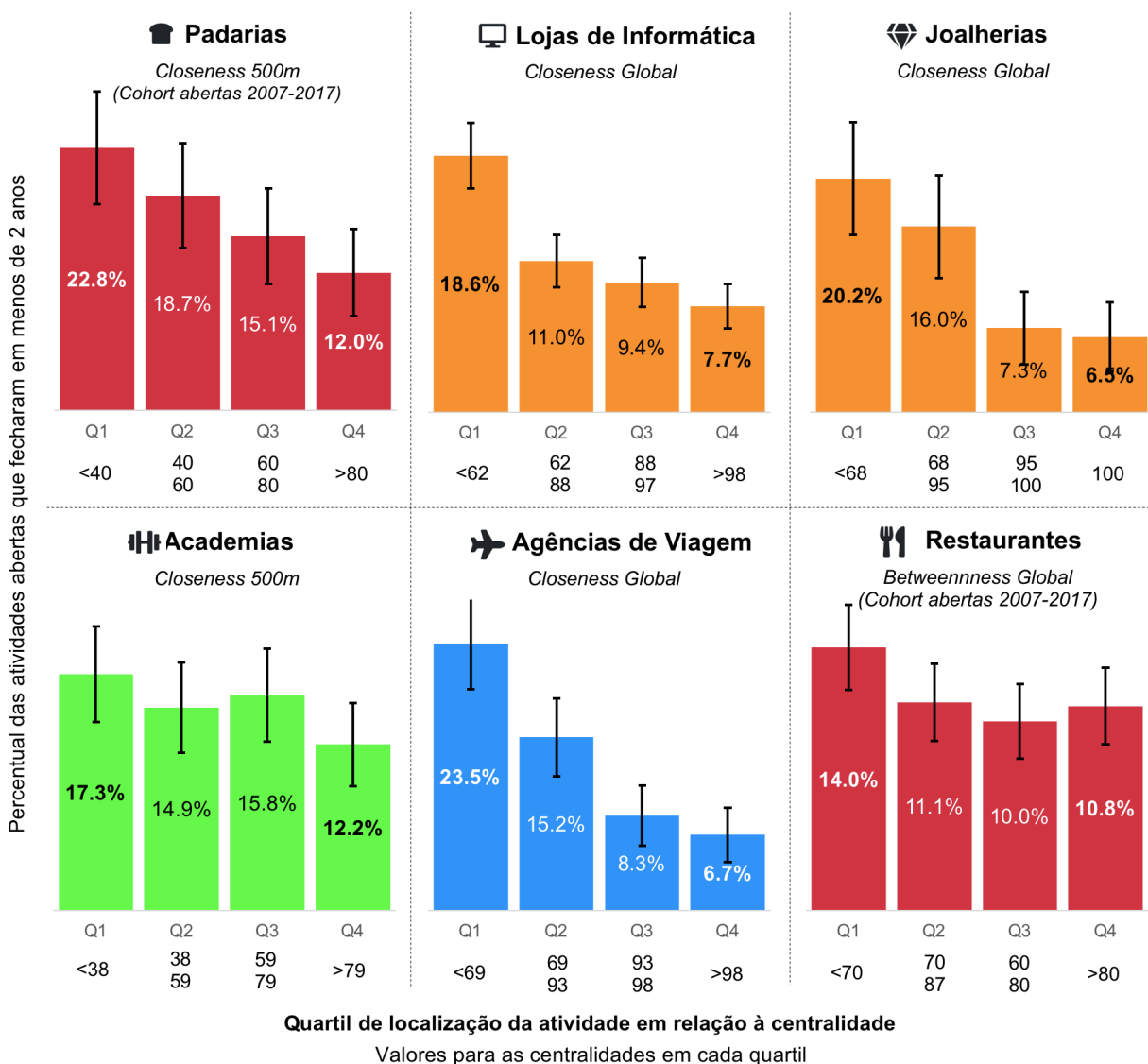
Setores “próximos de casa” mostram proximidade global negativa, entretanto proximidade a curta distância e atravessamento positivos. Contam com atividades como padarias, bares, bebidas, açougues, pet shop, mini mercados, sacolão de frutas e revenda de gás. Atividades distribuídas no território, mesmo que distante do restante da cidade, próxima aos consumidores, aproveitando o consumo recorrente.

Por fim, setores “afastados” possuem os três deltas negativos, revelando a preferência pelo afastamento das centralidades. São compostos de deliveries, agências, transportadoras, artigos de casa, construção e serviços domésticos, atividades que necessitam de espaço ou oferecem serviços externos. Possivelmente são viáveis economicamente fora dos centros, servindo os consumidores com a estrutura ou atendimento necessários enquanto mantém seus valores competitivos.

#### 4.3.4 EVIDÊNCIAS DA CENTRALIDADE PARA SUCESSO DA ATIVIDADE

Adicionalmente, explora-se a influência das centralidades no sucesso das atividades econômicas, conforme mostra a Figura 34. Utiliza-se o percentual das atividades que fecharam em menos de dois anos a partir da sua abertura como um proxy para possíveis problemas de localização. As atividades de cada setor são divididas em quatro quartis, ordenados por seus valores na respectiva centralidade.

Figura 34 - Setores selecionado e sucesso de atividades em relação à centralidade



Fonte: O Autor (2021)

Observa-se em alguns setores (por exemplo, padarias e lojas de informática) diferenças significativas entre as taxas de fechamento de atividades entre os quartis, sobretudo entre o primeiro e quarto. As centralidades que melhor respondem usualmente são aquelas com os deltas de localização mais positivos para o setor, como proximidade 500m para padarias e atravessamento global para joalherias.

Embora a relação seja construída para as atividades nas cinco cidades, o que aumenta o intervalo de confiança, por muitas vezes ela se mantém individualmente dentro de cada cidade, como o caso das padarias. Por exemplo, em Joinville a diferença de fechamento em padarias é 24% no primeiro quartil e 8% no quarto quartil. Pode também ser feito o corte para atividades abertas nos últimos 10 anos, que tendem a estar mais próximas do retrato atual da cidade. Neste caso, usualmente se aumenta a diferença entre fechamento por quartis (como mostra o gráfico da padaria em corte), porém com menor quantidade de amostra, também se reduz a precisão da estimativa.

Em comum, todos os setores com maiores diferenças de taxa de sucesso por localização parecem ser aqueles usualmente abertos por empreendedores individuais. Outros setores seguem a mesma tendência, embora que com menores diferenças de fechamento em relação a localização. Por exemplo, bancos possuem uma média de fechamento de 4% nos três primeiros quartis, enquanto 2% no quarto. Podem indicar que a localização ainda é importante, porém a abertura dos pontos com maior diligência evita seu posterior fechamento por problemas de localização.

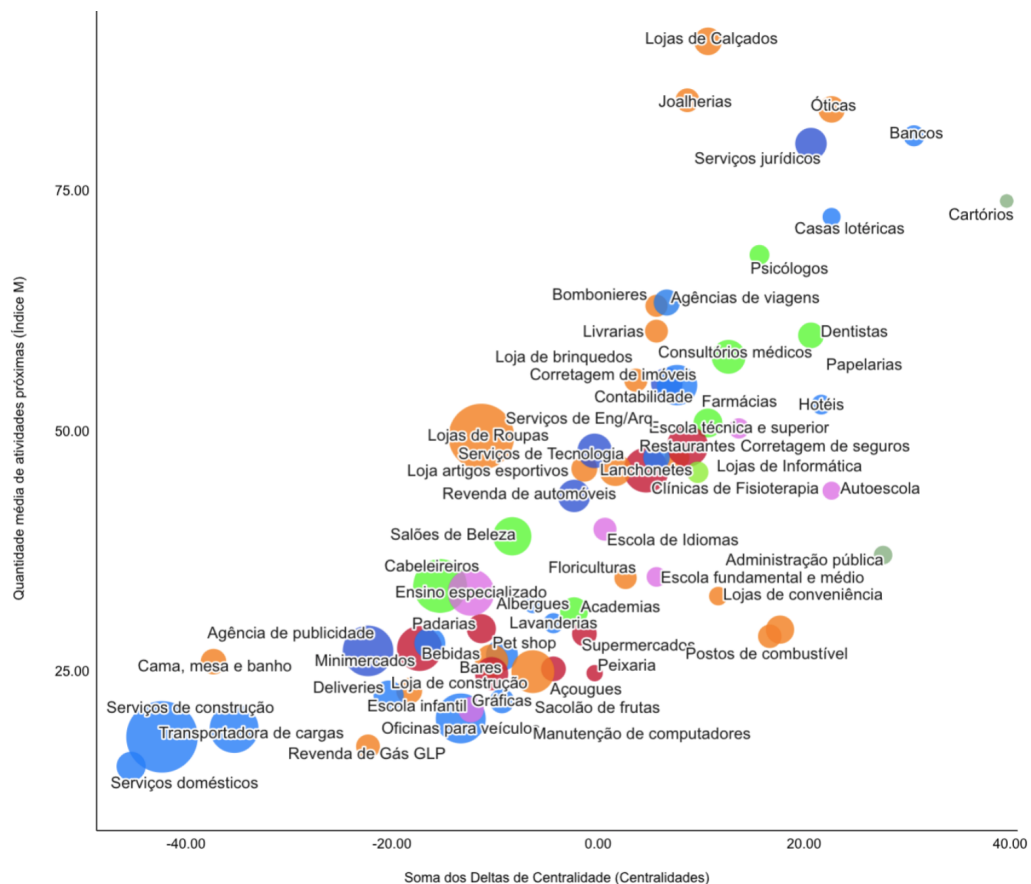
## 4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.4.1 CONVERGÊNCIA ENTRE MODELOS DE LOCALIZAÇÃO

As associações mais fortes de resultados dos três modelos ocorrem entre as Centralidades e Índice-M; e entre as Centralidades e Leis de Escala. Logo, pode-se fechar um triângulo conectando os três modelos e pressupor mecanismos comuns originando estes comportamentos.

A figura 35 relaciona a soma dos deltas das centralidades (Centralidades) e a quantidade média de atividades no entorno de cada setor (Índice M). De fato atividades mais centrais na cidade tendem a existir em aglomerações e possuir mais vizinhos, com correlação entre ambas as séries de  $\rho=0.72$ . Setores mais centrais e com mais vizinhos incluem lojas de calçados, joalherias, óticas, bancos e cartórios.

Figura 35 - Relação entre deltas de Centralidades e vizinhos do Índice M



Fonte: O Autor (2021)

Observou-se anteriormente que setores considerados “próximos de casa” tendem a possuir delta negativo para centralidade de proximidade global e positivo para centralidade de proximidade a 500m e atravessamento. Com essa informação, mede-se o indicador P (“próximos a casa”), conforme a equação:

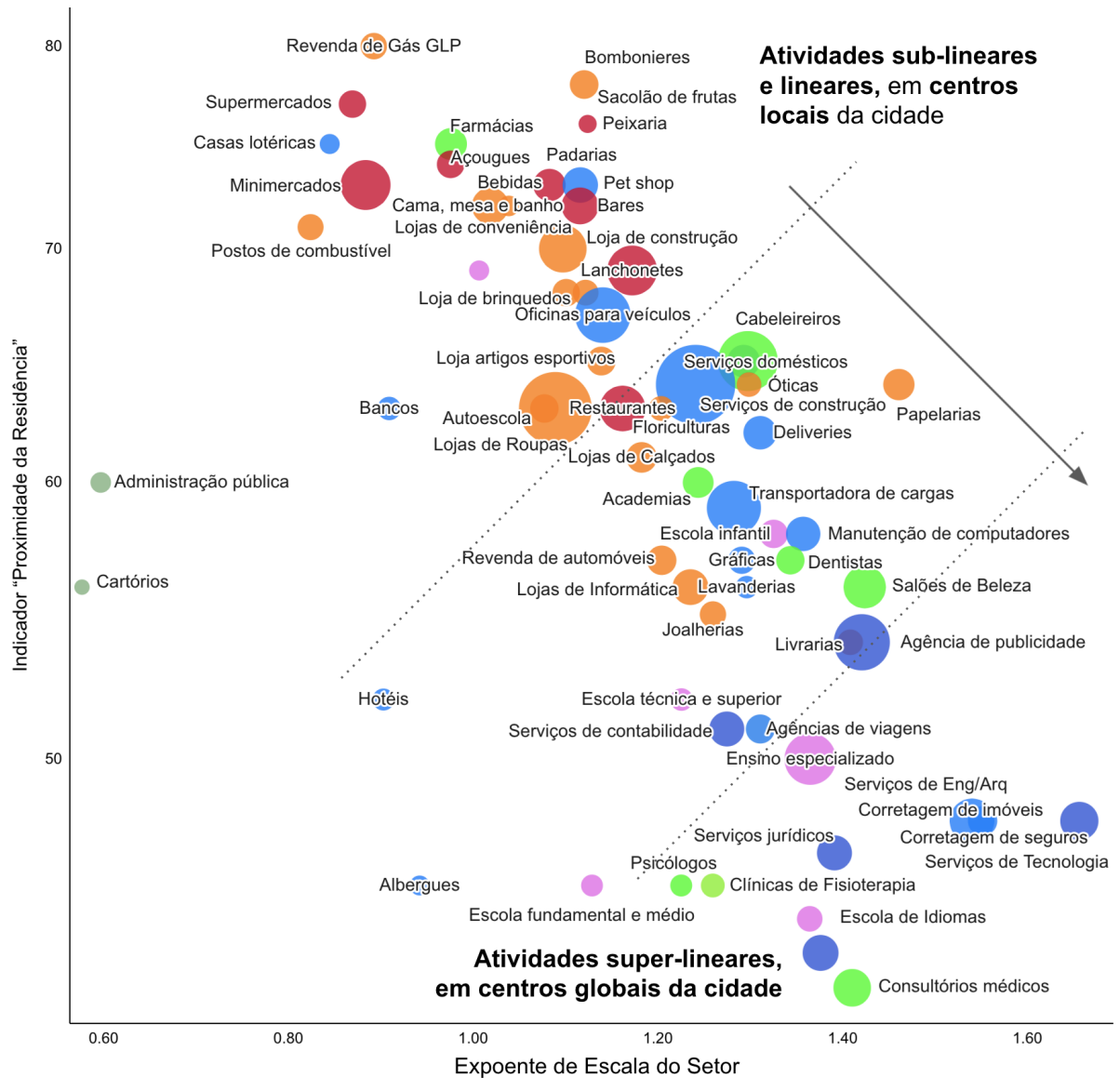
$$P(\text{setor}) = \Delta_{\text{proximidade},500\text{m}} + \Delta_{\text{atravessamento}} - \Delta_{\text{proximidade},\text{global}} \quad (4)$$

A figura 36 mostra a relação entre a proximidade da casa com os valores dos expoentes de escala das atividades econômicas. O tamanho da bolha representa o número de atividades no setor. As séries possuem correlação de  $\rho = -0.53$ , que aumenta para  $\rho = -0.65$  sem os outliers da administração pública e cartórios, usualmente os dois setores menos sujeitos a leis de mercado.

Esta relação mostra que as atividades sub-lineares, lineares e super-lineares até  $\beta \approx 1.20$  e  $P > \approx 60$  tendem a se distribuir no território, afastando-se das centralidades globais e buscando localizações atrativas nas centralidades locais. Estas atividades usualmente possuem produtos e serviços de consumo frequentes (padarias, supermercados, lanchonetes, pet shop e postos de combustível...), podendo ser proveitoso estar próximo de um conjunto de consumidores recorrentes.

Por outro lado, atividades mais super-lineares de  $\beta > \approx 1.20$  e  $P < \approx 60$  aproximam-se dos centros globais, concentrando-se no território. Sobretudo serviços especializados (por exemplo, jurídicos, engenharia, arquitetura, tecnologia e consultórios médicos) de consumo menos frequente, nos quais pode ser mais produtivo estar próximo a grandes quantidades de consumidores, menos sensíveis a este deslocamento ocasional. Ainda, estar próximo a negócios complementares (por exemplo, médicos, dentistas e fisioterapia) pode ser positivo para as operações da atividade e aos seus consumidores.

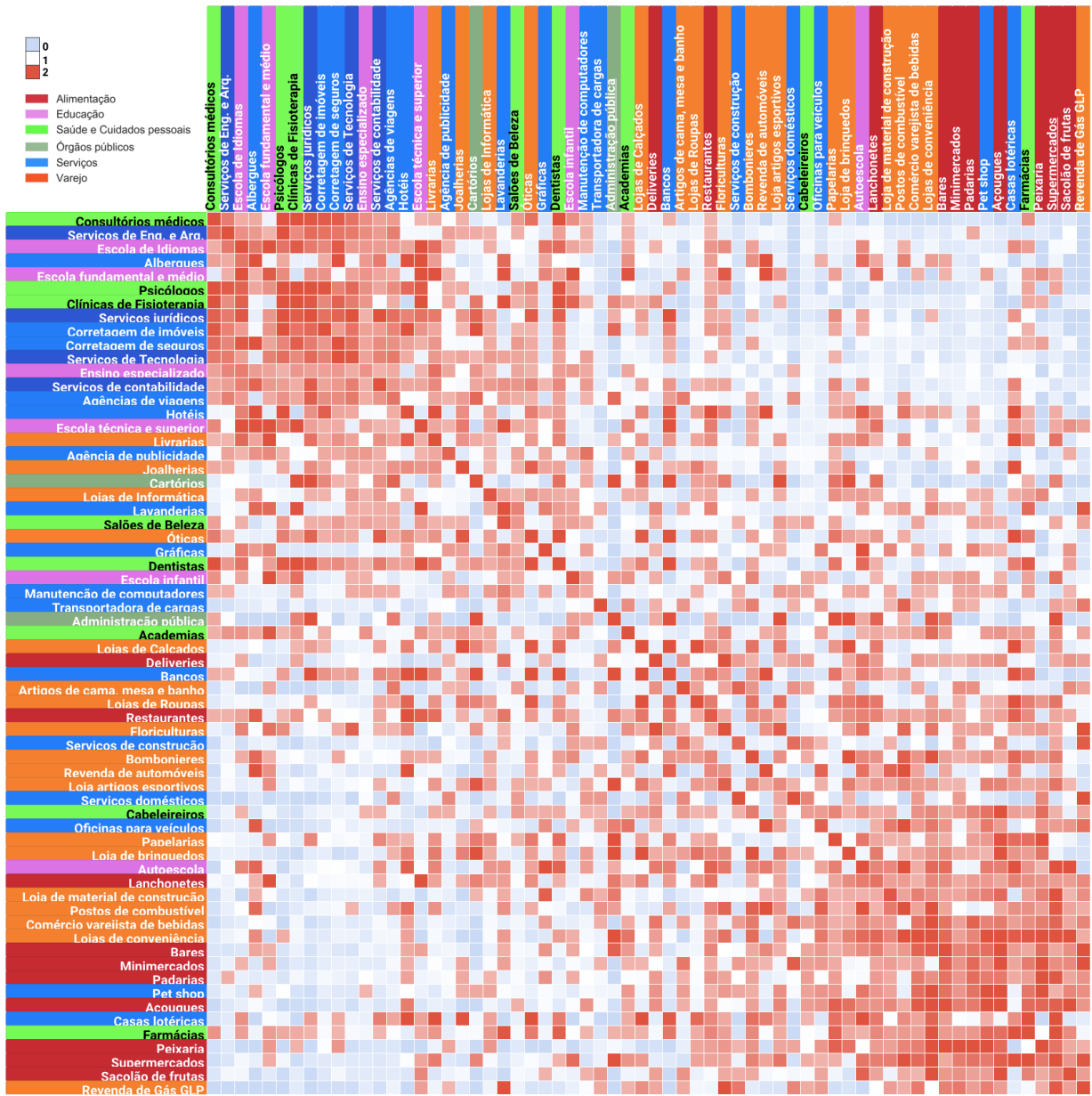
Figura 36 - Relação entre “próximos de casa” de Centralidades e Leis de Escala



Fonte: O Autor (2021)

Igualmente, os modelos de Centralidades e Índice-M se associam por meio dos segmentos “próximos a casa”. A figura 37 mostra esta relação na matriz de interação, ordenando os segmentos pelo indicador P em ambos os eixos. As duas concentrações de Índices  $M > 1$  (normalizados como na figura 28) nas diagonais mostram a inclinação de atividades centrais no território (como saúde e serviços especializados) estarem próximas entre si, repetindo o mesmo comportamento para as atividades distribuídas na extensão do território (especialmente alimentação e varejos básicos).

Figura 37 - Relação entre “próximos de casa” de Centralidades e matriz do Índice M



Fonte: O Autor (2021)

#### 4.4.2 MECANISMOS DA DINÂMICA URBANA

Em última instância, os modelos analisados possivelmente consideram os mesmos mecanismos da dinâmica urbana, ainda que sob pontos de vista distintos. Presume-se que a (i) população, (ii) nível de especialização da atividade e (iii) movimento eventualmente são mecanismos comuns e subjacentes aos modelos.

A população, primordial para a existência da atividade econômica, conecta os três modelos. As Leis de Escala empregam explicitamente a população da cidade. As Centralidades mantêm a população implícita no movimento das redes urbanas. O Índice M relaciona negócios do entorno e indiretamente sua população consumidora.

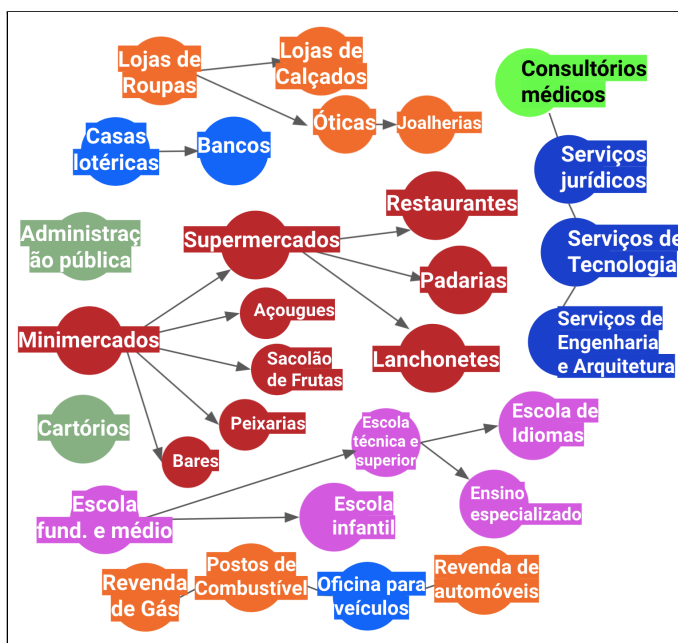
O nível de especialização da atividade é comum entre as Leis de Escala e as Centralidades. O primeiro pressupõe regimes de escalonamento e o segundo distingue a distribuição no território entre atividades comuns e especializadas. Esta complexidade da atividade também parece associada com a recorrência do consumo e a sensibilidade do consumidor ao movimento para buscar a atividade.

O movimento interliga as Centralidades e o Índice-M. As centralidades possuem o movimento em seu âmago, assumindo padrões de deslocamento sobre o território a partir da morfologia urbana. O Índice M considera atividades no entorno, onde possivelmente a primeira ordem são todos os movimentos comuns existentes.

#### 4.4.3 SURGIMENTO E ESPECIALIZAÇÃO DE ATIVIDADES ECONÔMICAS

Os modelos analisados possuem sinergia com as ideias de Jane Jacobs (1961) sobre o surgimento e especialização dos trabalhos nas cidades. A figura 38 mostra conceitualmente a criação de novas atividades a partir das existentes.

Figura 38 - Conceito de surgimento e especialização de atividades



Fonte: O Autor (2021) , adaptado de Jacobs (1961)



As Leis de Escala mostram a evolução dos trabalhos, presumindo que as cidades iniciam com maior proporção de atividades sub-lineares para atender a infraestrutura e gradualmente passam a se especializar em atividades mais complexas. Desta forma, uma pequena cidade onde existem apenas minimercados poderia na medida que cresce especializar essa oferta em supermercados, açougues e peixarias. Assim como uma metrópole especializa seus restaurantes em temáticas e culinárias diversas.

O Índice M se associa com a divisão dos trabalhos. A matriz de atração indica que atividades semelhantes tendem a se agrupar espacialmente próximas, como se estas estivessem se complementando a partir de um “trabalho a ser feito” (*job to be done*). Por exemplo, uma cidade que dispõe somente de uma loja de roupas atende ali as necessidades de vestuário. Existe uma chance considerável da loja de sapatos surgir ao lado desta loja de roupas, mostrando a diversificação dos trabalhos e ofertas complementares disponíveis. Jacobs (1961) denomina o *spillover effect*, um “transbordamento” de conhecimento quando atividades de um setor se concentram.

O modelo de Centralidades mostra preferência de localizações intra-urbana para atividades em centralidades locais (atividades cotidianas) e centralidades globais (atividades especializadas). Esses resultados estão na linha da economia urbana e da teoria do lugar central (CHRISTALLER, 1966) que prevê hierarquias de locais mais centrais onde se concentram as atividades mais complexas e especializadas. Adicionalmente, o modelo gravitacional de Huff (ANDERSON, 2011) mostra que a maior sensibilidade dos consumidores aos deslocamentos cotidianos posiciona as atividades de consumo recorrente e menos complexas mais próximas às suas residências.

Por fim, os modelos apresentam indícios de contribuições para a tomada de decisões locacionais. Em escala intra-urbana, os Índices M e Q mostram que o *mix* de novas localizações abertas se assemelha àquelas existentes. As Centralidades apontam preferência dos segmentos de atividades a determinadas centralidades, onde alguns possuem significativamente maior sucesso em atividades mais centrais. As Leis de Escala indicam segmentos mais oportunos entre cidades.

# CONCLUSÃO

Os presentes resultados confirmam as hipóteses iniciais propostas na pesquisa. As três abordagens medem a distribuição espacial para segmentos de atividades econômicas brasileiras, ressaltando a enorme relevância da localização. Cada modelo aporta aspectos distintos em granularidades diversas do território, ainda assim com possível convergência de mecanismos comuns.

As Leis de Escala mostram regimes de escalonamentos para as atividades compatíveis à literatura. Os expoentes são sub-lineares nas atividades associadas com a estrutura urbana, ligeiramente super-lineares em necessidades como varejo e alimentação, e super-lineares em atividades e serviços mais especializados. A evolução de metade desses expoentes segue constante durante as últimas décadas. Existem indícios da especialização das atividades sempre crescente nas cidades.

O Índice M revela padrões de isolamento e aglomeração das atividades por meio da quantidade de vizinhos no entorno de cada atividade. Existe atração e repulsão entre segmentos econômicos, expostos na matriz dos índices entre as atividades de Londrina-PR. Diversos segmentos com produtos e serviços em comum encontram-se próximos especialmente, conforme mostra a rede de agrupamentos. O Índice Q de qualidade caracteriza significativamente os pontos onde se abriram novos estabelecimentos do segmento de padarias em relação a outros pontos candidatos, porém existem menos indícios para identificar o sucesso da localização.

O modelo de centralidades indica que atividades tendem a se localizar em posições centrais da cidade. Num geral, segmentos dependentes de movimento possuem maiores deltas de centralidade de atravessamento em relação à cidade, atividades cotidianas mostram maiores deltas para proximidade de 500m e atividades especializadas se destacam em proximidade global. Revelam-se um conjunto de atividades “próximas de casa” de consumo recorrente, próximas a centralidades locais em detrimento de globais. Existem evidências que as centralidades indicam o sucesso da localização de alguns setores, onde atividades posicionadas em locais menos centrais possuem maiores taxas de fechamento.

Existem convergências entre as abordagens. As Centralidades conectam de forma mais direta os outros dois modelos, com a tendência das atividades centrais possuírem mais atividades vizinhas; e de atividades distribuídas no território possuírem escalonamentos menores. Acredita-se que os elementos da população, especialização da atividade e movimentos são mecanismos da dinâmica urbana em comum entre os modelos. As três linhas seguem ao encontro das ideias de Jane Jacobs e da economia urbana, mostrando o surgimento, especialização e distribuição espacial das atividades.

Empreendedores e planejadores urbanos podem usar aspectos desses modelos para eventualmente tomar decisões mais assertivas sobre a localização de suas atividades e elaboração de políticas públicas. Para decisões de empreendimentos, seria muito relevante construir índices como a atratividade da localização<sup>5</sup>, que elucidem as respostas de localização, além de ferramentas como aplicativos de mapas para alavancar a aplicação e o impacto do conhecimento.

A abordagem da ciência das cidades se mostra evidente na distribuição das atividades econômicas brasileiras, com modelos de sistemas complexos unindo de forma interdisciplinar a física, geografia e economia urbana. Os resultados são promissores, mas ainda há um grande caminho para unificar estes princípios em modelos mínimos e universais de distribuição espacial das atividades econômicas.

Executar este trabalho possibilitou conectar sistemas complexos e cidades, proporcionando novas perspectivas a problemas tradicionais. Pessoalmente, o mesmo contribuiu para expandir conhecimentos e visão do tema. Entre avanços na ciência das cidades e impactos para as pessoas, fica a certeza que há muito potencial a ser explorado.

---

<sup>5</sup> Este índice poderia contribuir para encontrar melhores locais e regiões para uma atividade, ou inversamente, melhores atividades ao ponto. O desafio é combinar informações e modelos capazes de produzir previsões robustas e universais, evidenciando a importância da ciência das cidades.

# REFERÊNCIAS

- ANDERSON, James. *"The Gravity Model"*. Annu. Rev. Econ. 2011.3:133-160.
- ANSELIN, Luc. **Spatial Econometrics: Methods and Models**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. 294p.
- BETTENCOURT, Luis. et al. *"Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities"*. PNAS, v. 104(17), p. 7301–7306, apr 2007.
- BARABASI, Albert-László. **Linked: How everything is connected to everything else and what it means for business, science and everyday life**. New York: Basic Books, 2014.
- BARTHELMY, Marc. **The Structure and Dynamics of Cities: Urban Data Analysis and Theoretical Modeling**. Cambridge University Press. 2017.
- BAPTISTELLA, Marisa. *"O uso de redes neurais e regressão linear múltipla na engenharia de avaliações: Determinação dos valores venais de imóveis urbanos"*. Dissertação de mestrado. Ciências Exatas e Tecnologias, UFPR – PR, 2005.
- BATTY, Michael. **The New Science of Cities**. MIT Press (MA). 2013.
- BRUSILOVSKIY, Eugene. *"Spatial Regression: A Brief Introduction"*. Philadelphia: Business Intelligence Solutions, 2009. Disponível em: <<http://www.bisolutions.us/A-Brief-Introduction-to-Spatial-Regression.php>>. Acesso em: 04 out 2017.
- CNAE. **Classificação nacional de atividades econômicas**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <<https://concla.ibge.gov.br/classificacoes/por-tema/atividades-economicas/classificacao-nacional-de-atividade-economica.html>> Acesso em 9 de novembro de 2020.
- CHRISTALLER, W. **Central Places in Southern Germany**, New Jersey, Prentice-Hall, 1966, Parte B.
- DANTAS, Rubens Alves. **Engenharia de Avaliações: Uma introdução à metodologia científica**. São Paulo: PINI, 1998. 255p.
- EPSTEIN, Joshua. *"Why Model?"*. Journal of Artificial Societies and Social Simulation vol. 11, no. 4 12. 2008.
- FOREMAN, John. **Data Smart: Using Data Science to Transform Information into Insight**. Indianapolis: John Wiley & Sons Inc., 2014. 409p.
- GEM, Global Entrepreneurship Monitor. **2019/2020 Global Report**. London: Global Entrepreneurship Research Association. Disponível em <<https://www.gemconsortium.org/report>>. Acesso em 23 de outubro de 2020.
- GLAESER, Edward. **Triumph of the City**. New York: The Penguin Press. 2011.

GONZÁLEZ, Marco Aurélio Stumpf. **A Engenharia de Avaliações na Visão Inferencial**. São Leopoldo: Editora UNISINOS, 1997. 142p.

HERMIDA, Augusta et al. **La ciudad es esto: Medición y representación espacial para ciudades compactas y sustentables**. Ecuador: Universidade de Cuenca, 2015. 172p.

HERNÁNDEZ, Tony; BENNISON, David (2000), "**The art and science of retail location decisions**", International Journal of Retail & Distribution Management, Vol. 28 Iss: 8 pp. 357 – 367

HIDALGO, Cesar; CASTAÑER, Elisa; SEVETSUK, Andres. "**The amenity mix of urban neighborhoods**". Habitat International. 2020.

HIDALGO, Cesar. "**The Product Space Conditions the Development of Nations**". Science Vol. 317, Issue 5837, pp. 482-487. DOI: 10.1126/science.1144581. 2007.

HILLER, Bill. **Space is the Machine: A Configurational Theory of Architecture**, Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 463p.

HYEJIN, Youn, Bettencourt LMA, Lobo J, Strumsky D, Samaniego H, West GB. 2016 "**Scaling and universality in urban economic diversification**". J. R. Soc. Interface 13: 20150937. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2015.0937> . 2016.

HONG, Inho; FRANK, Morgan; RAHWAN, Iyad; JUNG, Woo-Sung; YOUN, Hyejin. "**A common trajectory recapitulated by urban economies**". arXiv:1810.08330v1 [physics.soc-ph]. 2018.

IBGE. **Demografia das Empresas e Empreendedorismo 2017**. Rio de Janeiro: Agência IBGE Notícias. 2013. Disponível em <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25738-demografia-das-empresas-e-empreendedorismo-2017-taxa-de-sobrevivencia-foi-de-84-8>>. Acesso em 25 de outubro de 2020.

\_\_\_\_\_. **Divisão Regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões**. 1990. Disponível em < [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv2269\\_1.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv2269_1.pdf)>. Acesso em 20 de março de 2021.

IGNAZZI, Cosmo. "**Scaling laws, economic growth, education and crime: Evidence from Brazil**". Dynamics of the city systems and the territories 2014-4 p 1-14. 2014.

JACOBS, Jane. **The Death and Life of Great American Cities**. New York: Random House. 1993 [1961].

JENSEN, Pablo. "**Network-based predictions of retail store commercial categories and optimal locations**". Physical Review E 74. 2006

KAHNEMAN, Daniel. **Thinking, Fast and Slow**. New York: Farrar Straus Giroux, 2012. 499p.

KEEN, Steve. **Debunking Economics**. London: Zed Books. 2011.

LANCASTER, Kelvin. "**Consumer Demand: A New Approach**". New York: Columbia University Press, 1971.

LIMA, Leonardo da Silva. **“Centralidades em Redes Espaciais Urbanas e Localização de Atividades Econômicas”**. Dissertação. Mestrado em Ciências. Programa de Pós Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2015.

OPEN STREET MAPS, Contribuidores. **“OSM Data”**. [S.l], 2018. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org/export>>. Acesso em: 15 jul 2020.

NETSCIED. **Network Literacy: Essential Concepts and Core Ideas**. 2016.

MARCON, Eric; PUECH, Florence. **“A typology of distance-based measures of spatial concentration”**. Sciences de l'Homme et de la Société halshs-00679993v6. 2012.

MEIRELLES, João. **Leis de Escala em Cidades**. Dissertação. Mestrado em Ciências. Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

MONASTERIO; CAVALCANTE. **Fundamentos do pensamento econômico regional**. In: CRUZ et. al (Org.). Economia Regional e Urbana: teorias e métodos com ênfase no Brasil. Rio de Janeiro: IPEA, 2011, p.43-77. Disponível em: < <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/3008> >. Acesso em 27 set 2020.

NETTO, Vinicius. **“Jane Jacobs: a trajetória depois de Morte e Vida das Grandes Cidades”**. Caos Planejado. Disponível em <<https://caosplanejado.com/jane-jacobs-a-trajetoria-depois-de-morte-e-vida-das-grandes-cidades/>>. 2016. Acesso out 2018.

NEWMAN, Mark. **Networks: An Introduction**. OUP Oxford. 2010.

O’SULLIVAN, Arthur. **Urban Economics**. 8th Ed. New York: McGraw-Hill, 2011

PETERSON, Mark. **“Galileo’s Discovery of Scaling Laws”**. American Journal of Physics, v. 70, n. 6, p. 575–580, 2002.

PORTA, Sergio; IACOVIELLO, Valentino; STRANO, Emanuele; LATORA, Vito. **“Street Centrality and Densities of Retail and Services in Bologna, Italy”**. DOI: 10.1068/b34098. Environment and Planning B Planning and Design · October 2009

PROVOST, Foster; FAWCETT, Tom. **Data Science for Business: What You Need to Know about Data Mining and Data-Analytic Thinking**. Sebastopol: O’Reilly Media, 2013. 414p.

RECEITA, Receita Federal. **Dados públicos CNPJ**. Disponível em <<http://receita.economia.gov.br/orientacao/tributaria/cadastros/cadastro-nacional-d-e-pessoas-juridicas-cnpj/dados-publicos-cnpj>>. Acesso em 17 de julho de 2020.

RIBEIRO FL, MEIRELLES J, FERREIRA FF, NETO CR. 2017 **“A model of urban scaling laws based on distance-dependent interactions.”** R. Soc. open sci. 4: 160926. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.160926> . 2017.

ROSEN, Sherwin. **“Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation Perfect Competition”**. Journal of Political Economy 82, p 34-55, 1974.

- RUEDA, Salvador. **Plan de indicadores de sostenibilidad urbana de Vitoria-Gasteiz**. Agência de Ecologia Urbana de Barcelona: Barcelona, 2010. 477p.
- RUMELT, Richart. **Good Strategy/Bad Strategy: The Difference and Why It Matters**. London: Crown Business, 2011. 322p.
- SERASA. **Indicadores econômicos**. Disponível em <<https://www.serasaexperian.com.br/amplie-seus-conhecimentos/indicadores-economicos>>. Acesso em 25 de outubro de 2020.
- SEBRAE. **Pesquisa Causa Mortis**. São Paulo: Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de São Paulo. 2014. Disponível em <[https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/SP/Anexos/causa\\_mortis\\_2014.pdf](https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/SP/Anexos/causa_mortis_2014.pdf)> Acesso em 24 de outubro de 2020.
- SIEGEL, Eric. **Predictive Analysis: The power to predict who will click, buy, lie or die**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2016. 332p.
- MITCHELL, Melanie. **Complexity: A Guided Tour**. Oxford University Press : USA. 2009.
- WILENSKY, U. & Rand, W (2015) **An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo**. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- WILSON, Alan G. —. 2008. “**Boltzmann, Lotka and Volterra and Spatial Structural Evolution: An Integrated Methodology for some Dynamical Systems**”, *Journal of the Royal Society Interface*, 5(25), 865–871.
- WEST, Geoffrey; BETTENCOURT, Luis. “**Unified theory of urban living**”, *Nature*, Vol 467. 2010.