

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

Indicador de hierarquia regional

Dissertação de mestrado

Fernando dos Santos Calvetti

Arquiteto e urbanista

Prof.^a Dr.^a Clarice Maraschin

Orientadora

Porto Alegre, dezembro de 2016.



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

Indicador de hierarquia regional

AUTOR: FERNANDO DOS SANTOS CALVETTI

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a CLARICE MARASCHIN

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR, Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Planejamento Urbano e Regional.

Porto Alegre, dezembro de 2016.

CIP - Catalogação na Publicação

Calvetti, Fernando dos Santos
Indicador de hierarquia regional / Fernando dos
Santos Calvetti. -- 2016.
94 f.

Orientadora: Clarice Maraschin.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura,
Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e
Regional, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. Hierarquia regional. 2. Sistemas
configuracionais. 3. Modelos. I. Maraschin, Clarice,
orient. II. Título.

INDICADOR DE HIERARQUIA REGIONAL

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, em especial minha mãe Lúcia e meu pai Renato por ensinarem o valor da educação e à minha irmã Ana que sempre me apoiou.

À minha professora orientadora e amiga Clarice Maraschin, pela constante ajuda e paciência com meu trabalho e formação acadêmica desde a graduação.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional pelas oportunidades de formação às quais pude aproveitar plenamente.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio e confiança na minha pesquisa.

À Elisa, minha companheira de vida.

A todos os professores, professoras e funcionários do Programa, que fazem parte também deste trabalho.

Às colegas do grupo de pesquisa Fernanda Giacomel da Costa, Laís Corteletti, Bárbara Maria Giacom Ribeiro, Ana Lilian Brock e Juliana Lombard Souza que dividiram comigo as angústias e alegrias deste processo.

Aos meus amigos, amigas e colegas que de alguma forma me influenciaram ao longo destes meses de intenso trabalho.

A todas e todos, a minha sincera gratidão.

RESUMO

A troca e o comércio estão associados na sua origem ao próprio conceito de cidade, a partir de uma relação mútua, de atividades que definem e são definidas pelos locais onde acontecem. A troca, a compra e venda de produtos, assim como o fluxo de pessoas, entre diferentes centros urbanos, tende a influenciar o crescimento das cidades. A cidade então não pode ser entendida como isolada do seu entorno, e o seu estudo passa, portanto, pelo entendimento das suas relações regionais. A presente pesquisa propõe o desenvolvimento de uma metodologia para identificação e avaliação da hierarquia regional a partir das relações entre as cidades. Para tanto, se utiliza de um indicador espacial descrito com o uso de modelos configuracionais. A partir de pesquisa bibliográfica se considera que a interação espacial entre as cidades acontece como consequência das relações de distância, ofertas de serviços e demandas das populações. A hipótese central da pesquisa é de que a abordagem configuracional do espaço dispõe de medidas que são capazes de descrever a hierarquia em um sistema de cidades. Utilizando o estado do Rio Grande do Sul como caso empírico, se constrói a sua representação espacial a partir da teoria dos grafos, carregando o sistema gerado com dados socioeconômicos dos municípios a fim de reproduzir o fluxo entre as cidades. A partir da análise e da comparação destes resultados com o volume médio de tráfego nas praças de pedágio do estado, se utiliza o Método dos Mínimos Quadrados como técnica de ajuste e ponderação dos dados socioeconômicos. O trabalho é finalizado comparando o indicador de hierarquia regional desenvolvido com a hierarquia de cidades apresentada no Estudo de Regiões de Influências do IBGE. Verificou-se que a metodologia proposta obteve uma descrição adequada da hierarquia regional, fazendo uso de menos dados em uma aplicação mais rápida do que as abordagens mais conhecidas.

Palavras chave *hierarquia regional; sistemas configuracionais; modelos.*

ABSTRACT

Exchange and commerce are associated in their origin with the very concept of a city, based on a mutual relation, of activities that define and are defined by the places where they happen. The exchange, buying and selling of products as well as the flow of people, between different urban centers, tends to influence the growth of cities. The city cannot then be understood as isolated from its surroundings, and its study therefore depends on the understanding of its regional relations. The present research proposes the development of a methodology for identification and evaluation of the regional hierarchy based on the relations between cities. To do so, we use a spatial indicator described with the use of configurational models. From a bibliographical research it is considered that the spatial interaction between cities happens as a consequence of distance relations, service offerings and demands of the populations. The central hypothesis of the research is that the configurational approach of space has measures that are able to describe the hierarchy in a system of cities. Using the state of Rio Grande do Sul as an empirical case, its spatial representation is constructed from the theory of graphs, loading the system generated with socioeconomic data from the cities in order to reproduce the flow between them. From the analysis and comparison of these results with the average volume of traffic in the toll points of the state, the Least Squares Method is used as adjustment technique and weighting of socioeconomic data. The work is completed by comparing the regional hierarchy indicator developed with the city hierarchy presented in Influence Regions Study from IBGE. It was found that the proposed methodology obtained an adequate description of the regional hierarchy, making use of less data in a faster application than the most known approaches.

Key words Regional hierarchy; Configurational systems; models.

Abreviações

UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul;
PROPUR	Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional;
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas;
DAER	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem;
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental;
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego;
QGIS	Quantum Geographic Information System;
REGIC	Regiões de Influência das Cidades.

Equações

01 <i>Força gravitacional</i>	29
02 <i>Relação força x distância</i>	31
03 <i>Polaridade</i>	43
04 <i>Método dos mínimos quadrados</i>	75
05 <i>Equação matricial</i>	76
06 <i>Equação com indicadores ponderados</i>	76

Figuras

01 <i>Hierarquia de cidades a partir da sua localização</i>	20
02 <i>Representação da força gravitacional</i>	30
03 <i>Representação das pontes de Königsberg</i>	35
04 <i>Grafo representando a cidade</i>	35
05 <i>Exemplo cálculo de Polaridade</i>	44
06 <i>Localização do Rio Grande do Sul</i>	50
07 <i>Localização das praças de pedágio do Rio Grande do Sul</i>	53
08 <i>Mapa com municípios do RS</i>	59
09 <i>Detalhe mapa</i>	60
10 <i>Área urbana municípios RS</i>	60
11 <i>Detalhe com áreas urbanas</i>	61
12 <i>Mapa com malha rodoviária RS</i>	61
13 <i>Detalhe malha rodoviária</i>	62
14 <i>Simplificação da malha rodoviária</i>	62
15 <i>Detalhe simplificação malha rodoviária</i>	63
16 <i>Síntese construção base espacial</i>	63
17 <i>Base espacial</i>	64
18 <i>Polaridade modelo indústria</i>	65

19	<i>Polaridade modelo comércio</i>	68
20	<i>Polaridade modelo saúde</i>	69
21	<i>Polaridade modelo educação</i>	71
22	<i>Hierarquia regional dos municípios</i>	78
23	<i>Áreas de influência</i>	82
24	<i>Mapa de influências do REGIC</i>	84
25	<i>Comparação entre mapas de influência</i>	85

Gráficos

01	<i>Crescimento da população em função do tempo</i>	26
02	<i>Aplicação da lei de Zipf</i>	27
03	<i>Visualização da distribuição de Pareto</i>	28
04	<i>Relação entre massa e força gravitacional</i>	30
05	<i>Relação exponencial entre distância e força gravitacional</i>	31
06	<i>Proporção relativa de fluxo médio diário nos pedágios</i>	54
07	<i>Comparação entre população economicamente ativa e total</i>	55
08	<i>Comparação praças de pedágio no modelo industrial</i>	67
09	<i>Comparação praças de pedágio no modelo comércio</i>	69
10	<i>Comparação praças de pedágio no modelo saúde</i>	71
11	<i>Comparação praças de pedágio no modelo educação</i>	73
12	<i>Comparação praças de pedágio e modelo ponderado</i>	77

Tabelas

01	<i>População e serviços das cidades</i>	44
02	<i>Cálculos de Polaridade</i>	44
03	<i>Valores de Polaridade de cada cidade</i>	45
04	<i>Relação de fluxo e localização das praças de pedágio do RS</i>	52
05	<i>Proporção percentual do fluxo diário médio dos pedágios</i>	53
06	<i>Polaridade das praças de pedágio no modelo de indústria</i>	66
07	<i>Polaridade das praças de pedágio no modelo de comércio</i>	68
08	<i>Polaridade das praças de pedágio no modelo de saúde</i>	70
09	<i>Polaridade das praças de pedágio no modelo de educação</i>	72
10	<i>Correlação dos resultados</i>	74
11	<i>Quinze municípios com maior índice de Polaridade</i>	79
12	<i>Comparação de hierarquias</i>	83

SUMÁRIO

1 Introdução	10
1.1 Justificativa e Objetivos	13
1.2 Estrutura	16
2 Revisão teórica	17
2.1 Teorias Urbanas	18
2.2 Medindo a Hierarquia Regional	25
2.3 Propostas Metodológicas	34
2.3.1 Estudos de indicadores de hierarquia	37
2.4 Síntese teórico-metodológica	46
3 Metodologia	48
3.1 Levantamento de dados	51
3.1.1 Fluxo nas estradas	51
3.1.2 Forças de oferta e demanda das cidades	55
3.2 Base espacial	59
4 Aplicação do modelo	65
4.1 Cálculo de Polaridade: Indústria	65
4.2 Cálculo de Polaridade: Comércio	68
4.3 Cálculo de Polaridade: Saúde	70
4.4 Cálculo de Polaridade: Educação	72
4.5 Síntese	74
4.6 Calibração do modelo e ponderação de valores	75
4.7 Análise do indicador de hierarquia regional	78
4.8 Regiões de influência das cidades	81
4.9 Comparação e análise de resultados	83
5 Considerações finais	86
Bibliografia	90
Anexos	93

1. INTRODUÇÃO

Analisando as relações entre cidades, como fluxo de bens, pessoas e capital, a presente pesquisa estuda conceitos de diferenciação espacial e relações de hierarquia entre cidades. A partir da análise de estudos teóricos e empíricos se proporá uma metodologia para sua mensuração.

A troca e o comércio estão associados na sua origem ao próprio conceito de cidade, a partir de uma relação mútua, de atividades que definem e são definidas pelos locais onde acontecem (Vargas, 2012). A troca, a compra e venda de produtos, assim como o fluxo de pessoas, entre diferentes centros urbanos, tende a influenciar o crescimento das cidades. Embora estas relações entre cidades – integrações regionais – aconteçam há bastante tempo, e venham se alterando ao longo dos séculos em menor ou maior grau em diferentes sociedades, os efeitos mais visíveis acontecem a partir do processo de globalização da economia mundial.

A globalização, vista como processo de integração social, cultural, econômica e política, impacta diretamente o modo de vida nas cidades. As relações entre os aspectos locais e globais passaram a receber as influências, tanto do consumo, quanto da difusão de modelos culturais de determinados países do cenário internacional.

Como consequência direta deste processo podem ser observados os benefícios que as tecnologias trouxeram: as transformações das telecomunicações, os aparatos tecnológicos, a obsolescência, o consumo, a publicidade, os processos migratórios de populações, bem como outros elementos que a globalização nos impacta mais proximamente e nos instiga a pensar, por ser um traço preponderante da organização das sociedades contemporâneas, determinando assim mudanças cada vez mais rápidas também na organização da sociedade e conseqüentemente no espaço físico onde a sociedade vive.

Podem-se citar como realidade em muitas regiões metropolitanas e cidades de diferentes escalas ao redor do mundo os movimentos da migração pendular, quando milhões de pessoas saem de suas casas no período da manhã para

cumprir jornada de trabalho ou estudar em outra cidade, retornando só à noite para casa, criando assim relações de grande fluxo, diferentes usos e hierarquia de funções entre cidades próximas. Observa-se também um crescimento cada vez maior da organização do setor de agricultura a partir do fluxo de bens, das relações externas, em diferentes escalas (Peixoto, 2008). É uma tendência visível na locação da produção de bens perecíveis em áreas próximas a aeroportos e portos pela necessidade de rápido transporte destes produtos, transformando assim a tendência organizacional de todo um setor econômico de grandes cidades e influenciando toda a sua forma física. Estes são apenas alguns dos exemplos que mostram que a globalização do mercado e o virtual encurtamento de distâncias afetam não apenas a organização econômica em grande escala, mas também a morfologia urbana e a forma de as cidades se relacionarem (Teobaldo, 2010).

Neste contexto a organização e subsequente hierarquização do espaço físico urbano se fazem necessárias para uma melhor compreensão dos processos nos quais estão inseridas. Muitos trabalhos e pesquisas que estudam relações entre cidades e possíveis hierarquizações do sistema (este conceito será explicado ao longo da pesquisa) formado pelas mesmas já foram feitos a partir de diferentes áreas do conhecimento, como estudos com enfoques econômico, social ou geográfico. Sendo assim, fica claro que tais processos são de grande complexidade e enfrentam dificuldades de serem compreendidos de forma plena a partir de apenas uma pesquisa ou mesmo uma área do conhecimento.

Sendo assim, é necessário reconhecer a necessidade de limitar a forma de análise do mesmo. Os motivos históricos, culturais e sociais que permeiam as relações e organização entre cidades são muitos e permitem diversas análises sobre as mesmas, mas não serão objeto de estudo deste trabalho. O foco do trabalho e da metodologia utilizada serão algumas características determinadas a partir das relações espaciais entre as cidades que compõem uma região.

A análise da hierarquia das cidades envolve a discussão da diferenciação e organização dos centros urbanos. Uma das maneiras possíveis de hierarquização é de que as cidades se estruturam segundo um sistema

econômico que determina que as menores cidades costumam depender ou sofrer elevada influência das cidades maiores.

As relações entre as cidades podem acontecer de forma física – através de estradas, rotas aéreas e marítimas, conurbação urbana - ou virtual, como o fluxo de capital, por exemplo. Existem muitas possíveis implicações destas relações na hierarquia das cidades, embora as consequências dessa causa e efeito não sejam totalmente compreendidas. Métodos disponíveis para tais verificações, assim como um grande volume de produção de estudos empíricos aparecem na literatura, e contribuem de forma importante no sentido de formalizar o tema e trata-lo com mais precisão. No entanto, como se demonstrará ao longo desta pesquisa, pode-se afirmar que os estudos de hierarquia que se utilizam de sistemas configuracionais a partir de uma discussão sobre o espaço ainda podem ser bastante explorados, dadas as possíveis contribuições e consequente importância desse tipo de investigação sobre o assunto. Define-se então o ponto de partida para a presente pesquisa, desenvolvida a partir de uma abordagem dos sistemas configuracionais, que pode ser resumida na seguinte questão: *Como descrever e analisar a hierarquia em um sistema de cidades com ênfase nas suas interações espaciais?*

1.1 | Justificativa e objetivos

A interação regional vem produzindo um desenvolvimento espacialmente e geograficamente desigual (Harvey, 2005). O espaço aparece então como o lugar onde se encontram e se reproduzem diversas relações provenientes da globalização, e tais relações geram e determinam de forma contínua uma diferenciação do espaço. As cidades - entidades com espaço físico determinado embora em constante transformação - fazem parte desse cenário, e tanto a natureza das relações entre elas, como a maneira como elas ocorrem parecem influenciar a sua morfologia. A cidade então não pode ser entendida como isolada do seu entorno, e o seu estudo passa, portanto, pelo entendimento das suas relações regionais. O planejamento regional é um assunto cada vez mais em destaque na realidade da discussão urbana brasileira, e diferentes estudos e propostas de ação, como o Estatuto das Metrôpoles (2015), podem ser vistos como um indicador do mesmo.

Neste contexto, indicadores de hierarquia regional despontam como importante ferramenta de suporte a decisões na esfera do planejamento. Pode-se também a partir dessa ferramenta monitorar o desempenho de determinada cidade com relação às demais: Entendendo que os indicadores referentes às cidades, que compõem o índice de hierarquia desejado, são mutáveis em relação ao tempo – se o número de estabelecimentos comerciais é, por exemplo, um fator determinante para a mensuração da hierarquia das cidades, sabe-se que esse número varia de ano a ano – pode-se utilizar dessa ferramenta para comparação do desempenho de determinada cidade em relação às outras em diferentes períodos, anos ou mesmo décadas. Dessa forma pode-se “monitorar” o seu desempenho frente às outras cidades, definindo a partir desses diferentes cálculos um quadro do desenvolvimento do tamanho relativo dessa cidade e das do seu entorno.

Esta pesquisa visa, entre outras coisas, fornecer subsídios de fácil manuseio para o estudo e monitoramento destes aspectos, através da investigação de critérios de análise e métodos para mensuração da hierarquia regional.

No Brasil os estudos mais difundidos são feitos por órgãos da esfera pública, como o REGIC (Estudos das Regiões de Influência das Cidades, 2007) e o

Estudo de Arranjos Populacionais (2013) realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Como se discutirá posteriormente, tais estudos são definidos a partir de métodos de cálculo bastante conhecidos – os chamados modelos gravitacionais. Tais pesquisas requerem uma grande quantidade de dados empíricos, demandando uma estrutura organizacional para sua coleta e tratamento. Entende-se que essa estrutura necessária pode ser considerada muito onerosa para pesquisas que não contem com o tipo de apoio, disponibilidade de mão-de-obra e alcance de que tais instituições desfrutam. Tais metodologias serão brevemente discutidas nesta pesquisa.

Constatou-se também que muitos dos resultados - em boa parte publicados como uma classificação resumida a níveis de valores que representam o tamanho da importância das cidades - apresentados por pesquisas que utilizam desta metodologia parecem ser de complexa análise por parte de quem não acompanhou o desenvolvimento e o processo das mesmas. Tal constatação pode ser entendida como consequência de igualmente complexas metodologias de mensuração aplicadas, muito em função dos longos algoritmos de cálculo e procedimentos estatísticos utilizados para o processamento da grande quantidade de dados. Uma quantidade relevante de pesquisas sobre hierarquia regional parece deixar em segundo plano o que se entende por um aspecto fundamental para a análise desejada, que é a configuração espacial das ligações entre as cidades (o conceito de rede será discutido adiante) e o fluxo decorrente destas ligações.

Com a intenção de contribuir para o debate sobre a hierarquia regional, este trabalho tem por objetivo geral *desenvolver uma metodologia para analisar a hierarquia regional a partir das relações entre as cidades num sistema espacial*. Essa exploração será feita no âmbito da pesquisa em sistemas configuracionais urbanos e investigando como o espaço influencia a interação entre as cidades. Como objetivos específicos da pesquisa têm-se:

- (i) *sistematizar uma metodologia baseada em modelos configuracionais;*
- (ii) *aplicar a metodologia na realidade das cidades no Rio Grande do Sul no cenário do ano de 2010;*

(iii) Utilizar de ferramentas matemáticas para uma calibragem mais eficiente e mais rápida do modelo;

(iv) identificar a hierarquia e respectivas áreas de influência.

A abordagem configuracional dispõe de medidas que aferem especificamente as relações entre os componentes de um sistema espacial. A hipótese deste trabalho pode ser dividida em dois aspectos que estão relacionados: *(i) a combinação de diferentes aspectos socioeconômicos característicos das cidades é capaz de descrever a hierarquia da região em que estão inseridas;* *(ii) A partir do uso de sistemas configuracionais se pode quantificar a importância destas características para a mensuração da hierarquia.*

Pode-se dizer que a relevância no campo teórico do presente trabalho passa pelo levantamento e discussão de uma base bibliográfica que compreende boa parte de estudos empíricos e teóricos desenvolvidos sobre o assunto, contribuindo na compreensão e conexão entre diferentes trabalhos e metodologias. Pretende-se também contribuir na discussão do uso de ferramentas matemáticas e estatísticas no estudo de modelos urbanos e que sejam capazes de auxiliar no planejamento urbano e regional.

1.2 | Estrutura

O trabalho se dividirá em cinco capítulos. O segundo capítulo contará com o Referencial Teórico da pesquisa e o terceiro apresentará a Metodologia para a mensuração da hierarquia regional. Aborda-se a construção do modelo, a definição dos algoritmos de cálculos e medidas de desempenho que possam mais adequadamente descrever a hierarquia entre cidades de um mesmo sistema regional. A partir da descrição de hierarquia, se identificarão as áreas de influência das cidades.

No quarto capítulo será aplicado o modelo proposto e o quinto discutirá os resultados obtidos a partir da aplicação do modelo. Os resultados da pesquisa serão discutidos considerando os objetivos iniciais do estudo. Como fechamento do trabalho serão discutidas potencialidades e limitações do modelo proposto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo discutir o que se considera uma parcela significativa de estudos e aplicações existentes sobre hierarquia regional e os principais conceitos e teorias acerca deste tema. Pretende-se com isso estabelecer uma base a partir de variadas fontes para conceitos que devem ser esclarecidos para a pesquisa. Entende-se que, por se tratar de um levantamento que contém estudos de diferentes áreas e com diferentes metodologias, se faz necessária a divisão do capítulo em seções e em subseções capazes de esclarecer o que cada área pode contribuir à pesquisa.

O capítulo está subdividido em três grandes seções de levantamento e análise bibliográficas, sendo elas; (i) Teorias Urbanas, onde se abordará a bibliografia sobre o tamanho das cidades, a geografia urbana e a economia regional; (ii) Medindo Hierarquias, onde serão abordadas teorias que tentam explicar a hierarquia das cidades, muitas vezes a partir de modelos matemáticos; e na terceira seção (iii) Propostas Metodológicas serão discutidos os estudos configuracionais, a teoria dos grafos e medidas já desenvolvidas de hierarquia regional.

2.1 | Teorias Urbanas

A presente seção discute a bibliografia correspondente a estudos teóricos e empíricos que contribuíram para a discussão da hierarquia das cidades a partir dos estudos da teoria urbana. Para melhor entendimento de muitas das teorias expostas a seguir, opta-se por definir alguns conceitos importantes e utilizados ao longo da pesquisa.

Em seu livro, Jacobs (1968) disserta a partir de análises empíricas sobre como as cidades crescem e se desenvolvem a partir de sua economia. Ao longo de seu trabalho conclui que o surgimento de novas atividades econômicas dentro da cidade aumenta e diversifica a divisão de trabalho da mesma, e seria a partir desse processo que as cidades se desenvolveriam. O desenvolvimento de novas atividades, somada às já existentes formaria um sistema maior e mais complexo do que o simples aumento do volume de atividades existentes poderia gerar.

Na visão da autora, o desenvolvimento das cidades leva a crescimentos que gerariam problemas práticos resolvidos somente com novas atividades que aumentariam a abundância econômica da cidade. Criando assim um ciclo de crescimento. *Quanto maior a cidade, mais ela cresce.* A autora evidencia assim, com o uso de exemplos, a importância do tamanho da cidade para a maneira e a velocidade do seu crescimento, assim como a possibilidade de gerar atividades e atrair pessoas do campo ou de outras cidades. Este processo geraria diferenciação entre as cidades e os serviços oferecidos por elas, assim como o público que é atraído por estes serviços, uma vez que as cidades grandes teriam a capacidade de atrair pessoas de outras cidades.

Esse tipo de estudo se aproximou, em sua essência, da pergunta inicial que o geógrafo Walter Christaller faz na sua Teoria do Lugar Central (1933): “Por que existem poucas grandes cidades e muitas pequenas cidades?”. Para o geógrafo a resposta para o porquê desse tipo de crescimento, que geraria uma distribuição regular de cidades começa a se desenhar a partir da observação do comportamento das pessoas com relação à oferta de bens e serviços dentro das mesmas. Surge então a ideia de um Lugar Central, que seria o centro de

uma região onde a densidade de população e atividades econômicas é maior que na região complementar.

As distribuições populacionais tenderiam à formação de lugares centrais. Estes lugares seriam onde ocorre o agrupamento de atividades, que forneceriam maior variedade de bens e serviços. Tais agrupamentos seriam capazes de atrair consumidores e instigá-los a percorrer maiores distâncias.

Também se desenvolvem e se aplicam os conceitos de alcance e limite crítico. O primeiro seria a distância máxima que o consumidor viajaria para adquirir um bem ou serviço. Para Christaller (1933) isso equivaleria à distância até o centro mais próximo que ofereça esse bem. O alcance máximo seria o ponto onde o preço total de um bem – o seu valor mais o custo do transporte - equivaleria ao valor do bem.

O limite crítico seria a demanda mínima necessária para que a oferta de um bem ou serviço fosse economicamente viável. Aqui já é aplicado o conceito de distância. A distância está vinculada à localização espacial entre dois pontos no espaço. A localização das cidades, assim como das populações, comércios e serviços disponíveis ganha importância nessa teoria.

A combinação de alcance e limite crítico resultaria na área de mercado. No seu modelo teórico, com concorrência perfeita e distribuição uniforme da população, Christaller chega à forma hexagonal (figura 1) para a definição da área de mercado. A forma se justifica por não haver sobreposição de áreas ou partes do terreno sem influência definida, o que ocorreria com a utilização de uma forma circular.

A teoria de Christaller evidencia a importância das distâncias e do espaço físico para a definição da hierarquia. Mais do que isso, a teoria aponta que a grandeza de uma cidade é diretamente definida pela sua localização no sistema de cidades à qual pertence. Ela seria o resultado da sua disponibilidade de bens e serviços, o que é definida também pelas cidades no seu entorno imediato. Tem-se a partir da Teoria do Lugar Central que o estudo da disposição e concentração de bens e serviços é necessário para o entendimento da hierarquia das cidades.

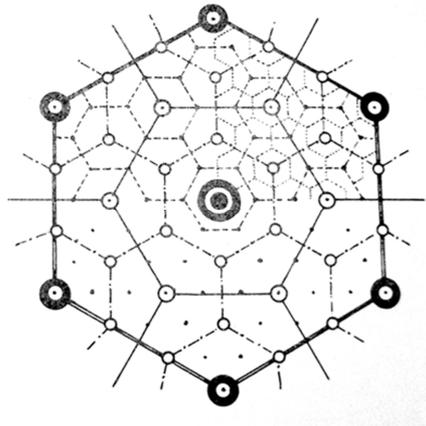


Figura 1 Hierarquia de cidades a partir da sua localização.

Fonte thiswill-this.net/07.html acesso em 15/08/2016.

Indo ao encontro das pesquisas de Jacobs e Christaller, Allen (1997) afirma que a crescente urbanização e crescimento físico das cidades são baseados nos constantes movimentos migratórios ao longo de diferentes épocas e na concentração espacial de investimento econômico. Allen considera que a teoria de Christaller apresenta uma visão estática e não informa sobre como seria esse processo. Procurando explorar essa dinâmica, conclui que o desenvolvimento das cidades acontece, de forma prática, com a introdução e posterior crescimento de novas atividades econômicas nos centros urbanos. A continuação do desenvolvimento dependeria da adaptação das atividades pré-existentes, da infraestrutura física e da população local às mudanças causadas pelas novas atividades.

A partir da análise da influência de polos industriais na configuração de centralidades urbanas, Perroux (1977) elaborou o que viria a ser chamado de Teoria dos Polos de Crescimento. Analisando os polos industriais na França e na Alemanha o autor verificou que polos industriais de crescimento poderiam surgir em torno de uma aglomeração urbana importante (como no caso da França, em Paris) ou ao longo das grandes fontes de matérias-primas (como na Alemanha, no Vale da Ruhr), assim como nos locais de passagem e fluxos comerciais significativos ou ainda em torno de uma grande área agrícola dependente.

O polo de crescimento teria também uma forte identificação geográfica, pois seria o produto das economias de aglomeração (conceito que segundo Pena seria “uma etapa do processo de industrialização em que ocorre a concentração da instalação de empresas produtivas ou de atividades econômicas em uma determinada região do espaço geográfico”¹). geradas pelos complexos industriais, liderados pelas indústrias motrizes. Um complexo industrial é um conjunto de atividades ligadas por relações de insumo-produtos forma um polo de crescimento quando for liderado por uma ou mais indústrias motrizes. O polo de crescimento poderia vir a tornar-se um polo de desenvolvimento se provocasse transformações estruturais e expandisse a produção e o emprego no meio em que estivesse inserido.

Tais estudos parecem ir ao encontro das discussões sobre a contribuição da aglomeração da atividade produtiva para o desenvolvimento econômico, relacionando o crescimento local de uma determinada região com a sua estrutura econômica (Fochezatto; Valentini, 2010). A configuração espacial das atividades econômicas seria o resultado das forças de aglomeração e de dispersão, em referência aos estudos de Marshall (1895). As forças de dispersão estariam vinculadas principalmente à imobilidade da mão-de-obra e ao custo do transporte, importantes fatores de crescimento econômico das cidades, uma vez que o fluxo de bens, capital e de mão-de-obra é limitado por estas forças (Allen *et al*, 2000).

A curiosidade e a discussão sobre os possíveis motivos da diferenciação entre cidades não são novas. A busca por padrões de comportamento na organização e relação entre cidades vizinhas remonta a estudos do século XIX, assim como a constatação da existência de cidades grandes e cidades pequenas que se complementam em seus usos para as suas populações.

Pode-se também revisitar teorias que buscavam explicar as regularidades de decisões para localização de determinada atividade há mais tempo, e analisar suas influências em teorias mais recentes. Esse ramo na teoria econômica tem

¹ PENA, Rodolfo F. Alves. "Economias de Aglomeração"; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/economias-aglomeracao.htm>>. Acesso em 15 de dezembro de 2016

como base as teorias clássicas de renda da terra, desenvolvidas por David Ricardo no início do século XIX, e os estudos de von Thunen (1933).

Estas teorias buscavam explicar a utilização dos terrenos, ou as escolhas de localização, baseadas em uma teoria apoiada na renda fundiária.

A partir dessa teoria se concluiria que a distribuição geográfica dos agentes no espaço seria o resultado agregado de um conjunto de decisões estritamente individuais. O único fim seria a maximização a função de utilidade (para as famílias, ou a demanda) ou a função de lucro (para as empresas, ou a oferta).

Estes modelos clássicos partem de pressupostos simplificadores, que abstraem uma série de diferenciações existentes nas cidades. Apresentam uma racionalidade econômica e utilitária que leva à simplificação da sua aplicabilidade. No entanto, contribuem de forma essencial para a explicação da formação da cidade e da centralidade urbana, além de explorar a relação entre as atividades e o espaço urbano.

O estudo da hierarquia regional, e como estes sistemas de cidades se formaram e se definem é motivo de estudo também para compreender como as condições econômicas e de mercado de determinado lugar acabam por influenciar as relações entre cidades. Tais estudos acontecem principalmente na área da economia.

Alguns estudos sustentam que os sistemas urbanos de países desenvolvidos apresentam grandes diferenças se comparados a países em desenvolvimento. Entender tal diferença, se ela realmente existe de forma clara, pode ser um caminho a ser usado na tentativa de reconhecer as principais características de um sistema hierárquico e o real papel das atividades econômicas na sua definição. Seria essa uma tentativa de, em outras palavras, entender características causadas em grande parte pelo processo histórico da própria economia mundial. O que se constatará a seguir é a importância das mais diversas atividades econômicas na transformação da forma urbana.

No primeiro capítulo do livro *Economics of Cities – theoretical perspectives* (Huriot; Thisse, 1945), Fujita identifica questões centrais que devem ser respondidas para o entendimento da formação e diferenciação de

aglomerações econômicas e urbanas, sendo elas: (i) como são geradas as forças de dispersão e aglomeração?; (ii) por que existem cidades?; (iii) por que várias cidades e regiões se especializam em um único tipo de atividade? (p.4). O autor aponta que para entendermos essas perguntas e sermos capazes de achar respostas, devemos antes entender as teorias econômicas anteriores que tentam explicar a cidade.

Richardson (1973) estudou a incidência espacial do processo de crescimento e desenvolvimento econômico dos países desenvolvidos após a revolução industrial inglesa, formulando algumas hipóteses sobre os padrões espaciais subjacentes a este processo. Esses padrões obedeceriam a uma sequência temporal correspondente aos diferenciados estágios de desenvolvimento socioeconômico, referindo-se a distintos níveis espaciais de análise.

Tais estágios, segundo Godinho (2002) seriam de forma resumida: (i) numa primeira fase, o crescimento da economia nacional manifesta-se de forma muito polarizada, concentrando-se numa ou num número reduzido de regiões do país – concentração inicial; (ii) o crescimento sustentado da economia nacional vai estar associado à difusão da expansão econômica dessa(s) região(ões) central(is) para outras regiões do país, seja devido a fatores econômicos seja devido a fatores políticos, contribuindo para uma maior integração espacial da economia nacional.

Este processo de difusão inter-regional do crescimento econômico nacional assume, no entanto, no interior de cada região, a forma de concentração espacial num número restrito de centros urbanos, nos quais se observa uma crescente aglomeração de população e de atividades econômicas – dispersão concentrada; (iii) por último, e no interior das áreas metropolitanas ou de centros urbanos de grande dimensão, o processo de crescimento tende a ser acompanhado por descentralização de população e de atividades econômicas do centro para a periferia – concentração descentralizada.

Em outras palavras, para Richardson o processo de desenvolvimento econômico dos países desenvolvidos se caracterizaria, ao nível da sua incidência espacial como um processo de “dispersão concentrada [e *simultaneamente*] descentralizada”. A hierarquia dos sistemas urbanos nos

países desenvolvidos passaria então por diferentes etapas, até chegar a um sistema que se pudesse denominar de equilibrado.

Sassen (1998) compara os países desenvolvidos e os em desenvolvimento a partir do reconhecimento do que chama de sistemas primaciais. Na sua obra Sassen define a primazia como uma condição relativa que se afirmaria no contexto de um sistema urbano nacional. As cidades primaciais corresponderiam a cidades com uma fatia desproporcionalmente grande da população, do emprego e do PIB de uma nação. A primazia, assim, não seria uma questão exclusiva de tamanho absoluto, e nem uma cidade muito grande seria uma cidade primacial dentro do seu sistema.

A autora aponta exemplos em diferentes cidades e países do mundo, mostrando que, mesmo com algumas exceções, esses sistemas apareceriam com muita frequência em países em desenvolvimento. Para a autora, o reconhecimento desse sistema demonstraria uma distribuição de oportunidades irregular dentro de um país. Um sistema primacial seria então causa e efeito de uma economia subdesenvolvida. Mesmo com extensa explicação e aplicação do seu conceito a diferentes cenários, a autora não define de modo claro como reconhecer ou como mensurar uma cidade ou mesmo um sistema primacial.

Um estudo mais recente em comparação ao de Sassen e que investiga a economia das cidades de modo mais abrangente e generalizado é o de Fujita *et al* (1999). Neste trabalho é analisada como a distribuição de atividades econômicas pode ser descrita como um processo de mercado. No trabalho são utilizadas fórmulas e teorias que foram desenvolvidas em estudos anteriores pelos próprios autores.

2.2 | Medindo a Hierarquia Regional

A matemática aparece como outra área da ciência que tenta explicar através de estudos o comportamento das cidades e as relações entre elas que geram a diferenciação espacial e conseqüente hierarquia. Muito desse trabalho se traduz na busca por padrões mensuráveis, que possam ser explicados e generalizados a fim de que sejam aplicados em diferentes realidades. O que se discutirá aqui são alguns destes estudos e teorias que buscam compreender padrões nas hierarquias regionais de cidades.

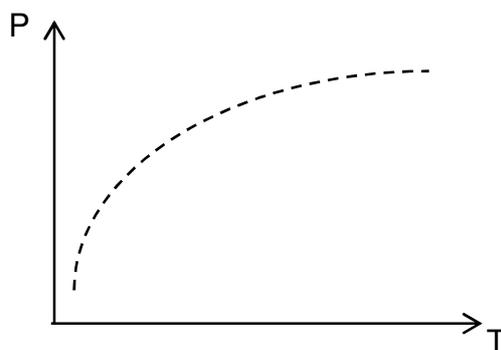
Como se verá ainda neste capítulo, muitos estudos realizados ao longo de décadas apontam para o tamanho da população como indicador mais adequado ao que se quer chamar de tamanho da cidade. Destaca-se a produção científica de Bettencourt e West (2007), que mostram em seus estudos que de fato existe uma tendência que pode ser expressa em termos matemáticos de que grande parte dos indicadores socioeconômicos de uma cidade está diretamente relacionada ao tamanho da sua população. Desde número de crimes cometidos ao número de instituições científicas e acadêmicas, muitos indicadores aparentemente sem relação entre si podem ser previstos a partir do número de habitantes de uma cidade.

A partir disso pode-se inferir a importância da população como indicativo de tamanho das cidades. Como já mencionado, Bettencourt propõe que o tamanho da população de uma cidade seja o dado básico para se calcular outros indicadores e atividades. A abordagem na qual a classificação das cidades se dá a partir do seu tamanho leva muito em consideração a ideia de um padrão matemático reconhecível na distribuição da população nas cidades que formam um sistema.

O estudo utiliza de razão logarítmica no seu cálculo. A função logarítmica é a função inversa da função exponencial. Ou seja, aplicando-se o cálculo exponencial em uma função logarítmica – ou vice-versa – chegaria-se a uma função linear, e veríamos então uma relação linear, onde uma cidade A com o dobro da população de uma cidade B apresentaria índices sócio-econômicos duas vezes maiores que os da segunda cidade.

A utilização desse tipo de função vem da percepção de que as populações tendem, em termos gerais, a crescer de forma a estabilizar o seu crescimento em um “teto” (Bettencourt; West, 2007). Considere o gráfico 1 com o crescimento de uma população hipotética P em função do tempo T .

Gráfico 1 Crescimento da população em função do tempo.



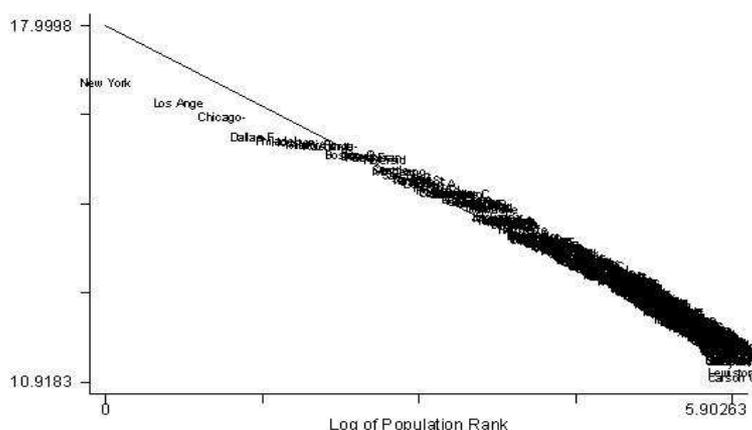
Pode-se analisar este padrão de crescimento de uma cidade estudando também a distribuição da população em cidades que caracterizam uma região. A chamada lei de Zipf (1949) se refere a um padrão de distribuição muito encontrado em diferentes campos das ciências naturais e sociais. A distribuição que segue essa lei se dá pela lógica de que a frequência do fenômeno estudado – no caso número de pessoas – é inversamente proporcional à sua colocação no ranking dos elementos do sistema, em ordem logarítmica de base natural.

A aplicação teórica dessa “lei” – cujos padrões de comportamento foram verificados através de investigações empíricas (Harremoes, 2001) – nos estudos urbanos seria como no seguinte exemplo: em um sistema com n cidades, a maior cidade, que tem uma população de X pessoas, corresponde ao 1º lugar no ranking. A população da 2º cidade seria então de $X/2$ pessoas, a população da 3º cidade seria de $X/3$ pessoas, e assim por diante. Até chegarmos a n ésima cidade do ranking, que apresentaria uma população de X/n pessoas.

O gráfico correspondente aos valores logarítmicos dessa tabela de valores resulta em uma reta. Estudos que aplicaram a lei de Zipf em diferentes lugares do mundo utilizando dados censitários encontraram resultados com

congruência de valores consideravelmente alta, como a análise feita por Nitsch (2009) a partir da população das cidades dos Estados Unidos (gráfico 2). A aplicação desse método por si só é bem interessante, mas insuficiente para se determinar o papel de uma cidade no seu sistema. A lei de Zipf aplicada somente à população das cidades evidentemente deixa de usar muitas outras informações, além de não considerar a distribuição espacial das cidades no sistema.

Gráfico 2 Aplicação da lei de Zipf.



Fonte economix.blogs.nytimes.com/2010/04/20/a-tale-of-many-cities/?_r=1 acesso em 30/09/16.

No trabalho de Holmes e Lee (2010) se evidencia que em áreas populacionais densas a lei de Zipf precisa de ajustes, sendo o comportamento de distribuição nessas áreas diferente de áreas com cidades mais espalhadas. Esse estudo sugere que a lei de Zipf não tem as ferramentas necessárias para estudar a distribuição populacional de um sistema genérico de cidades.

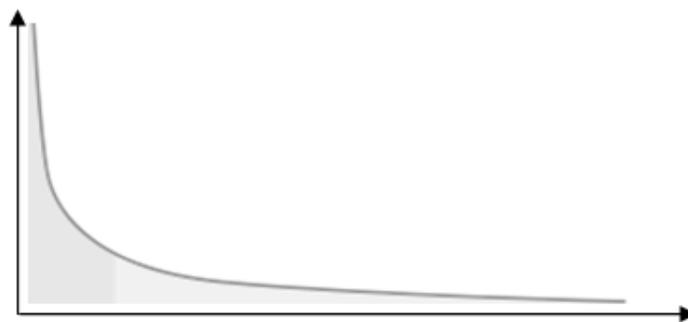
A lei de Zipf resulta em algo muito próximo à distribuição verificada pelo princípio de Pareto (1967). Tal princípio depois foi chamado de “princípio 80-20”. Ele afirma que para muitos fenômenos, 80% das consequências vêm de 20% das causas (gráfico 3), relação que é empiricamente estabelecida em muitas áreas da economia.

Matematicamente falando, pode-se entender isso como uma consequência do comportamento em escala logarítmica do que quer que se esteja estudando, ou seja, a maior parte dos valores do eixo Y de determinada função é causada por uma pequena parcela dos valores do eixo X. Aplicada ao estudo das cidades,

tem-se uma distribuição populacional que flutua numa faixa de valores onde aproximadamente 80% da população de um sistema residem apenas nas 20% maiores cidades. Em outras palavras: *Poucas cidades grandes e muitas cidades pequenas.*

Essas seriam algumas das primeiras tentativas de aplicação de matemática pura ao estudo da distribuição da população nas cidades. Tais aplicações podem ainda ser úteis para a pesquisa, embora careçam de maior complexidade nos seus métodos e atribuição de valores.

Gráfico 3 Visualização da distribuição de Pareto.



Em estudo de Gabaix (2004) há uma tentativa de explicação de como é possível essa regularidade da lei de Zipf aplicada à distribuição populacional nas cidades. O trabalho mostra matematicamente que a lei de Zipf aparece em uma área desde que a taxa de crescimento populacional seja independente da sua população inicial. Essa equação auxilia a identificação de padrões assimétricos de crescimento (Banks, 1991). Tal fenômeno é comumente chamado de lei de Gibrat. Essa proposta também é chamada de “lei dos efeitos proporcionais” e é bastante usada na economia para se calcular e prever tamanhos e distribuições de empresas em um determinado território.

Segundo Gibrat (1931), no processo de crescimento de determinada entidade (empresas, populações, cidades) as taxas de crescimento sempre possuem distribuições idênticas e independentes entre si, com média e variância bem definidas. Tais padrões obedeceriam a uma ordem logarítmica de cálculo. Na matemática estatística isso é chamado de padrão estocástico. Estes são definidos como padrões onde o seu estado é indeterminado, com origem em eventos aleatórios.

Além das contribuições no processo de encontrar padrões nos crescimentos das cidades, que acabam por influenciar diretamente a hierarquia regional da qual as cidades fazem parte, é preciso reconhecer o papel decisivo de um ramo da matemática – a teoria dos grafos - na tarefa de representação espacial da realidade através de modelos matemáticos.

2.2.1 | Teorias e modelos gravitacionais

Os sistemas gravitacionais remetem à lógica das leis de atração estudadas na física e mensuradas por Isaac Newton na Lei da Gravitação Universal publicada na sua obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687). Este campo da física se desenvolveu no sentido de explicar a atração dos objetos materiais da nossa realidade com a Terra, assim como o equilíbrio existente nos sistemas de corpos celestes. A partir de observações estudando o comportamento da lua em relação à Terra, Newton conseguiu elaborar uma teoria que dizia que todos os corpos que possuíam massa sofreriam atração entre si, e essa mesma atração seria de fato mensurável.

A lei da gravitação universal diz que duas partículas quaisquer do universo se atraem gravitacionalmente por meio de uma força que é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa. Em outras palavras, quanto maiores os corpos, maior a força de atração entre eles, e quanto mais distante dois corpos se encontram, menor será a força gravitacional que os atrai, e pode ser escrita matematicamente como na equação (1), expressa abaixo:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (1)$$

onde F é a força gravitacional; G representa a constante gravitacional; m1 representa a massa do corpo 1; m2 representa a massa do corpo 2; r representa a distância entre os dois corpos.

Importante salientar que a força gravitacional é caracterizada como uma força vetorial, ou seja, possui módulo (um valor numérico absoluto), direção e sentido, e seguindo a chamada Terceira Lei de Newton: “A toda ação há sempre uma reação oposta e de igual intensidade: as ações mútuas de dois

corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas em sentidos opostos”. Sendo assim, a força gravitacional que o corpo 1 exerce no corpo 2 (F_1) tem exatamente o mesmo módulo de intensidade que a força aplicada pelo corpo 2 no corpo 1 (F_2), com mesma direção embora com sentidos opostos. Pode-se representar esta relação graficamente (figura 2).

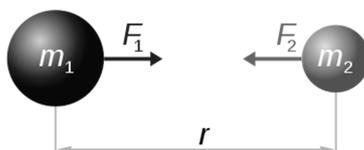


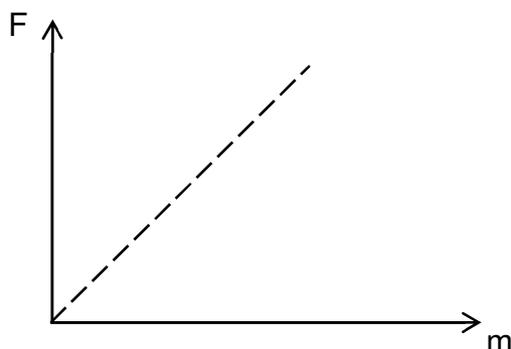
Figura 2 representação da força gravitacional.

Fonte Dennis Nilsson, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3455682>.

Acesso em 10/08/16.

Considerando a massa de cada um dos corpos envolvidos no cálculo, expressos como massa do corpo 1 (m_1) e massa do corpo 2 (m_2) em (1), verifica-se que existe uma relação linear entre cada uma das massas e a força gravitacional. Utilizando da notação de Leibniz para derivada, veremos que a derivada da massa em relação à força $\frac{dF}{dm} = 1$. A derivada da massa em relação à força é uma constante de ordem 1. Pode-se visualizar a relação linear (gráfico 4) na forma de comparativos para melhor compreensão e visualização, como: *Ao dobrarmos a massa de um dos corpos, dobramos também a intensidade da força.*

Gráfico 4 Relação entre massa e força gravitacional

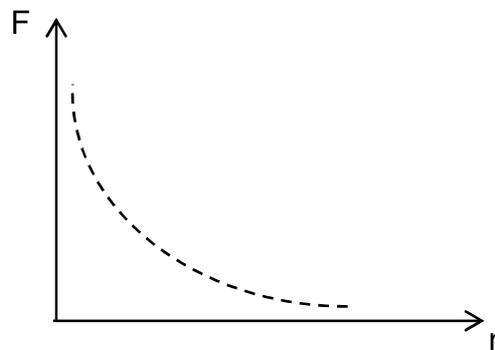


A outra variável no cálculo de força gravitacional é a distância entre os corpos. O denominador da equação é composto pelo quadrado da distância. Pode-se entender como a proximidade dos corpos leva a uma força gravitacional maior.

Ao se calcular a derivada $\frac{dF}{dr} = 2r$ percebe-se que existe sim uma variação, pois a derivada não é nula e também não é uma constante. Pode-se visualizar a relação entre ambos ao desconsiderarmos todas as outras variáveis da equação, isolando a força gravitacional a partir da variação da distância (gráfico 5) com a função exponencial (equação (2)):

$$F = \frac{1}{r^2} \quad (2)$$

Gráfico 5 Relação exponencial entre distância e força gravitacional



Pode-se fazer a seguinte comparação para melhor entendimento da natureza da relação entre força e distância: *Ao duplicarmos a distância entre dois corpos, a força gravitacional reduz-se a um quarto do seu valor.*

Igualmente, se diminuirmos a distância entre dois corpos em um terço, por exemplo, isso significa que a força gravitacional de um corpo no outro aumentará em nove vezes. Como dois corpos nunca ocuparão o mesmo espaço ao mesmo tempo, a distância entre eles nunca será zero. Vale a reflexão de que a distância tendendo a zero significa uma força tendendo ao infinito, enquanto uma distância que tende ao infinito gera uma força quase nula entre os corpos.

Constata-se que as pesquisas empíricas no âmbito urbano que utilizam modelos gravitacionais para o cálculo do poder de atração das unidades estudadas usam a equação (1) para isso. A abordagem gravitacional deu origem a uma extensa linha de pesquisa denominada de Interação Espacial.

Com base nesta linha, foram desenvolvidos muitos modelos de transporte e uso do solo, até hoje largamente utilizados em estudos urbanos (Ver Torrens, 2000).

A ponderação se dá com o uso de variáveis que se considerem importante como massa ou “peso” de cada uma das unidades e o cálculo se dá pela distância euclidiana entre elas, em outras palavras, em linha reta. Pode-se verificar através do REGIC na sua análise metodológica quando afirma:

Além disso, a observação da estrutura da matriz [...] reforça a percepção clássica de que as interações entre centros urbanos se dão em função direta de suas massas e em função inversa de suas distâncias. Dessa forma, utilizou-se o modelo gravitacional, de longa tradição nos estudos geográficos, para estimar o fluxo teoricamente esperado entre duas cidades e, assim, verificar quais pares de cidades possuem conexões acima ou abaixo desse valor (IBGE, 2007, p.138).

Destaca-se que a relação determinada para as massas nem sempre é ao quadrado em alguns dos estudos analisados. Com o intuito de calibrar o modelo a partir de dados empíricos, os pesos dos corpos podem ser elevados a diferentes expoentes, ao cubo, na quarta potência, etc.

Os modelos gravitacionais fazem contribuições importantes para a discussão do espaço. Como a mensuração de diferenciações do espaço e o que se pode chamar de atratividade de cada unidade do espaço em relação à outra, através da adaptação de um modelo de cálculo secular já consagrado pela ciência, junto a tentativas de quantificação da importância de cada unidade na relação e no uso das distâncias nesses cálculos.

Identifica-se no entanto algumas limitações no uso desse tipo de modelo, como a necessidade de ponderação de um grande número de variáveis para a constituição do que se quer chamar de “peso” de uma unidade. Observa-se também uma excessiva simplificação das distâncias entre unidades, pois o modelo utiliza a distância em linha reta entre dois diferentes pontos. Estradas e ruas são desconsideradas nessa metodologia. No âmbito dos estudos urbanos

e regionais, destaca-se a ausência de malhas a serem consideradas nos cálculos de distância.

2.3 | Propostas metodológicas

Os modelos configuracionais tem origem na teoria dos sistemas, que vem sendo pesquisada desde o início do século XX. Esta teoria estuda a organização abstrata de fenômenos a partir da construção de modelos que podem ser utilizados para sua descrição. Destaca-se na formalização da teoria a pesquisa de Bertalanffy (1973), baseada em uma visão científica diferente da praticada até então e hoje entendida por reducionista. Oliveira (2002) entende um sistema como conjunto de partes interagentes e interdependentes que formam um todo unitário com determinado objetivo e efetuam determinada função. O termo *sistema* refere-se então a conjuntos de elementos interconectados (Echenique, 1976), aplicado também nas representações espaciais de redes de ruas e espaços abertos nos modelos de análise configuracional desenvolvidos por Hillier e Hanson nas décadas seguintes (1984; 1996). Segue outra definição pertinente de sistema:

[...] pode ser definido também como um conjunto de elementos interdependentes que interagem com objetivos comuns formando um todo, e onde cada um dos elementos componentes comporta-se, por sua vez, como um sistema cujo resultado é maior do que o resultado que as unidades poderiam ter se funcionassem independentemente. Qualquer conjunto de partes unidas entre si pode ser considerado um sistema, desde que as relações entre as partes e o comportamento do todo sejam o foco de atenção. (Alvarez, 1990, p.16).

A estrutura analítica dos modelos configuracionais se baseia na teoria dos grafos. A teoria dos grafos é um ramo da matemática que estuda as relações entre objetos de um determinado conjunto, fazendo parte da área de análise combinatória e probabilística. Considera-se que o primeiro problema a ser resolvido com o uso de grafos foi o problema das Sete Pontes de Königsberg, resolvido por Leonhard Euler em 1736. De forma resumida o problema consistia na dúvida comum dos moradores da cidade se era possível atravessar todas as sete pontes existentes que ligavam as quatro partes da cidade sem que se repetisse nenhuma.

A partir da esquematização das diferentes partes da cidade e de suas pontes, Euler provou que não existia trajeto possível de forma a atravessar todas as pontes sem repetir alguma delas. Transformou as pontes em linhas e as partes de terra da cidade – que podem ser entendidas como pontos de intersecção das pontes – em pontos (figura 3).

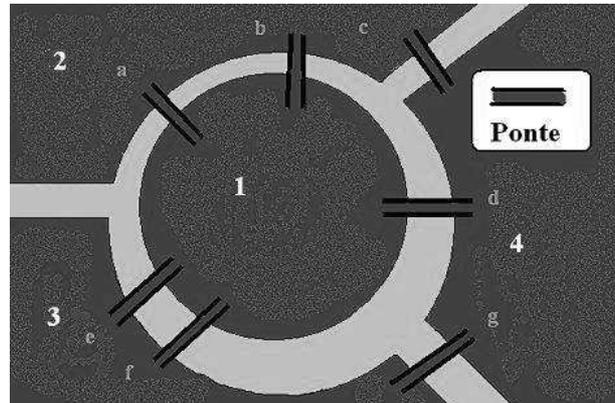


Figura 3 representação das pontes da cidade.

Fonte commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16216394.

Estudou-se então a utilidade da metodologia para diferentes problemas pela capacidade de representação com o uso de poucos elementos e a teoria vem sendo aperfeiçoada e explorada desde então. A partir dessa experiência inicial definiu-se que um grafo consiste basicamente de dois conjuntos finitos de elementos: um conjunto de elementos chamados vértices ou nós, e um conjunto de arestas, ou ligações.

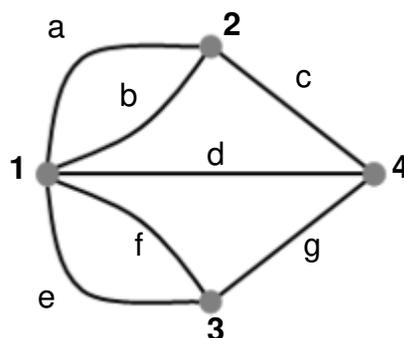


Figura 4 Grafo representando a cidade.

A conexão entre os elementos que compõe o sistema pode ser entendida como uma rede, por onde ocorrem as interações dentro do sistema. Segundo Batty (2007) essa concepção favorece e estimula o estudo das cidades com a teoria dos sistemas. O entendimento da cidade como rede possibilitaria a aplicação

de metodologias desenvolvidas em outras áreas do conhecimento, como se verá adiante na pesquisa.

Morfologia e forma urbana são conceitos diferentes. Enquanto a forma pode ser entendida como um conceito generalista da forma física da cidade, a morfologia pode ser considerada como um termo que se refere a características mais particulares da paisagem urbana. No contexto desta pesquisa a morfologia urbana se referirá à distribuição e configuração das cidades no espaço. Pode-se entender o estudo da morfologia urbana a partir de duas correntes principais: (i) tipológica, que tem maior foco na forma arquitetônica, investigando suas características formais e (ii) configuracional, com foco no sistema espacial urbano, estudando as relações entre as diferentes partes do sistema. O que se usará na pesquisa é o estudo da morfologia urbana a partir das suas características configuracionais, que se inserem em um contexto de investigação sistêmica.

Além do caráter sistêmico dessa categoria de investigação, destaca-se também o caráter abstrato, como representação da realidade embora capaz de ser aplicado a diferentes contextos também. O estudo configuracional da cidade lida com a exclusão proposital de todas as variáveis que não se julgam essenciais à investigação (Nystuen, 1968) definindo assim representações simplificadas da realidade. Nystuen (1968), buscando o nível máximo de abstração da realidade identifica o que considera como características essenciais do espaço: a distância e a conectividade. A distância é definida na maior parte da literatura como o caminho mínimo a ser percorrido entre um ponto de saída e um ponto de chegada no espaço. A conectividade é um conceito mais generalista, e é tratada como uma propriedade dos objetos estudados no espaço, que se refere à posição relativa de um componente em relação a todo o sistema do qual faz parte.

A conectividade nesse estudo será estudada e mensurada a partir da localização física das unidades do sistema juntamente à quantificação de possíveis fluxos entre mesmas unidades. Pode-se representar a conectividade de um sistema de diferentes formas, e a escolha da representação traz consequências à metodologia da pesquisa. A escolha de um modelo

matemático como representação do sistema através da teoria dos grafos será justificada ao longo do capítulo de metodologia.

A partir das conexões estabelecidas pelo sistema se podem definir relações a partir delas que permitam o estabelecimento de diferenciações que não só física entre as partes que compõe o sistema. Podem ser definidas também diferenças através de valores de desempenho a partir de características atribuídas às partes do sistema. Pode-se começar pensando na acessibilidade de cada parte dentro de um sistema. A partir de Ingram (1971) tem-se que acessibilidade é definida como a característica (ou vantagem) inerente a um local no que diz respeito a vencer alguma forma de resistência ao movimento. Já para Hoggart (1973), acessibilidade refere-se à interpretação, implícita ou explícita, da facilidade de contato com oportunidades distribuídas no espaço. Assim, a acessibilidade não depende somente da localização geográfica, mas também da facilidade com que se ultrapassam as separações espaciais entre origens e destinos.

A acessibilidade é um critério que calcula a facilidade de acesso entre pontos em um sistema a partir das suas conexões enquanto o que se chamará por enquanto de centralidade é um indicador da importância de um espaço no sistema, aferida através da quantidade de vezes que o mesmo participa do caminho mínimo entre outros espaços do sistema. Enquanto o modelo de centralidade planar considera apenas a diferenciação espacial originada do sistema de espaços e suas conexões, o modelo de centralidade ponderada considera a presença e a distribuição desigual das atividades desenvolvidas nesses espaços (Krafta, 1994). A partir do uso de medidas de centralidade ponderada, se pode levar em consideração então as relações que se julgem importantes para definição da hierarquia do sistema.

2.3.1 | Estudos de indicadores de hierarquia

Conforme verificado na literatura, a hierarquia regional é influenciada pelo tamanho das populações das cidades. Tais hierarquias são comumente ranqueadas em nível nacional. A hierarquização regional identifica entre outras coisas a existência de grandes cidades dentro de um sistema. Embora elas representem uma parcela mínima do total, se pode dizer que sua existência se

contrapõe ao conceito de um tamanho otimizado de cidades. Destaca-se também a evidência de que uma cidade está inserida em uma rede interconectada onde o seu crescimento afeta outras cidades.

A hierarquia é geralmente relacionada à regularidade empiricamente encontrada na distribuição das cidades. O seu padrão vem sendo debatido e equalizado de diferentes formas, mesmo que em uma parte considerável das pesquisas o padrão corresponde a alguma variação das leis de potência desenvolvidas por Zipf. Formalmente se pode dizer que é uma distribuição de frequências de dados ranqueados, onde a frequência é inversamente proporcional à posição da cidade no ranking. Pode-se usar a variável “população” para exemplificar a constatação acima, ao dizer que quanto menor a população, pior a colocação de uma cidade no ranking de hierarquia, pois as cidades com maior população destacam-se nas primeiras colocações do ranking (com baixa numeração, portanto, como 1ª colocação, 2ª colocação, ..., 10ª colocação, etc.). Krugman e Vernables (1995) propõem que as leis de potência, quando aplicadas às cidades operam de acordo com a teoria da percolação.

Na matemática e estatística a teoria da percolação descreve o comportamento de aglomerados (*clusters*, do inglês) conectados no que é chamado na teoria dos grafos de *grafo aleatório* (os estudos sobre grafos aleatórios utilizam de teoria dos grafos e teoria de análise combinatória). De forma breve, pode-se dizer que através da teoria da percolação pode-se estudar a existência ou não de pontos críticos ou singularidades em um sistema complexo dependente de n variáveis. Em outras palavras, é capaz de ajustar o modelo à existência empiricamente comprovada de que *as grandes cidades ranqueadas nas hierarquias urbanas de escala nacional são grandes demais para serem descritas no mesmo gráfico que as pequenas cidades*.

Enquanto a distribuição das populações com frequência regida pelas leis de potência é empiricamente de fácil compreensão, os diferentes fatores que a criam são complexos e nenhuma variável sozinha consegue descreve-la com perfeição. Em seu modelo de sistemas urbanos Henderson (1974) considera três os fatores principais para explicar a hierarquia das cidades, sendo eles (i)

aumento físico da cidade a partir de expansão territorial, (ii) a quantidade de trabalho e empregos na cidade e (iii) o poder financeiro da cidade, traduzido na sua arrecadação. O modelo relaciona os benefícios econômicos para as cidades individualmente a partir da aglomeração e a antecipação da necessidade de pedágios urbanos. A demanda por espaço nos centros financeiros das grandes cidades não decorreria apenas da população local, mas também das cidades ao seu redor, em busca de oportunidades financeiras, comerciais e de emprego.

O crescimento das grandes cidades aumenta e é aumentado pela complexidade da rede em que estão inseridas e quanto maior a densidade de uma malha, mais desenvolvida ela tende a ser (Kansky, 1963). A discussão da influência do sistema regional em que a cidade está inserida sobre a sua forma construída poderia explicar a forma urbana derivada da sua posição na malha (Colusso, 2015), corroborando assim a análise de Pumain (2011) de que as cidades não devem ser entendidas como excluídas do seu meio, pois a sua capacidade de crescimento está diretamente ligada ao crescimento das cidades no seu entorno. Estas análises evidenciam a importância da relação entre as cidades, assim como da sua capacidade de atrair populações de outras cidades, que se conectam configurando assim uma rede urbana.

Uma grande população residente em uma cidade gera demanda de um grande número de serviços, e o progressivo aumento da população gera grande diferenciação entre os serviços, o que pode ser definido também pelo termo especialização de serviços. Essa relação acaba por atrair uma população maior do que a população local às cidades grandes (consideradas o centro do sistema) pela variedade de serviços oferecida e pela procura por oportunidades – em grande quantidade se comparado às ofertas nas cidades menores (periféricas em relação à grande).

A partir do modelo chamado de centro-periferia (Krugman; Vernables, 1995) tem-se que a diferenciação espacial e regional seria consequência da interação entre as economias e os custos de transporte. Em outras palavras, envolve as atratividades e distâncias entre as cidades. A população então como indicador não parece ser capaz de, sozinha, compreender essa relação pois uma

característica da cidade grande é justamente a de produzir um fluxo constante de pessoas e mercadorias entre as cidades em decorrência do volume de oportunidades e serviços de que dispõe. Essa diferenciação a partir da demanda e especialização de serviços pode ser entendida como um desdobramento da teoria apresentada por Christaller (1933) se vista como consequência das funções estabelecidas pelos serviços à disposição das populações residentes das áreas de influência da cidade.

Um modelo que se proponha a caracterizar esta diferenciação que resulta em hierarquia das cidades que compõe um sistema regional deve, portanto considerar essa atratividade como possível indicador nos seus cálculos. O sistema é composto não só pelas cidades, mas também pelas ligações entre as cidades. Em outras palavras, o fluxo de bens e da população assim como a maneira como esses fluxos acontecem devem ser levados em consideração.

A partir de Offner (2000), podem ser identificados dois tipos de sistema urbano que convivem simultaneamente no espaço - o sistema de localidades centrais, com regiões formadas no entorno dos centros, e o sistema reticular, em que a cidade funciona como nó de uma rede mundial. Um complemento à tradicional teoria de hierarquização seria uma visão de rede de cidades definida por um sistema de relações *horizontais* de cooperação (Camagni; Salone, 1993). Assim seria possível identificar relações claras de hierarquia e relações que tenderiam a fortalecer as ligações horizontais entre centros de mesmo nível hierárquico.

Seguindo essa metodologia, o estudo REGIC (IBGE, 2007) parece identificar não apenas relações verticais de diferenciação, mas também de cooperação. O estudo levantou dados como informações de ligações aéreas, de deslocamentos para internações hospitalares, áreas de cobertura das emissoras de televisão, oferta de ensino superior, diversidade de atividades comerciais e de serviços de 4.625 municípios brasileiros de um total de 5.564. Os dados foram coletados a partir de questionários preenchidos por agentes da instituição, e que investigou também as principais ligações de transportes regulares (em particular as que se dirigem aos centros de gestão) e os principais destinos de moradores dos municípios pesquisados na busca de

produtos e serviços. O modelo utilizado para mensuração das regiões de influência foi construído a partir dos modelos gravitacionais.

Espínola (2003) constrói um modelo baseado na medida configuracional de centralidade proposto por Krafta (1994) para mensurar a hierarquia na rede de cidades do Paraná. Buscando identificar um conjunto de características que pudessem descrever a centralidade de cada uma das cidades da região, a autora definiu 12 características centrais entendidas como geradoras de fluxo entre as cidades. O trabalho contribui à discussão de hierarquia, fazendo uso da ponderação entre as diferentes características usadas para mensurar o que seria uma única medida característica das cidades, podendo assim ser mais facilmente utilizada nos cálculos com o uso de *softwares* de geoprocessamento, assim como o reforça o uso de grafos como representação do sistema regional de cidades estudado.

Levando-se em consideração a realidade da maioria das áreas metropolitanas brasileiras, a questão parece apontar para a representação das ligações entre cidades a partir da malha rodoviária na qual estão inseridas. Na representação do sistema através da teoria dos grafos, entende-se que a representação das cidades seria através de pontos adimensionais (vértices) e as ligações seriam representadas como segmentos de reta (arestas). A definição da forma de representação das cidades e suas ligações levanta outra questão que deve ser analisada para a construção do modelo. *Como definir os limites da região estudada?*

Considerando que as cidades estão sempre conectadas a outras formando assim um sistema, pode-se entender que existe uma rede de escala global (Offner, 2000) que dificulta a escolha dos limites físicos da malha a ser considerada. A atratividade de uma cidade acontece em todas as direções da malha, e um eventual recorte na malha caracterizaria uma ruptura das relações entre as cidades, prejudicando assim a sua análise. O recorte na malha pode gerar o que se chama de efeitos de borda, distorcendo a aplicabilidade dos dados na periferia física do sistema escolhido, ao desconsiderar os fluxos entre cidades de fora dos limites com as cidades no interior do sistema.

Em contrapartida a escolha de um sistema consideravelmente grande em sua extensão territorial pode representar um afastamento demasiadamente grande entre os extremos da malha, configurando em uma atratividade quase nula. Outro problema de um sistema consideravelmente grande é a necessidade de levantamento de outros modos de fluxo entre as cidades, além do transporte por vias rodoviárias. Em se tratando da realidade brasileira, argumenta-se que a escolha de uma malha que englobasse cidades de diferentes unidades federativas poderia representar a necessidade de uma análise de fluxos aéreos entre as cidades capitais destes estados, por exemplo.

Tratando-se de modelos configuracionais como indicadores de hierarquia, entende-se que análises configuracionais são capazes de identificar hierarquias espaciais (espaços mais próximos dos demais, espaços mais presentes nos menores caminhos, espaços com localização mais estratégica para oferecer serviços, etc.). Diversos modelos vêm sendo propostos a fim de identificar algum tipo de hierarquia em redes espaciais (Hillier e Hanson, 1984; Batty, 2013; Crucitti et al, 2006). Interessa a essa pesquisa a medida chamada de *Polaridade* (Krafta, 2014). Essa medida destaca-se por levar em consideração as entidades localizadas no caminho mínimo entre dois pontos, distribuindo a elas importância na malha.

Entende-se que todas as medidas podem ser interpretadas como medidas de centralidade, uma vez que calculam e diferenciam o espaço em função da sua posição relativa e número de conexões na rede em que estão inseridos.

A medida de Centralidade (Krafta, 1994) estipula uma tensão entre pares de pontos sem distinção de entrada e saída, ou seja, a relação entre as cidades hipotéticas A e B é apenas uma, sem distinção entre chegada e saída ou saída e chegada. Já a medida de Polaridade (Krafta, 2014) parte do processo de identificação dos menores caminhos que conectam todos os pares de vértices do modelo. As conexões entre estes pares geraria então uma tensão cujo valor seria obtido através do produto entre os vértices valorados a partir das características dos espaços. Este valor seria então distribuído ao longo de todo o caminho entre os vértices. Os carregamentos aqui são considerados a partir da oferta de um vértice e da demanda de outro, considerando a população

residente de cada cidade como peso de demanda de cada vértice e a quantidade de comércios e serviços das cidades como peso de oferta. A relação entre as cidades A e B é calculada como saindo de A e chegando em B (A-B) e saindo de B e chegando em A (B-A) de forma separada.

Pode-se entender matematicamente a Polaridade de uma cidade qualquer i no sistema de cidades I como:

(3)

$$P_{Ii} = \frac{(P_d \cdot Q_o)}{[\min]d_{pq}}$$

Onde se tem:

P_{Ii} : Polaridade da cidade i no sistema I de cidades;

P_d : Carregamento das demandas de uma cidade qualquer P ;

Q_o : Carregamento das ofertas de uma cidade qualquer O ;

$[\min]d_{pq}$: Caminho mínimo entre as cidades P e O .

Nota-se então que a cidade i só recebe uma parcela da Polaridade da relação entre outras duas cidades P e Q se fizer parte do caminho mínimo entre as duas outras cidades. Esse indicador é capaz, portanto de mensurar também o a tensão – fluxos - nas arestas do grafo, que representam as estradas que conectam as cidades. A Polaridade pode diferenciar e hierarquizar não só as cidades, mas igualmente os trechos de estradas que as conectam. Entende-se que os pesos considerados para o carregamento do modelo consistem nas atividades que melhor parecem simplificar os motivos de fluxo entre cidades.

Para melhor compreensão do modelo, se utiliza de um breve exemplo ilustrativo. Considerem-se cinco cidades dispostas em um sistema linear, cada uma a uma distância teórica de 50 quilômetros das cidades vizinhas, com população e serviços descritos na tabela abaixo (tabela 1):

Tabela 1 População e serviços das cidades.

Cidade	População	Quantidade de serviços ofertados
A	100	0
B	200	200

C	100	0
D	150	0
E	200	300

Figura 5 Exemplo cálculo de Polaridade.



A seguir são calculadas as Polaridades de cada par de cidades a partir da relação entre população da primeira cidade e oferta da segunda cidade, a partir da equação 3 (página 43):

Tabela 2 Cálculos de Polaridade.

Par	Polaridade	caminho mínimo	Valor distribuído para cada cidade do caminho mínimo
A-B	$100 \cdot 200 / 50 = 400$	A-B	200
A-C	$100 \cdot 0 / 100 = 0$	A-B-C	0
A-D	$100 \cdot 0 / 150 = 0$	A-B-C-D	0
A-E	$100 \cdot 300 / 200 = 150$	A-B-C-D-E	30
B-A	$200 \cdot 0 / 50 = 0$	B-A	-
B-C	$200 \cdot 0 / 50 = 0$	B-C	-
B-D	$200 \cdot 0 / 100 = 0$	B-C-D	-
B-E	$200 \cdot 300 / 150 = 400$	B-C-D-E	100
C-A	$100 \cdot 0 / 100 = 0$	C-B-A	-
C-B	$100 \cdot 200 / 50 = 400$	C-B	200
C-D	$100 \cdot 0 / 50 = 0$	C-D	-
C-E	$100 \cdot 300 / 100 = 300$	C-D-E	100
D-A	$150 \cdot 0 / 150 = 0$	D-C-B-A	-
D-B	$150 \cdot 200 / 100 = 300$	D-C-B	100
D-C	$150 \cdot 0 / 50 = 0$	D-C	-
D-E	$150 \cdot 300 / 50 = 900$	D-E	450
E-A	$200 \cdot 0 / 200 = 0$	E-D-C-B-A	-

E-B	$200*200/150 = 266,67$	E-D-C-B	66,67
E-C	$200*0/100 = 0$	E-D-C	-
E-D	$200*0/50 = 0$	E-D	-

A partir da soma dos valores obtidos para cada cidade, se obtém o valor da Polaridade para cada uma das cidades:

Tabela 3 Valores de Polaridade de cada cidade.

Cidade	Polaridade
A	230
B	696,67
C	596,67
D	846,67
E	746,67

Este exemplo mostra que não apenas a localização é importante para mensuração do indicador de Polaridade. A cidade C, mesmo central no sistema, não é a cidade com maior Polaridade. Os carregamentos de oferta e demanda também são de grande importância para a definição da hierarquia de cada uma das cidades. A tensão da interação espacial é alocada nos nós que compõem o caminho mínimo entre dois pares, e essa tensão é composta pelo produto entre oferta de uma cidade e demanda de outra, que são caracterizadas pelos carregamentos das cidades.

2.4 | Síntese teórico-metodológica

O objetivo desta seção é finalizar a revisão teórica estabelecendo uma transição, na forma de um breve relato, entre a bibliografia e a metodologia a ser utilizada. Construindo assim uma proposta teórico-metodológica que visa propor uma metodologia a partir do modelo de Polaridade proposto por Krafta e sua aplicação para análise do problema a partir das referências analisadas até aqui neste capítulo.

A partir de Christaller (1933) tem-se claro que existem diferentes níveis de hierarquia regional. A própria definição da posição hierárquica depende diretamente da distribuição na malha das cidades. A distância entre diferentes centros urbanos e as posições relativas das cidades é um fator importante para a diferenciação entre as cidades, uma vez que existe a ideia de limite crítico.

Destaca-se também a partir da bibliografia pesquisada que quanto maior a população de uma cidade, maior será a sua diversidade de serviços, comércios e empregos. Tal relação implica também que serviços e equipamentos localizados em grandes centros urbanos atendem a demandas de populações de outras cidades.

Além disso, o tamanho da população está diretamente relacionado ao conceito de tamanho da cidade. Em uma relação causa-efeito, grandes populações requerem uma grande quantidade e variedade de serviços, empregos, equipamentos ou comércio; enquanto grandes concentrações de oferta atraem grandes populações.

O fluxo entre as cidades é o resultado de uma combinação destas forças de oferta e demanda no espaço físico em que as cidades se encontram. A distância é fator determinante nessa relação, e o meio físico que limita as distâncias entre as cidades deve, então, ser levado em consideração também.

A revisão da abordagem configuracional apontou que existem diversos modelos aptos a analisar hierarquias em sistemas espaciais. Dentre esses modelos, a Polaridade (Krafta, 2014) é capaz de identificar um tipo de hierarquia espacial decorrente da atratividade relativa entre entidades espaciais. A tensão gerada a partir dessa interação espacial seletiva é alocada

às próprias entidades espaciais, permitindo então representar a força dessa interação espacial nos próprios nós do grafo (espaços do sistema).

Consideram-se estes aspectos como importantes e que mais se destacaram na bibliografia estudada ao longo da pesquisa. A partir destes pressupostos serão elaborados uma metodologia e um modelo a fim de calcular a diferenciação e hierarquia entre cidades numa mesma região.

No capítulo seguinte será discutida então a metodologia da pesquisa junto aos critérios envolvidos na construção de um modelo e da escolha do caso empírico para aplicação do mesmo.

3. METODOLOGIA

Uma metodologia de mensuração de hierarquia regional visa caracterizar e mensurar uma escala quantitativa de diferenciação entre as cidades que compõem um sistema regional. Ao longo deste capítulo se discutirá a sua construção.

Procura-se analisar as relações entre as características econômicas das cidades e sua estrutura de ligações e disposição geográfica, a fim de apresentar um modelo que busca a simplificação do processo de mensuração da hierarquia regional, sendo essa a sua principal contribuição à discussão do tema. A partir dos pressupostos teóricos se buscou definir quais características podem refletir os níveis de hierarquia, ou importância, de uma cidade em comparação às cidades do seu entorno. Dessa forma, se definem os indicadores que fazem parte da análise da hierarquia regional urbana.

Tais características foram divididas aqui em três grupos: (i) forças de atração das cidades – o que será entendido aqui por oferta das cidades – (ii) tamanho da cidade, definido a partir do tamanho da população, que é entendida também como demanda da cidade e (iii) intensidade da interação entre as cidades. Enquanto os dois primeiros grupos de características representam indicadores inerentes às cidades que se deseja estudar, a terceira característica é entendida como consequência das outras duas, sendo ela característica das ligações entre as cidades, e não das próprias cidades.

Entende-se então que o fluxo de pessoas é uma consequência de forças de oferta e demanda entre as cidades. Assim, se define a intensidade da interação entre as cidades, traduzida nos fluxos nas estradas e rodovias da região a ser estudada, como possível indicador capaz de validar a hierarquia entre as cidades. Busca-se então, propor uma metodologia baseada no modelo de Polaridade que consiga representar o fluxo real entre cidades e, a partir disso, identificar a hierarquia regional.

Embora se busque propor uma metodologia que possa ser utilizado da forma mais genérica possível, foi necessária a delimitação de um espaço físico para a construção e aplicação do modelo. Consideraram-se possíveis problemas que

podem ser identificados como fronteiras e efeitos de borda nas relações entre centros urbanos.

Optou-se então por uma malha extensa o suficiente para evitar problemas que muito provavelmente seriam latentes em uma região metropolitana, por exemplo, como a necessária exclusão de fluxos de fora da área delimitada; mas também de um tamanho que possibilitasse a consideração apenas do fluxo terrestre entre as cidades. Uma malha do tamanho do Brasil deve necessariamente considerar os fluxos fluviais e aéreos de mercadorias e pessoas entre centros urbanos.

É baseado nessas prerrogativas que se faz a escolha da região que se considera mais adequada para a aplicação do modelo e verificação dos seus resultados. Escolhe-se o Estado do Rio Grande do Sul, no extremo sul do Brasil pela facilidade de levantamento dos dados desejados e pela configuração político-geográfica do Estado, que faz fronteira física com dois países (Argentina e Uruguai) e com o Oceano Atlântico, além do Estado de Santa Catarina.

Como parte da metodologia a ser empregada, é necessário que se faça um recorte temporal da realidade. A fim de se utilizar de dados provenientes do censo demográfico mais recente se utiliza como referência o ano de 2010 para a pesquisa. Todos os dados levantados e utilizados para a aplicação do modelo são, portanto, referentes ao ano de 2010.

A construção da base espacial do modelo foi feita pensada dentro da realidade do software utilizado para o cálculo de hierarquia regional. Para analisar a estrutura espacial e as forças de atração entre as cidades e suas populações se fará com o auxílio do *software* Medidas Urbanas (Polidori *et al*, 2001), que calcula medidas predeterminadas a partir de uma base espacial representada por grafos. O *software* permite a vinculação de um banco de dados quantitativos à base espacial. Isso possibilita o carregamento da base espacial com informações que se deseje considerar nos cálculos permitidos pelo programa. O uso de um banco de dados nos cálculos do *software* depende da definição por parte do usuário se determinado indicador deve ser usado como medida de demanda ou de oferta no modelo construído.

Figura 6 Localização do Rio Grande do Sul.



3.1 | Levantamento de dados

3.1.1 | Fluxo nas estradas

Considera-se que a interação espacial entre as cidades acontece como consequência das relações de distância, ofertas e demandas entre as cidades. A partir dessa suposição, se faz necessário o uso de dados referentes ao fluxo real de pessoas entre cidades como espécie de comparação e validação dos resultados obtidos a partir do modelo virtual.

Estabelecer com grande grau de precisão a quantidade de pessoas que sai e chega a cada cidade de uma região em um determinado momento temporal é uma tarefa extremamente complexa. Tendo-se tempo e recursos limitados para determinada pesquisa, considerou-se o conceito de espaço amostral para tentar obter resultados satisfatórios quanto da medição do fluxo real entre cidades.

Assim, opta-se por utilizar dados de fluxo referentes às praças de pedágio existentes na região a ser estudada. Os dados de fluxo diário médio ou anual são geralmente de fácil acesso através da internet. Estes equipamentos funcionariam como uma espécie de checkpoints de toda a malha. A partir da sua localização na base espacial construída para o modelo, uma vez que se consiga reproduzir as proporções de fluxo entre as praças de pedágio existentes, pode-se entender que se conseguiu como consequência reproduzir o fluxo no sistema como um todo.

A configuração de fronteiras do Estado permite a minimização de efeitos de borda pelo entendimento de que o fluxo rodoviário entre países é dificultado em relação ao fluxo dentro do próprio Estado. O DAER-RS disponibiliza uma relação anual do fluxo de automóveis em todas as praças de pedágio do Estado. Embora não seja possível estudar a origem e destino de cada unidade que compõe o fluxo, isso pode ser utilizado como forma de controle da movimentação universal na malha.

O Estado do Rio Grande do Sul, no ano de 2010, contava com trinta praças de pedágio distribuídas na sua malha viária. Os dados referem-se à média diária do ano de 2010 quanto ao fluxo em cada praça de pedágio².

Tabela 4 Relação de fluxo e localização das praças de pedágio do RS.

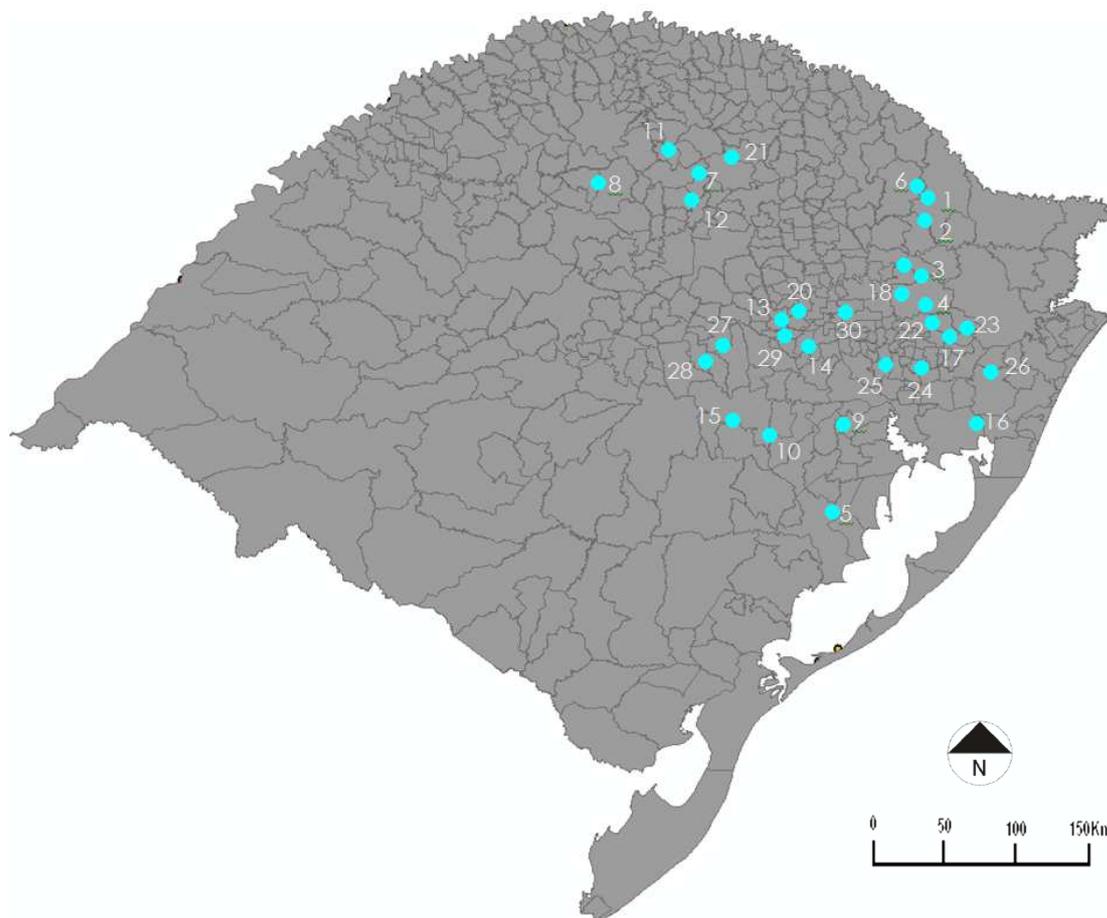
Praça	Contado por	Sentido	Rodovia	Km	Tipo Praça	Município	Trecho da Rodovia - Sentido	Dias contados	N.º Veh. Passantes		VDM
									Por An	Por Dia	
1	Pedágio	2	BR/116	022+000		Vacaria	Vacaria - Divisa SC	365	1.384.510	3.793	3.793
2	Pedágio	2		048+000		Campestre da Serra	Vacaria - Campestre da Serra	365	1.611.248	4.414	4.414
3	Pedágio	2		126+000		São Marcos	São Marcos - Caxias do Sul	365	1.232.708	3.377	3.377
4	Pedágio	2		172+000		Vila Cristina	Caxias do Sul - Nova Petrópolis	365	427.738	1.172	1.172
5	Pedágio	2		303+000		Guaíba	Guaíba - Camaquã	365	3.528.585	9.667	9.667
6	Pedágio	2	BR/285	130+000		Lagoa Vermelha	Vacaria - Lagoa Vermelha	365	1.015.928	2.783	2.783
7	Pedágio	2		327+000		Carazinho	Carazinho - Passo Fundo	365	1.976.766	5.416	5.416
8	Pedágio	2		341+000		Panambi	Carazinho - Panambi	365	1.150.984	3.153	3.153
9	Pedágio	2	BR/290	129+000		Eldorado do Sul	Guaíba - Arroio dos Ratos	365	3.935.985	10.784	10.784
10	Pedágio	2		224+000		Pantano Grande	Butia - Pantano Grande	365	1.806.226	4.949	4.949
11	Pedágio	2	BR/386	164+000		Sarandi	Carazinho - Sarandi	365	1.658.196	4.543	4.543
12	Pedágio	2		248+000		Soledade	Carazinho - Soledade	365	2.145.402	5.878	5.878
13	Pedágio	2		312+000		Marques de Souza	Lajeado - Soledade	365	2.180.726	5.975	5.975
14	Pedágio	2		371+000		Fazenda Vilanova	Estrela - Entr. RST/287	365	3.962.071	10.855	14.513
15	Pedágio	2	BR/471	140+000		Rio Pardo	Santa Cruz - Pantano Grande	365	1.335.089	3.658	3.658
16	Pedágio	2	RS/040	19+000		Viamão	Viamão - Balneário Pinhal (aguas claras)	365	3.692.647	10.117	10.117
17	Pedágio	2	RS/115	23+000		Três Coroas	Igrejinha - Gramado	365	1.732.344	4.746	4.746
18	Pedágio	2	RS/122	065+000		Farrópilha	Caxias - Farrópilha	365	5.716.232	15.661	15.661
19	Pedágio	2		101+000		Flores da Cunha	Caxias - Antônio Prado	365	1.202.112	3.293	3.293
20	Pedágio	2	RS/130	94+000		Encantado	Lajeado - Encantado	365	1.885.738	5.166	5.166
21	Pedágio	2	RS/135	18+300		Coxilha	Passo Fundo - Getúlio Vargas (coxilha)	365	1.253.645	3.435	3.435
22	Pedágio	2	RS/235	27+000		Gramado	Nova Petrópolis - Gramado	365	1.358.157	3.721	3.721
23	Pedágio	2		53+000		S. Francisco de Paula	Canela - São Fco de Paula	365	507.244	1.390	1.390
24	Pedágio	1	RS/239	18+000		Campo Bom	Entr. BR116 - Campo Bom	365	5.152.760	14.117	14.117
25	Pedágio	2	RS/240	13+200		Portão	Portão - Montenegro	365	3.168.182	8.680	8.680
26	Pedágio	2	RS/474	20+000		Sto Antonio Patrul	Sto Antonio - Rolante	365	1.282.217	3.513	3.513
27	Pedágio	2	RST/287	080+000		Venâncio Aires	Mariante - Santa Cruz	365	3.080.979	8.441	8.441
28	Pedágio	2		131+000		Candelária	Santa Cruz - Vila Paraiso	365	1.894.156	5.189	5.189
29	Pedágio	2	RST/453	018+000		Cruzeiro do Sul	Venâncio Aires - Lajeado	365	1.578.720	4.328	4.328
30	Pedágio	2		079+000		Boa Vista do Sul	Estrela - Garibaldi	365	848.893	2.326	2.326

A localização das praças de pedágio pode ser verificada no mapa a seguir (figura 7, p. 53). Destaca-se a concentração das praças de pedágio no entorno das cidades com maior população do Estado, Porto Alegre e Caxias do Sul. Essa concentração reflete um maior fluxo saindo e chegando nessas cidades e no seu entorno imediato se comparado ao fluxo entre cidades mais periféricas do Estado, como as localizadas nas partes sul e oeste. Reflete-se também a própria concentração de cidades, ficando as porções leste e norte do Estado – onde estão localizadas as praças de pedágio majoritariamente – com

² dados disponibilizados pelo DAER em <http://www.daer.rs.gov.br/site/busca2.php?busca=2010&titulo=3>, acessado em 10/12/2015

municípios menores em área quando comparados aos municípios das outras áreas.

Figura 7 Localização das praças de pedágio do Rio Grande do Sul.



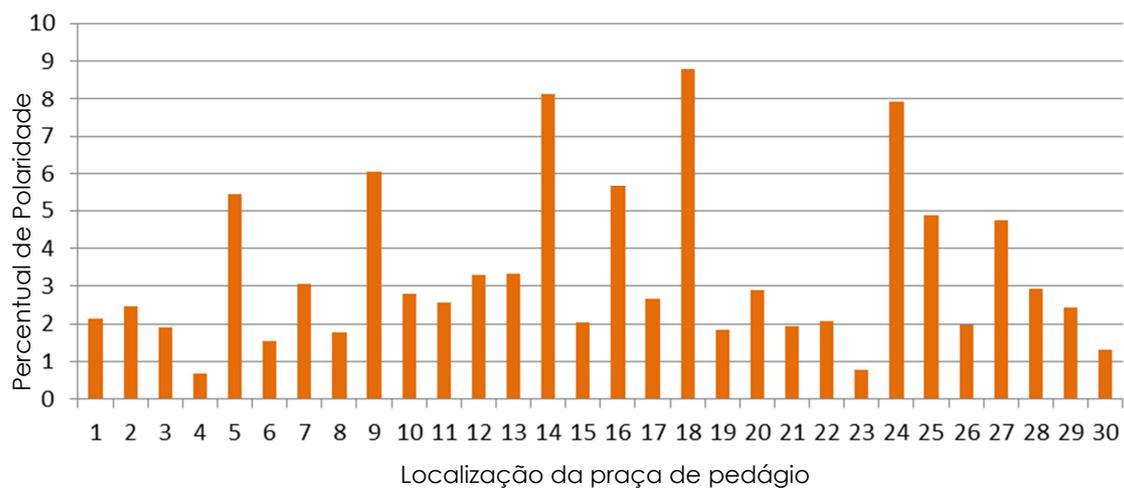
A fim de poder comparar futuramente tais dados com resultados obtidos no modelo, se usará a proporção – em porcentagem – do volume do fluxo médio diário em cada praça de pedágio. De maneira complementar se usará a comparação através de gráficos. A seguir é mostrada tal relação de proporcionalidade em um gráfico de linhas. De forma similar, em todas as futuras comparações, os valores referentes aos dados empíricos serão mostrados sempre na cor verde.

Tabela 5 Proporção percentual do fluxo diário médio das praças de pedágio.

Localização da praça	Fluxo médio diário	Proporção %
1	3793	2,128531184
2	4414	2,477019944
3	3377	1,895082998

4	1172	0,657695373
5	9667	5,424864477
6	2783	1,561745923
7	5416	3,039315817
8	3153	1,769380128
9	10784	6,051695305
10	4949	2,777247781
11	4543	2,549411329
12	5878	3,298577986
13	5975	3,353011818
14	14513	8,144311384
15	3658	2,052772758
16	10117	5,677392563
17	4746	2,663329555
18	15661	8,788538592
19	3293	1,847944421
20	5166	2,899022436
21	3435	1,927631062
22	3721	2,088126691
23	1390	0,780031201
24	14117	7,922086668
25	8680	4,870986206
26	3513	1,971402597
27	8441	4,736865734
28	5189	2,911929427
29	4328	2,428759021
30	2326	1,305289622

Gráfico 6 Proporção relativa de fluxo médio diário nas praças de pedágio.



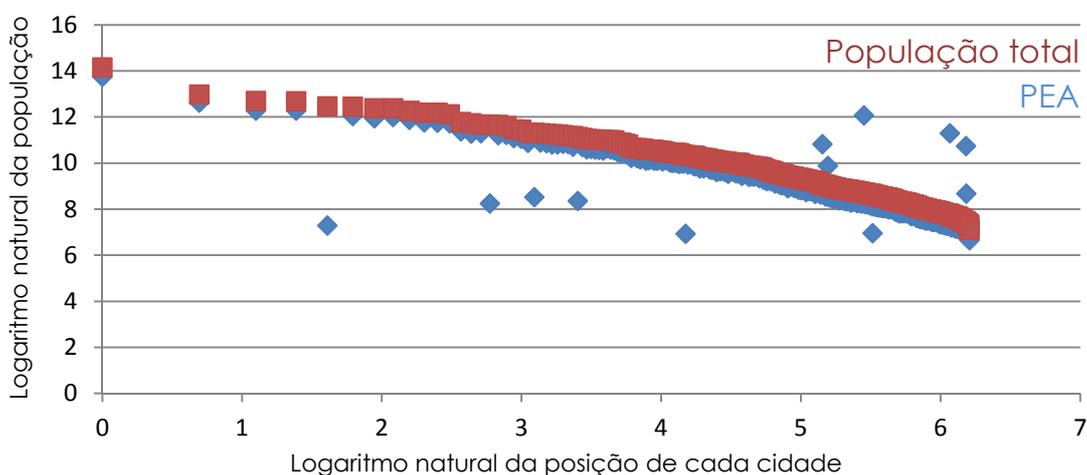
3.1.2| Forças de oferta e demanda das cidades

A partir da bibliografia pesquisada, o que pode ser considerado como demanda nas cidades é a sua própria população. Além de um indicador de tamanho relativo de cada cidade na região, estabelece também o fator de demanda de uma cidade para serviços e produtos da mesma e de cidades maiores. Consideraram-se os dados do CENSO 2010 (IBGE) para a população das cidades.

Inicialmente considerou-se utilizar a população economicamente ativa (PEA) como força de demanda das cidades para o modelo que leva em consideração as indústrias das cidades como força de oferta. Porém, considerou-se que seria um problema da pesquisa se utilizar de demandas diferentes para diferentes usos, a fim de compará-los e ponderá-los posteriormente em um só coeficiente.

Dessa forma, verificou-se a relação entre população total e PEA de todos os municípios, indicada abaixo. Para a realização desse cálculo de relação linear, utilizou-se da função logaritmo natural dos valores de população total e população economicamente ativa.

Gráfico 7 Comparação entre população economicamente ativa e total.



Os dados indicam que a PEA corresponde a uma parcela constante da população das cidades, em uma correlação de Pearson $r=0,93$. Constata-se que doze municípios apresentam uma proporção entre população economicamente ativa e população total discrepante em relação ao restante, mas por se tratar de uma parcela pequena da totalidade de municípios – 2,6% -

entende-se que constituem uma porção da totalidade que não compromete a análise global do estudo usando-se a população total para todos os municípios. Estes municípios apresentam muitas vezes relação de conurbação urbana com outras cidades, caracterizando fortes relações de migração pendular. Utiliza-se dessa forma a população total como demanda para todas as cidades do Estado.

A prioridade para a determinação do que poderia se considerar como forças de atração de uma cidade no sentido de oferta de serviços e empregos foram as atividades majoritariamente localizadas dentro dos perímetros urbanos. Essa decisão busca concentrar a pesquisa no âmbito das cidades e regiões urbanizadas dos municípios.

Um fator que parece se destacar em diferentes estudos pesquisados que determina muito da relação entre as cidades é a oferta de empregos e disponibilidade de serviços e comércios. Além de oferta e consumo, compra e venda, tais equipamentos também caracterizam oportunidades de emprego para a população. Muito dos movimentos pendulares entre cidades próximas ocorre como consequência dessa realidade.

A partir de estudos gravitacionais empíricos (REGIC; Arranjos Populacionais) a disponibilidade de equipamentos de saúde e educação aparecem também como fatores importantes na consolidação de fluxo tanto permanente quanto eventual de pessoas entre as cidades e centros urbanos.

Para classificação de dados quantitativos de serviços, equipamentos e comércios situados em cada cidade utilizou-se o CNAE Versão 2.0 (IBGE) obtidos na RAIS (Relação Anual de Informações Sociais) do Ministério do Trabalho e Emprego. Segundo definição que consta no site do IBGE:

“A CNAE é a classificação oficialmente adotada pelo Sistema Estatístico Nacional na produção de estatísticas por tipo de atividade econômica, e pela Administração Pública, na identificação da atividade econômica em cadastros e registros de pessoa jurídica”. (IBGE, acessado em 20/05/2016).

A fim de homogeneizar as classificações de atributos referentes a cada uma das cidades e a todas elas, utilizou-se de dados em quantidades absolutas apresentadas pelo IBGE. Seguem abaixo as especificações de cada uma das características. A modelagem vai testar separadamente cada uma dessas ofertas.

Indústria

Como dados que pudessem caracterizar a indústria das cidades, foram utilizados os levantamentos referentes à indústria de transformação e de construção residentes em cada cidade. As indústrias caracterizam-se neste estudo principalmente como força de atração de populações no nível de disponibilidade e quantidade de emprego.

As indústrias de transformação compreendem, segundo classificação do instituto, “as atividades que envolvem a transformação física, química e biológica de materiais, substâncias e componentes com a finalidade de se obterem produtos novos”. Essa matéria prima que vem a ser transformada por meio da indústria é obtida a partir de “atividades agrícolas, florestais, de mineração, da pesca e produtos de outras atividades industriais”. A indústria de transformação está caracterizada no CNAE 2.0 como seção C, intitulada de “indústrias de transformação”, e conta com 24 subseções.

A indústria de construção compreende obras de infraestrutura, de construção de edificações e serviços especializados para a construção de estruturas, incluindo também empresas responsáveis por reformas e manutenções de estruturas e edificações. No CNAE o ramo da construção civil está caracterizado na seção F, “construção” e conta com 3 subseções, a saber “41- construção de edifícios”; “42- obras de infraestrutura”; “43- serviços especializados para construção”

Comércio

Por comércio entendem-se as atividades de “compra e venda de mercadorias, sem transformações significativas”. Estão quantificadas nessa classificação as subseções “45- comércio varejista”; “46- comércio por atacado”; e “47- comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas”. Estas

subseções caracterizam juntas a seção G no CNAE 2.0, intitulada de “comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas”.

Saúde

Como caracterização dos equipamentos de saúde de cada município, listaram-se hospitais, consultórios, ambulatorios, centros de assistência, clínicas e unidades móveis de urgência, descritas na subseção do CNAE “86- atividades de atenção à saúde humana”. A essa subseção ainda somam-se outras duas, sendo “87- atividades de atenção à saúde humana integradas com assistência social, prestadas em residências coletivas e particulares” e “88- serviços de assistência social sem alojamento”. As atividades de serviço social são definidas como “de assistência a indivíduos ou famílias e são realizadas por agências de governo ou por instituições privadas”. Estas três subseções formam juntas a seção Q da classificação do CNAE, intitulada “saúde humana e serviços sociais”.

Educação

Na categoria educação são contabilizadas as unidades que realizam atividades de ensino, tanto público quanto privado. Não há discriminação de nível nessa contagem. Entende-se que a importância na contagem está exatamente na sua quantidade de estabelecimentos, que interfere no número de vagas disponíveis em cada instituição e assim na cidade como um todo.

A disponibilidade de escolas de ensino infantil e creches podem ser entendidas também como resposta a demandas da população local ou de mão-de-obra que trabalha no local. Sendo assim do interesse da pesquisa que sua contagem seja levada em consideração.

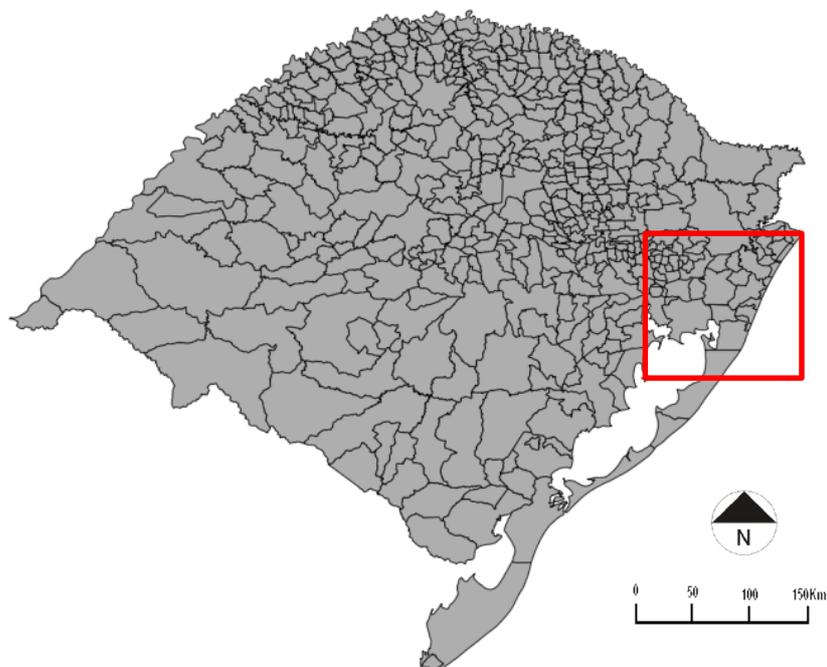
3.2| Base espacial

A construção da base espacial do modelo parte do mapa do Rio Grande do Sul. Utilizou-se o software QGIS³ para preparação do arquivo. Buscou-se representar da melhor forma possível a relação entre as cidades dentro do Estado. Em termos gerais, o sistema espacial será composto pelas cidades (nós do grafo) e suas ligações – rodovias (conexões do grafo).

Partiu-se do material disponibilizado pela biblioteca virtual do IBGE⁴ para obtenção do arquivo com os municípios do Estado (figura 8). Para melhor entendimento de todo o processo de construção da base espacial do modelo, será representado também o detalhe em destaque no mapa do Estado.

O modelo é construído levando em consideração a representação das cidades e as conexões entre elas. Uma das prioridades na construção do grafo foi a diferenciação das situações em que as rodovias passam diretamente dentro dos centros urbanos das que não passam. Mostra-se a seguir o passo a passo da sua definição.

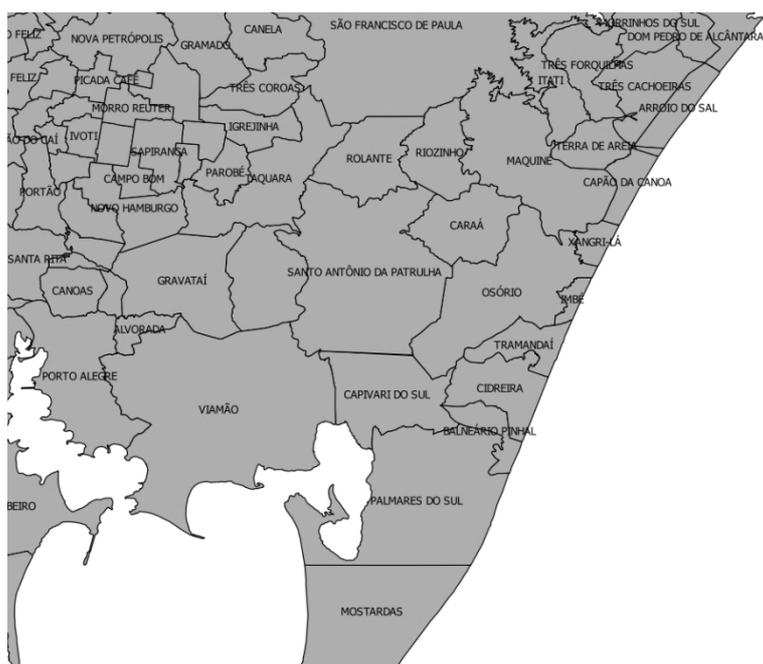
Figura 8 Mapa com municípios do RS.



³ Sherman, G.; Sutton, T.; Blazek, R.; Holl, S.; Dassau, O.; Morely, B.; Mitchell, T.; Luthman, L. Quantum Gis ® na versão 2.10 Pisa, 2015.

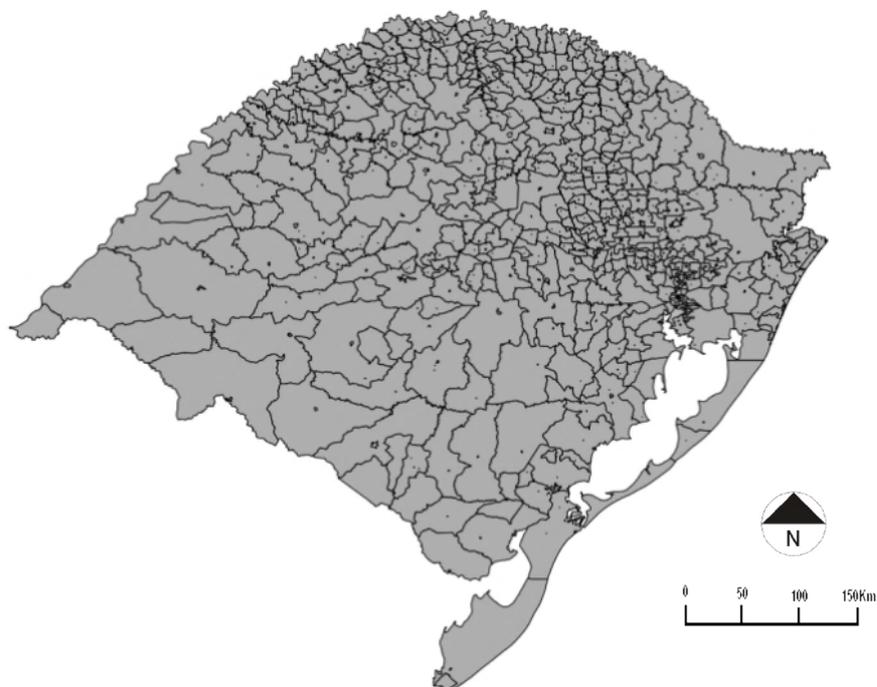
⁴ Em <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>, acessado em 06/06/2016.

Figura 9 Detalhe mapa.



Adicionou-se o arquivo de áreas urbanas disponibilizado na biblioteca de arquivos para geoprocessamento da FEPAM⁵. Tais delimitações foram feitas a partir de imagens de satélite, segundo a metodologia da construção deste arquivo.

Figura 10 Área urbana municípios RS



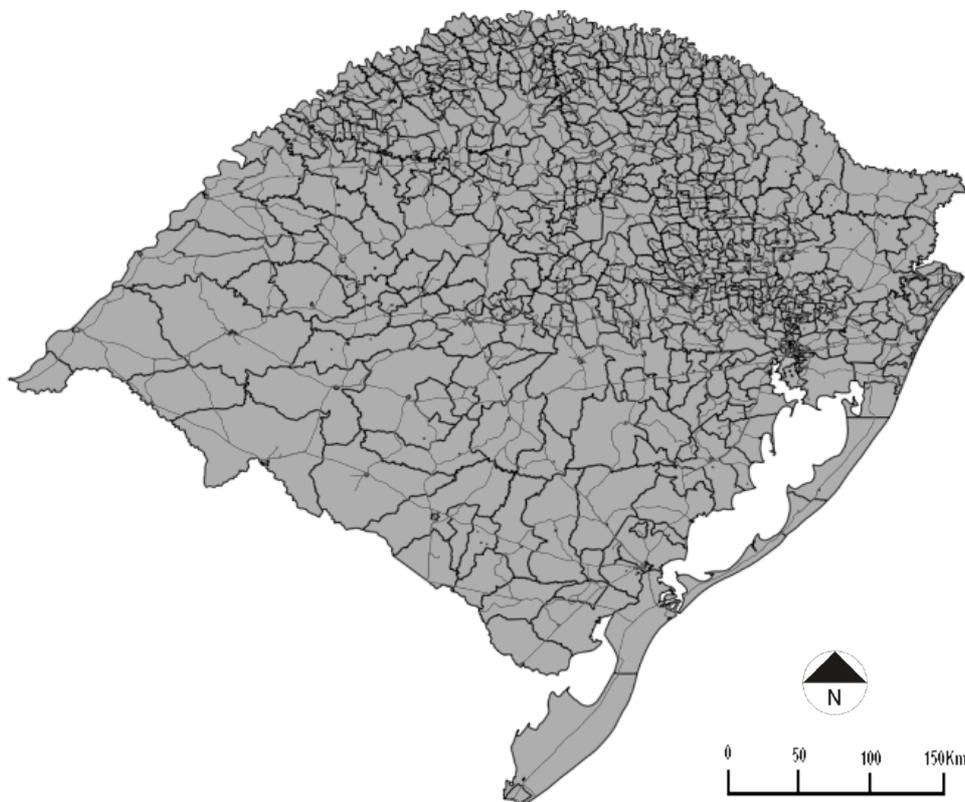
⁵ Em http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp, acessado em 06/06/2016.

Figura 11 Detalhe com áreas urbanas.



Sobrepôs-se aos mapas a malha rodoviária do Estado⁶.

Figura 12 Mapa com malha rodoviária RS



⁶ Disponível em http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp, acessado em 06/06/2016.

Figura 13 Detalhe malha rodoviária.



Utilizou-se do software QGIS para processamento de simplificação da malha rodoviária. Utilizou-se desse recurso para tornar viável a sua aplicação do software Medidas Urbanas.

Figura 14 Simplificação da malha rodoviária.

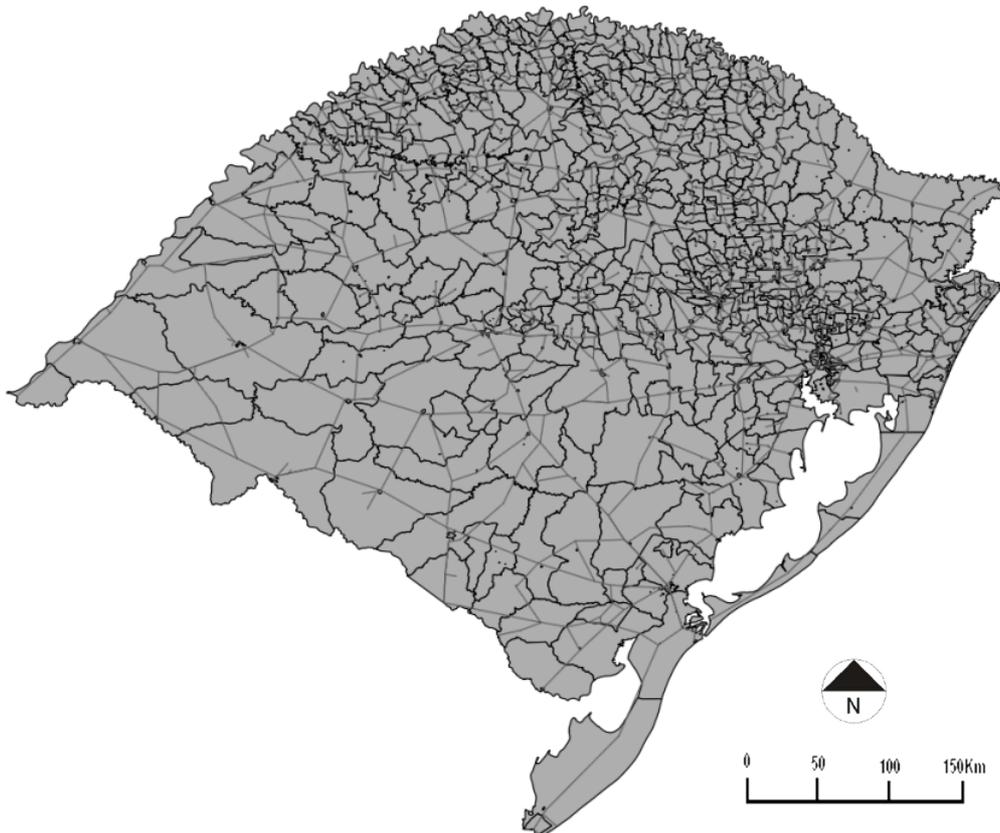
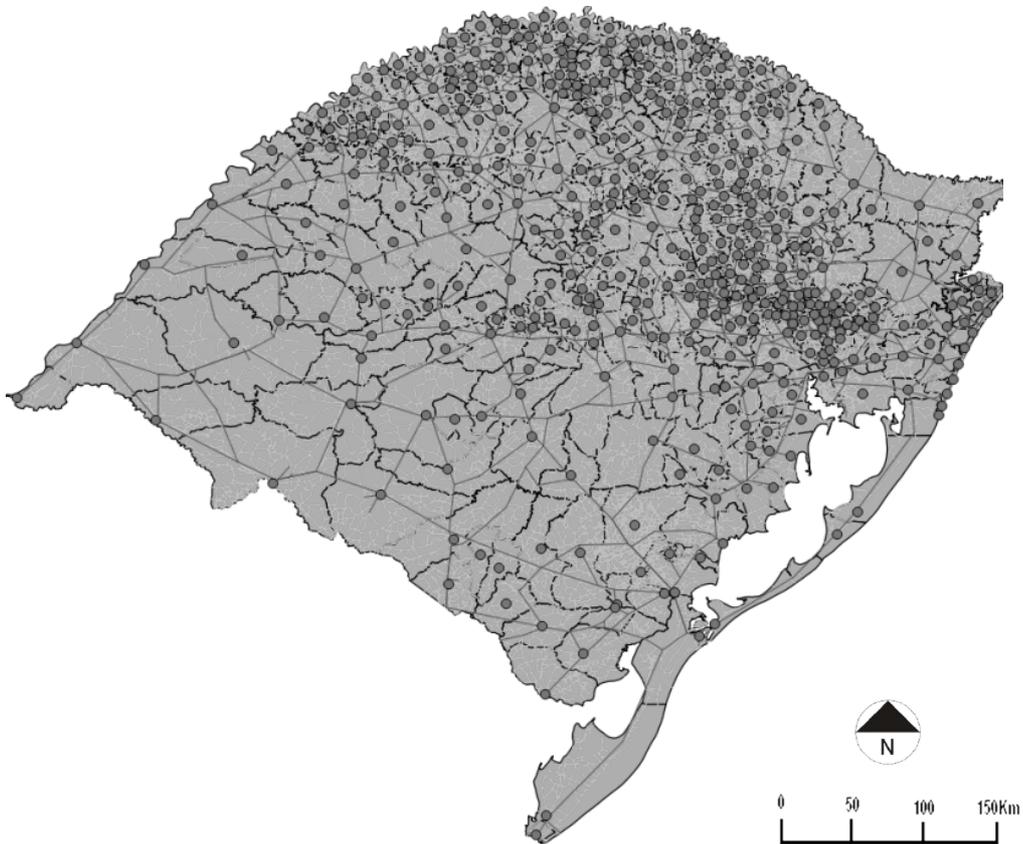


Figura 15 Detalhe simplificação malha rodoviária.



Considerou-se então o ponto geometricamente central dos polígonos definidos pelas áreas urbanas dos municípios. Com o auxílio da malha viária secundária, criou-se um sistema de pontos que representassem as conexões viárias e que ligassem os pontos que representam as cidades.

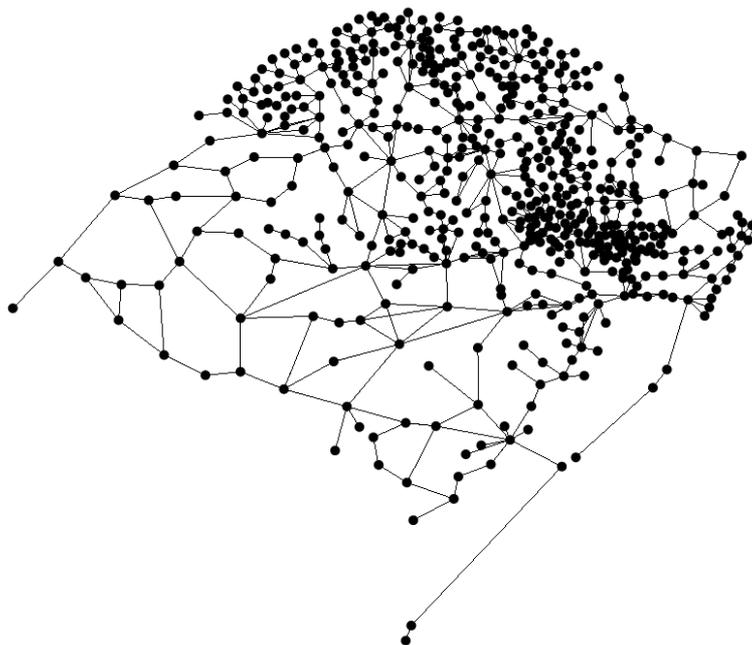
Figura 16 Síntese construção base espacial.



O sistema espacial incluiu também as praças de pedágio, que foram representadas como vértices (nós) acrescentados ao longo das rodovias em que estão localizadas. Isso permitiu a comparação entre os fluxos reais dos pedágios com a tensão medida pelo modelo de Polaridade. A fim de diminuir possíveis distorções pela medida topológica de distância (número de passos entre um ponto e outro) optou-se pelo uso da distância real geométrica entre os pontos. Utilizando-se assim da distância determinada pelas rodovias. Resultando assim em 496 nós representando os municípios, 30 nós representando as praças de pedágio e 53 nós representando ligações de rodovias, que configuram encontros e bifurcações rodoviárias presentes na malha do Estado.

Construindo-se assim a base espacial do modelo, a ser utilizada no software Medidas Urbanas. Somada à base estão os dados levantados e classificados como oferta ou demanda. A partir dos cálculos de Polaridade, são feitas análises e posteriores adequações com o auxílio dos dados reais de tráfego nas estradas.

Figura 17 Base espacial.



Entende-se que o cálculo de Polaridade aponta diretamente para uma diferenciação espacial ligada à hierarquia regional. Apoiado na bibliografia analisada calculou-se a centralidade das cidades em quatro cenários distintos. O objetivo a partir desses cálculos é ponderá-los matematicamente a fim de reproduzir da melhor maneira possível as proporções de fluxo real entre as cidades.

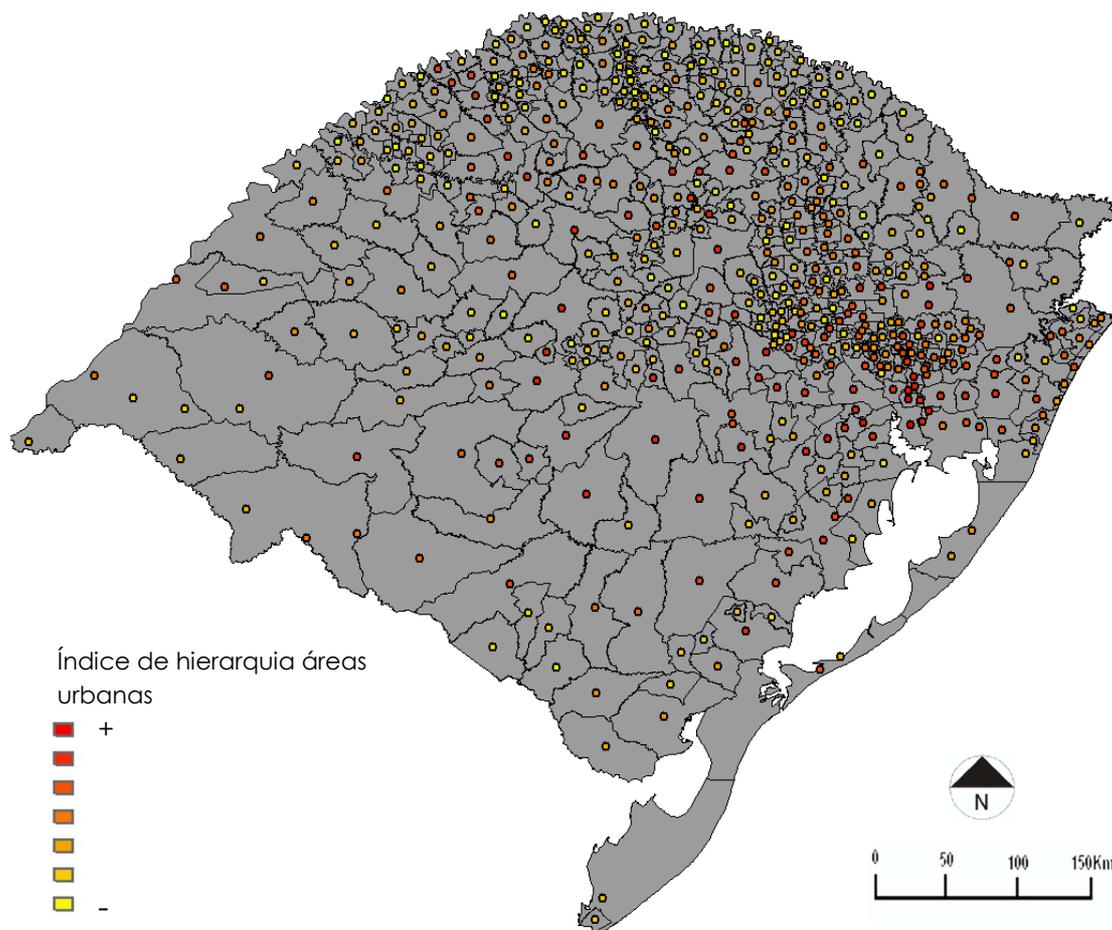
4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Neste capítulo será exposta a aplicação do modelo para o caso escolhido. Inicialmente o modelo de Polaridade foi carregado com ofertas de cada cidade, separadas por categoria: indústria, comércio, educação, saúde. Isso foi feito para medir a correlação de cada um dos carregamentos individualmente com os valores de interação e fluxo entre as cidades. São exibidos a seguir os cálculos nos diferentes modelos carregados.

4.1 | Cálculo de Polaridade: Indústria

O modelo foi calculado considerando-se apenas os dados quantitativos de indústrias de cada cidade como força de atração (oferta). As demandas foram consideradas a partir da população total de cada cidade.

Figura 18 Polaridade modelo indústria.



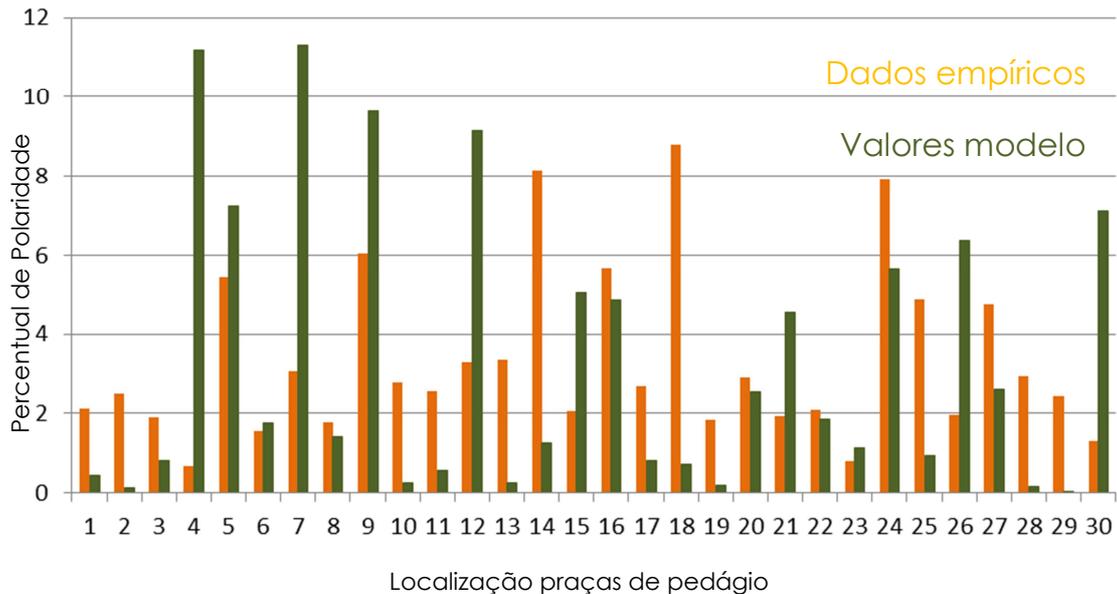
Destaca-se neste modelo, assim como nos próximos a região metropolitana de Porto Alegre, além dos municípios que fazem parte do caminho mínimo entre as cidades do interior e a capital. A partir dos resultados de Polaridade de todo o sistema, foram selecionados os pontos do modelo referentes às praças de pedágio. Considerando as Polaridades de cada um destes trinta pontos, foram calculadas as proporções das Polaridades relativas apenas aos nós referentes aos próprios pedágios.

Tabela 6 Polaridade das praças de pedágio no modelo de indústria.

praça	Valores absolutos de Polaridade	Percentual entre os 30 nós que representam os pedágios
1	93592952,00	0,43
2	27074980,00	0,12
3	179076016,00	0,82
4	2455536384,00	11,18
5	1589297024,00	7,23
6	390015616,00	1,78
7	2485581568,00	11,31
8	314538208,00	1,43
9	2117513216,00	9,64
10	53209644,00	0,24
11	124711072,00	0,57
12	2011653888,00	9,16
13	52768172,00	0,24
14	276477792,00	1,26
15	1110250752,00	5,05
16	1067187712,00	4,86
17	174227792,00	0,79
18	158132304,00	0,72
19	42251640,00	0,19
20	556828736,00	2,53
21	999160000,00	4,55
22	406713632,00	1,85
23	255058144,00	1,16
24	1239551872,00	5,64
25	205348432,00	0,93
26	1400921216,00	6,38
27	574322752,00	2,61
28	38256400,00	0,17
29	8392808,00	0,04
30	1562408064,00	7,11
TOTAL		100,00%

Comparou-se então o desempenho relativo de cada uma das praças de pedágio com o fluxo relativo real em cada praça de pedágio. O gráfico abaixo representa a comparação entre os dados empíricos dos pedágios e os resultados do modelo de indústria. A comparação se dá em um gráfico da relação Proporção relativa em porcentagem (eixo y) x Identificação da praça de pedágio (eixo x).

Gráfico 8 Comparação praças de pedágio modelo industrial



Os resultados do modelo se comparados aos dados empíricos apresentam uma correlação do coeficiente de Pearson de 0,25, o que se caracteriza como uma relação fraca. Como se verá nas próximas comparações, nenhum dos modelos individualmente conseguiu uma relação forte com os dados reais.

4.2| Cálculo de Polaridade: Comércio

O modelo foi calculado considerando-se apenas os dados de comércio de cada cidade como força de atração (oferta). As demandas foram consideradas a partir da população total de cada cidade.

Figura 19 Polaridade modelo comércio.

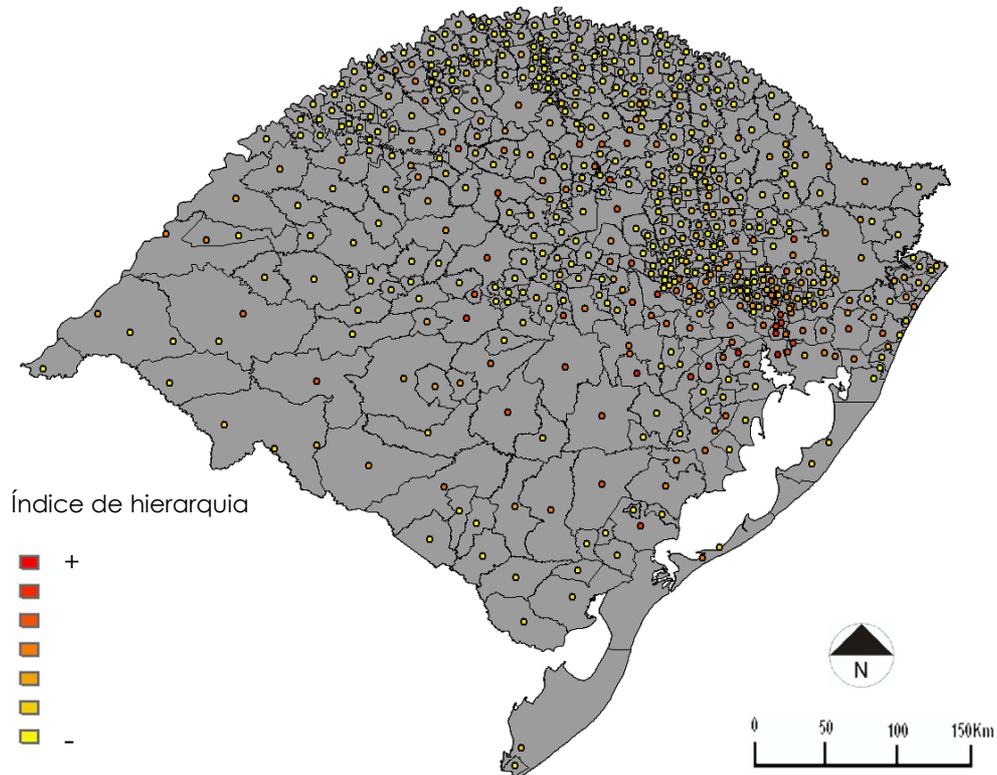


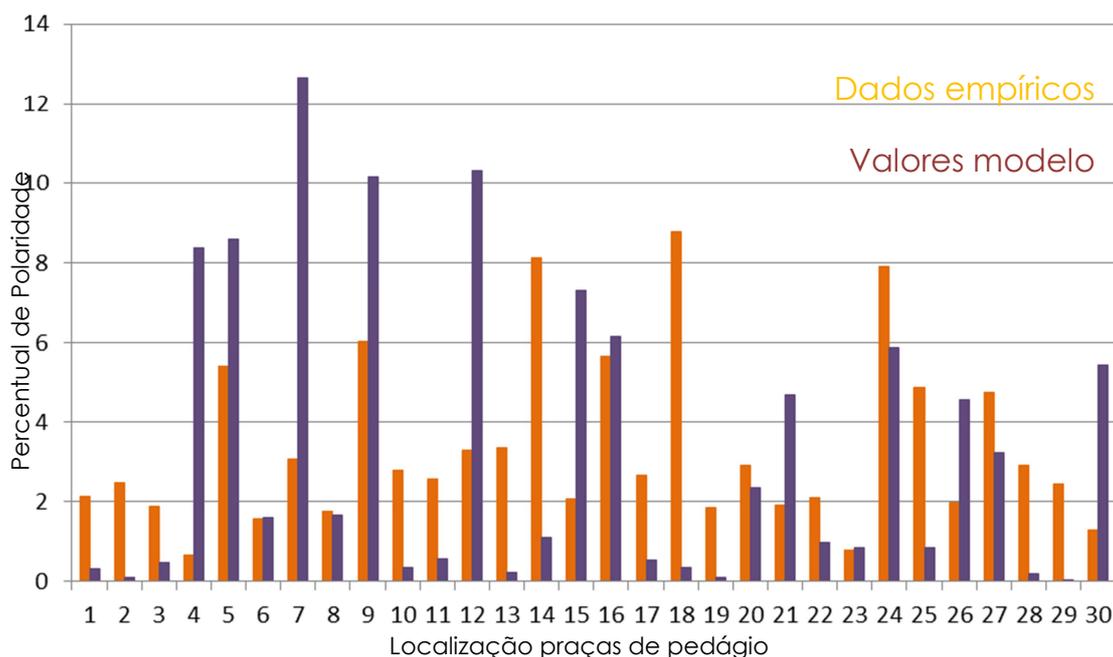
Tabela 7 Polaridade das praças de pedágio no modelo de comércio.

Praça	Polaridade	Proporção %
1	385018592,00	0,316
2	106304504,00	0,087
3	582657152,00	0,478
4	10230022144,00	8,387
5	10474057728,00	8,587
6	1950424320,00	1,599
7	15429962752,00	12,650
8	2015040000,00	1,652
9	12418069504,00	10,181
10	399096320,00	0,327
11	695709312,00	0,570
12	12604148736,00	10,333
13	264422672,00	0,217
14	1358729856,00	1,114
15	8919672832,00	7,313

16	7529589760,00	6,173
17	645366848,00	0,529
18	415160608,00	0,340
19	116372064,00	0,095
20	2849119744,00	2,336
21	5729818112,00	4,697
22	1209383680,00	0,991
23	1001890240,00	0,821
24	7196116992,00	5,900
25	1017026688,00	0,834
26	5555897344,00	4,555
27	3960987904,00	3,247
28	212902672,00	0,175
29	38622544,00	0,032
30	6666406912,00	5,465

Comparou-se então o desempenho relativo de cada uma das praças de pedágio com o fluxo relativo real em cada praça de pedágio. O gráfico abaixo representa a relação de proporção relativa (em porcentagem) x Praça de pedágio.

Gráfico 9 Comparação praças de pedágio no modelo comércio.

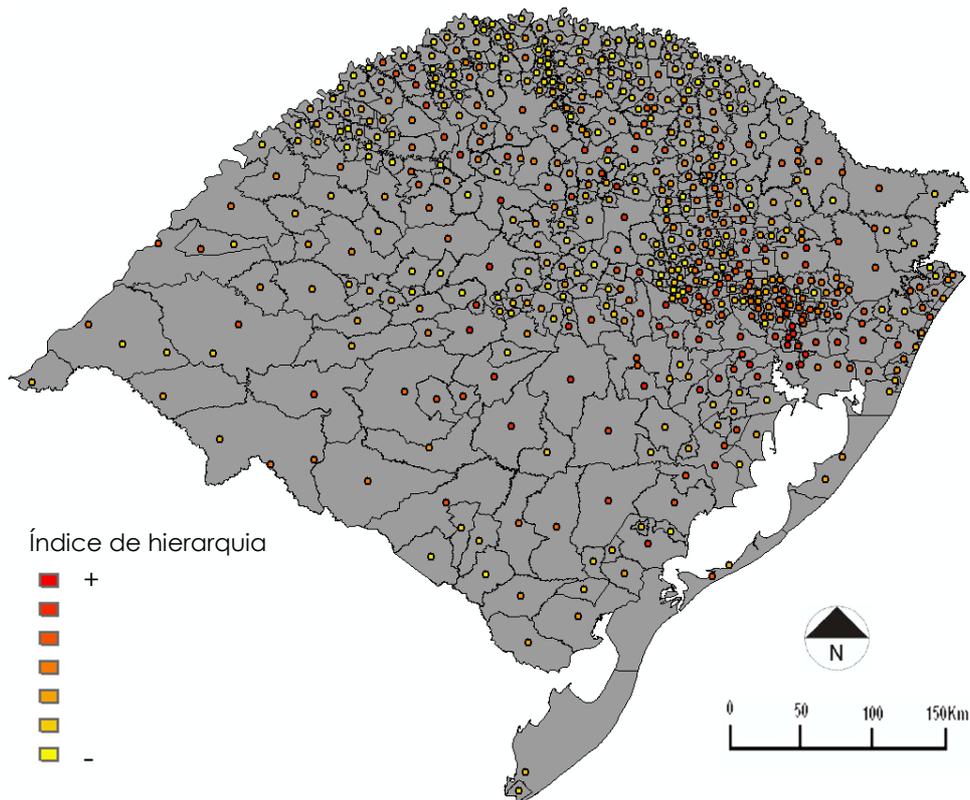


Os resultados calculados mostram que o modelo de comércio é insuficiente para reproduzir o fluxo real marcado nas praças de pedágio do Estado. A medida calculada e os dados reais possuem uma correlação de Pearson fraca, $r=0,23$.

4.3 | Cálculo de Polaridade: Saúde

O modelo foi calculado considerando-se apenas os dados quantitativos de estabelecimento que prestam serviços de saúde de cada cidade como força de atração (oferta). As demandas foram consideradas a partir da população total de cada cidade.

Figura 20 Polaridade modelo saúde.



Destacando as entidades que representam as praças de pedágio no modelo, se tem os valores descritos na tabela 8.

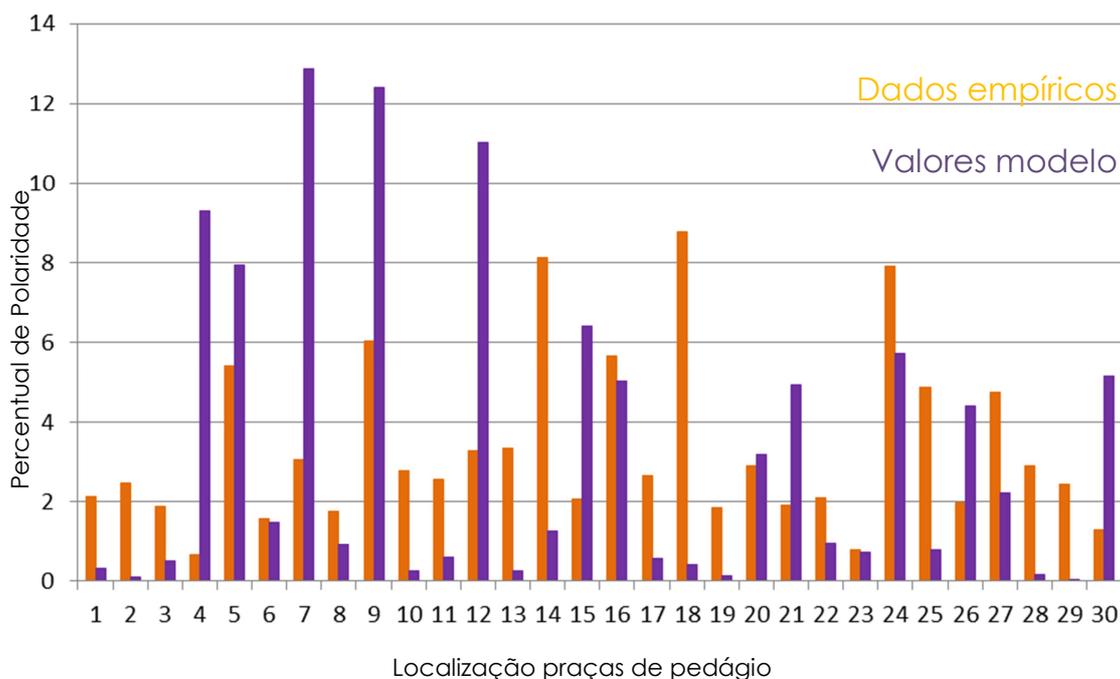
Tabela 8 Polaridade das praças de pedágio no modelo de saúde.

Praça	Polaridade	Proporção %
1	16778278,00	0,304502589
2	4645563,00	0,084310557
3	27205090,00	0,493734837
4	513411104,00	9,317702961
5	437770432,00	7,944929159
6	82323088,00	1,49405043
7	709007808,00	12,86751319
8	50644132,00	0,9191211
9	684411392,00	12,42112219

10	12917017,00	0,234426031
11	32040778,00	0,5814959
12	608448832,00	11,04250656
13	13817993,00	0,250777502
14	69999048,00	1,270386113
15	353711008,00	6,419366627
16	276002976,00	5,009073093
17	30784432,00	0,558694954
18	22792444,00	0,413651402
19	6126039,00	0,111179153
20	176749664,00	3,207762463
21	271777536,00	4,932387189
22	52358908,00	0,950241918
23	38394752,00	0,696811759
24	315478272,00	5,725495234
25	41817188,00	0,758924249
26	243642032,00	4,421766622
27	122431600,00	2,221964568
28	8510872,00	0,154460581
29	2108886,75	0,038273384
30	283953696,00	5,153367688

Comparando os dados obtidos pelo modelo com os dados de fluxo real nas praças de pedágio se tem a seguinte relação.

Gráfico 10 Comparação praças de pedágio no modelo saúde.

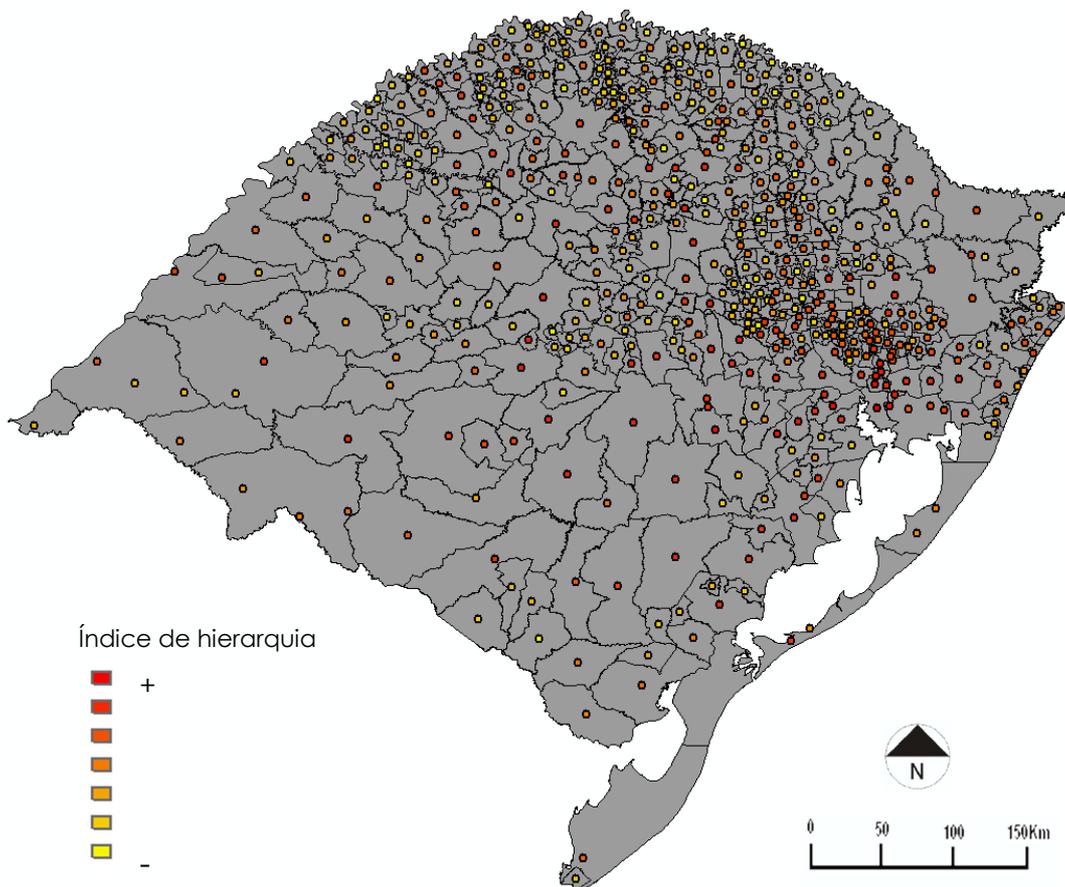


O cálculo aponta para uma moderada relação DE 0,31 entre o cálculo de centralidade polar somente com as instituições de saúde e da população.

4.4 | Cálculo de Polaridade: Educação

O modelo foi calculado considerando-se apenas os dados quantitativos de instituições de ensino de cada cidade como força de atração (oferta). As demandas foram consideradas a partir da população total de cada cidade.

Figura 21 Polaridade modelo educação.



Destacando-se os resultados dos pontos que simulam as praças de pedágio se tem a tabela a seguir.

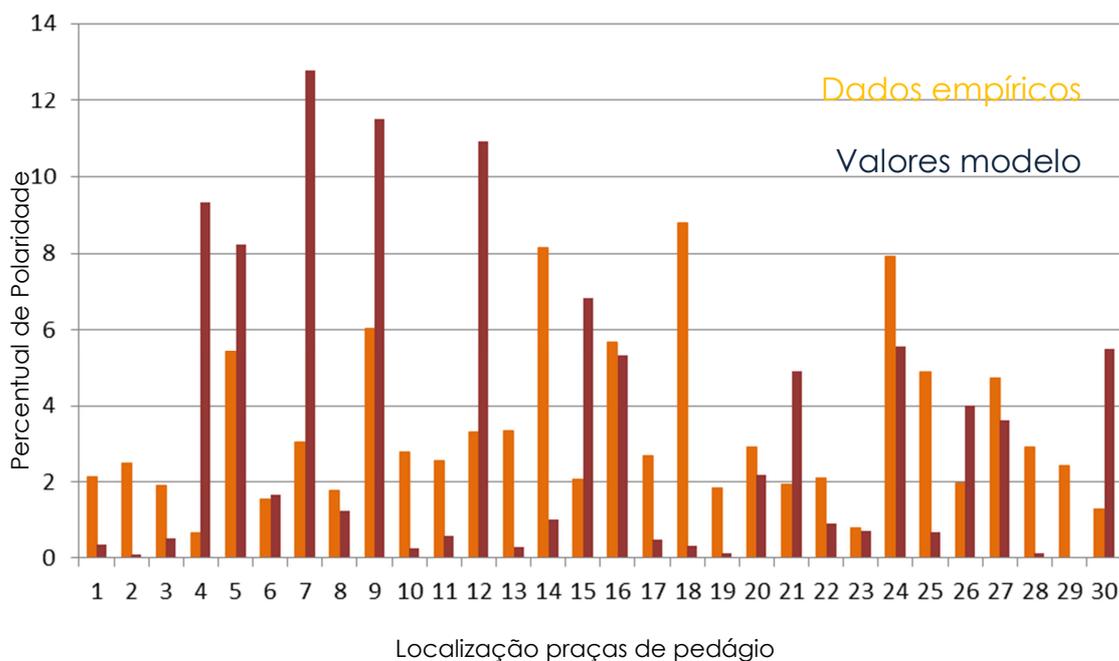
Tabela 9 Polaridade das praças de pedágio no modelo de educação.

Praça	Polaridade	Proporção %
1	14086756,00	0,34
2	3947508,25	0,09
3	21793800,00	0,52
4	387406848,00	9,31
5	342172416,00	8,22
6	68685392,00	1,65
7	532549376,00	12,80
8	51450344,00	1,24
9	478213248,00	11,49

10	10777437,00	0,26
11	24010522,00	0,58
12	454597120,00	10,93
13	11577679,00	0,28
14	43141344,00	1,04
15	283667232,00	6,82
16	221877136,00	5,33
17	20085620,00	0,48
18	12717433,00	0,31
19	5378168,00	0,13
20	91169632,00	2,19
21	203664288,00	4,89
22	36913236,00	0,89
23	29365086,00	0,71
24	232369728,00	5,58
25	27518190,00	0,66
26	166707424,00	4,01
27	149909664,00	3,60
28	4966498,50	0,12
29	1120062,00	0,03
30	228932240,00	5,50

O comparativo dos resultados obtidos no modelo com os dados empíricos apresentam uma correlação moderadamente fraca, $r=0,28$.

Gráfico 11 Comparação praças de pedágio no modelo educação.



4.5 | Síntese

A Tabela 10 apresenta os resultados gerais obtidos pela modelagem das ofertas de cada cidade em separado.

Tabela 10 Correlação dos resultados.

Ofertas consideradas no cálculo da Polaridade	Coefficiente de correlação Pearson com fluxos reais
Indústria	0,25
Comércio	0,23
Saúde	0,31
Educação	0,28

Com os resultados obtidos a partir do *software Medidas Urbanas*, se tem relações sem aparente ligação direta entre os modelos e os dados empíricos, quando analisados individualmente. Essa análise inicial mostra que o carregamento em separado das ofertas não é capaz de representar a força de interação espacial entre as cidades, neste caso, representada pelo fluxo real entre as cidades. Estas baixas correlações mostram também que as relações entre as cidades são de grande complexidade, e não são determinadas por apenas um elemento ou característica socioeconômica das mesmas. Nesse sentido, a próxima seção apresenta uma maneira de calibrar e ponderar tais carregamentos a fim de que se obtenham resultados satisfatórios quando da comparação com dados empíricos.

4.6 | Calibração do modelo e ponderação de valores

A literatura revisada havia apontado que a interação entre cidades depende de diversos aspectos da oferta de serviços. A partir dessa constatação, surge o próximo problema a ser resolvido: Qual é a melhor maneira de calcular as possíveis relações entre os indicadores e os dados empíricos?

A partir de ferramentas matemáticas, se optou por utilizar o chamado “método dos mínimos quadrados”, definido como uma técnica de otimização que busca minimizar as diferenças entre valores estimados e dados observados. Amplamente usado na econometria, busca maximizar o ajuste de determinado modelo aos dados observados.

O método consiste conceitualmente em tentar estimar uma determinada característica, ou variável, Y. Para tal, parte-se de uma característica X ou um conjunto de características que se acredita terem poder de explicação sobre Y.

Caracteriza-se então como um método de calibração do modelo com dados reais ou previamente obtidos a partir de cálculos. Em outras palavras, se quer verificar se existem constantes tais que se possa escrever a proporção do volume médio de tráfego como uma combinação dos indicadores escolhidos? Ou seja:

$$V_F = K_1 \cdot Ed + K_2 \cdot Ind + K_3 \cdot Sd + K_4 \cdot Com + Re \quad (4)$$

Onde se tem:

V_F = Valor de fluxo real;

Ed = Carregamento referente à Educação;

Ind = Carregamento referente à Indústria;

Sd = Carregamento referente à Saúde;

Com = Carregamento referente ao comércio;

Re = Resíduo. Valor que representa tudo o que não está descrito pelos indicadores estimados;

K_1, K_2, K_3, K_4 = Constantes reais que representam o “peso” de cada indicador associado.

Partindo do espaço amostral de dados empíricos do fluxo médio nas praças de pedágio, e dos resultados obtidos a partir dos cálculos dos indicadores anteriormente descritos, pode-se descrever o modelo na forma matricial dada

por:

N ^o pedágio	Fluxo real		Valores obtidos nos modelos calculados					Constantes		resíduos	
1	3793	=	1	93592952	385018592	16778278	14086756	X	$\begin{bmatrix} K_0 \\ K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ K_4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} Re_1 \\ Re_2 \\ Re_3 \\ \vdots \\ Re_{30} \end{bmatrix}$	(5)
2	4414		1	27074980	106304504	4645563	3947508,25				
3	3377		1	179076016	582657152	27205090	21793800				
⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮				
⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮				
30	2326		1	1562408064	6666406912	283953696	228932240				

E a matriz residual pode posteriormente ser descrita como um valor único, resultado da soma do quadrado dos resíduos parciais. Os cálculos estão indicados no Anexo – Cálculos Matriciais (p. 93).

A partir destes cálculos se chega a uma combinação dos fatores utilizados. Observa-se o alto peso atribuído aos equipamentos de saúde e de educação na calibração do modelo, se comparados à indústria e ao comércio:

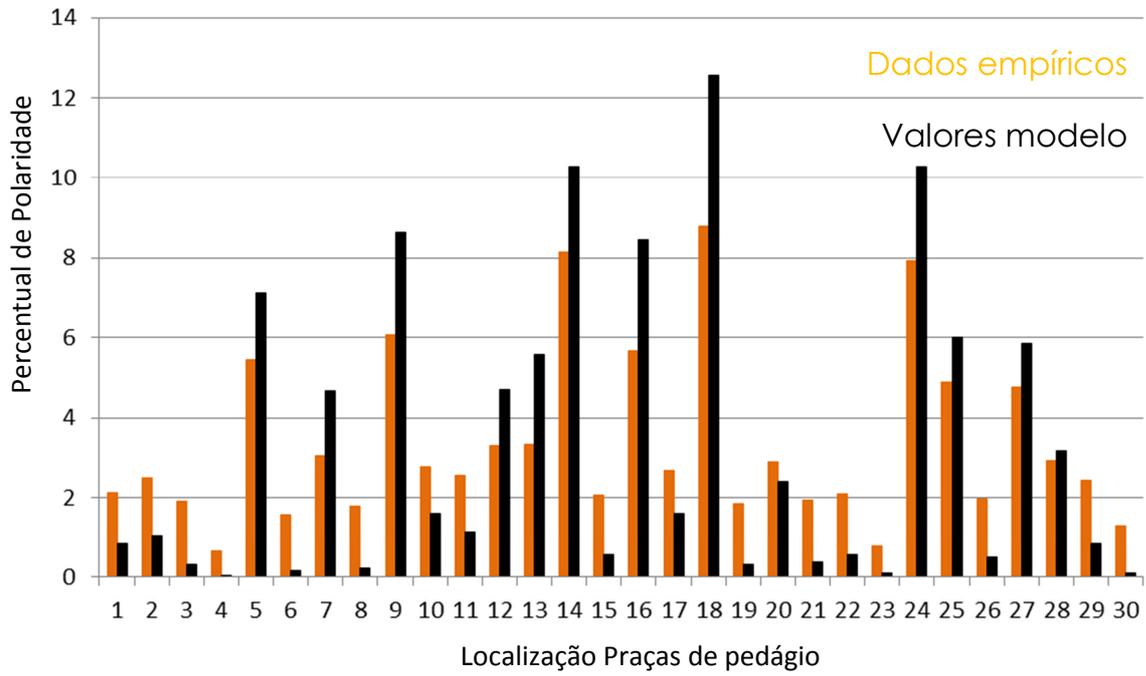
$$V_F = 5,79.Ed + 1,98.Ind + 7,9.Sd + 3,78.Com + 3,18^{(6)}$$

Essa ponderação é utilizada então para carregar novamente o modelo construído, a fim de ser calculado no software Medidas Urbanas. Cada nó do grafo (figura 17) representa uma cidade, praça de pedágio ou ligação rodoviária. Enquanto os pontos representando as cidades são carregados de acordo com sua população e com a combinação de fatores descrita acima, os pontos restantes (praças de pedágio e rodovias) permanecem sem carregamento algum.

A partir dos resultados obtidos com os indicadores individualmente, se obteve a proporção de fluxo de cada um dos indicadores na malha do modelo, especificamente nos pontos que representam as praças de pedágio. A partir disso, com o uso do método dos mínimos quadrados se busca uma combinação adequada destes valores a fim de reproduzir a proporção real do fluxo médio nas praças de pedágio. A correlação entre o modelo e o fluxo real é de r=0,94, o que se configura como uma relação muito forte, próxima ao valor ideal 1. Pode-se comparar os resultados do modelo com os empíricos no

gráfico a seguir, e os resultados dessa aplicação são descritos nas próximas seções.

Gráfico 12 Comparação praças de pedágio e modelo ponderado.

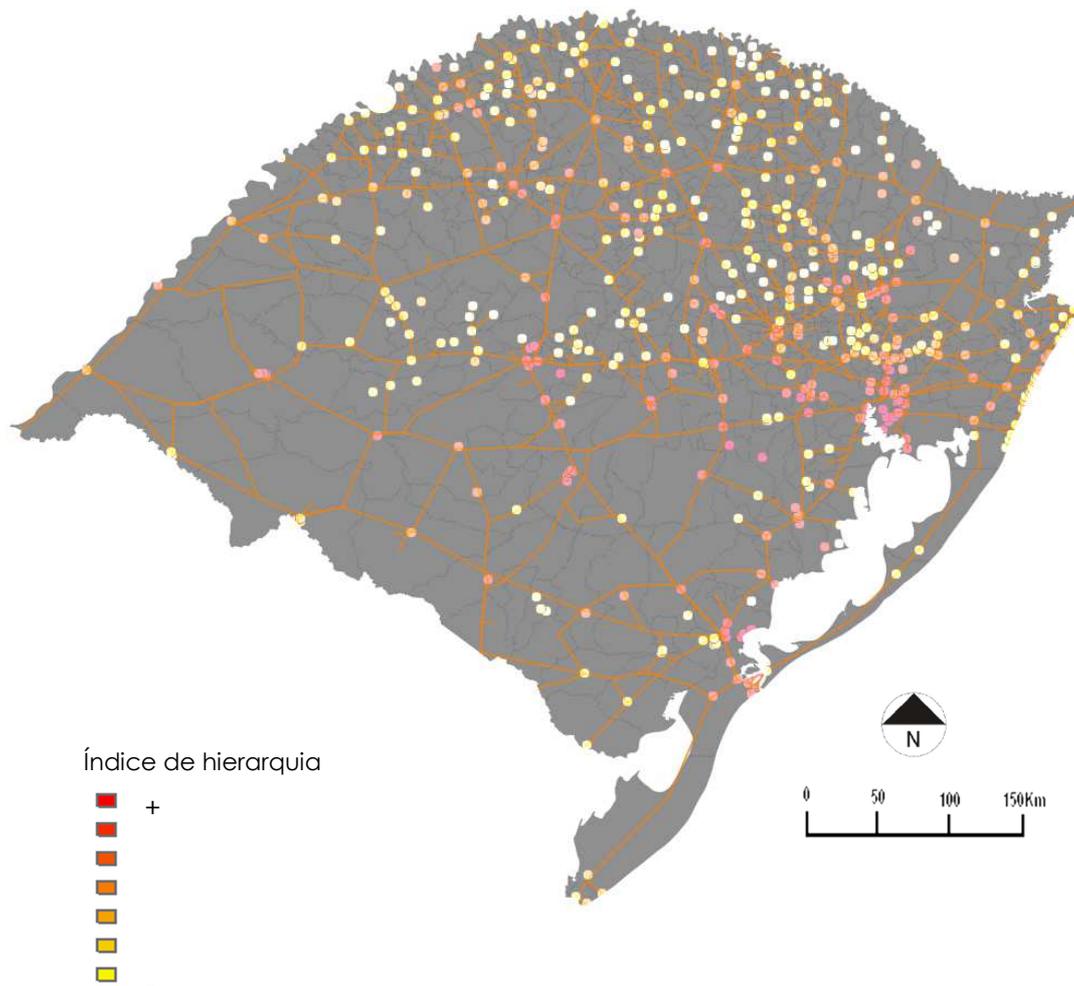


4.7 | Análise do indicador de hierarquia regional

O indicador de hierarquia regional provém da aplicação do modelo de Polaridade calibrado. Entende-se que o cálculo descrito na seção anterior descreve a proporção de fluxo em cada praça de pedágio virtual de forma semelhante ao fluxo médio real. Dessa forma é possível comparar o fluxo virtual nos pedágios com o fluxo médio real.

Tendo as proporções se mantido e, portanto também se mantido a hierarquia de uso entre as praças de pedágio, se leva a crer que o mesmo cálculo descreve de forma semelhante o fluxo em todo o sistema regional. Descrevendo assim, a movimentação das populações dentro da região atraídas pelos indicadores ponderados. A partir disso, se entende que o indicador escolhido, de Polaridade é também capaz de descrever as diferenças hierárquicas entre as cidades.

Figura 22 Hierarquia regional dos municípios.



O modelo identifica define então a hierarquia das cidades de uma região, baseado no fluxo de pessoas resultante de forças de atração das cidades. Tem-se essa hierarquia representada na forma de um ranking de cidades. (tabela 11).

Tabela 11 *Quinze municípios com maior índice de Polaridade*

Classificação	Cidade	Percentual de Polaridade
01	Porto Alegre	6,71
02	Caxias do Sul	3,10
03	Santa Maria	2,71
04	Canoas	2,36
05	Passo Fundo	1,89
06	Pelotas	1,57
07	Novo Hamburgo	1,41
08	Bento Gonçalves	1,40
09	São Leopoldo	1,39
10	Rio Grande	1,37
11	Santa Cruz do Sul	1,32
12	Ijuí	1,25
13	Uruguaiana	1,19
14	Viamão	1,16
15	Bagé	1,09

Destaca-se a presença de cidades que fazem parte da região metropolitana de Porto Alegre, capital do Estado e cidade com maior número de habitantes e serviços. Evidencia-se também a presença de Caxias do Sul (segunda cidade em número de habitantes) e Bento Gonçalves, cidades que fazem parte da Região Metropolitana da Serra Gaúcha.

A presença de poucos municípios localizados na metade oeste do Estado na lista das quinze cidades mais hierárquicas pode ocorrer por diversos motivos diferentes. Uruguaiana (décima quinta cidade em número de habitantes) aparece como décima terceira cidade em hierarquia regional. Os municípios localizados mais a oeste possuem áreas relativamente grandes em relação aos outros municípios e às suas próprias áreas urbanas. Isso resulta em uma concentração menor de população e serviços disponíveis por área.

Comparando-se também as ligações entre as cidades, se percebe que é uma situação mais comum nessa região estradas que não cortam os centros urbanos, diminuindo assim o fluxo de pessoas nas cidades. Ressalta-se também da possibilidade do efeito de borda, que pode prejudicar para fins do cálculo de hierarquia cidades localizadas nas fronteiras do Estado.

Uma vez realizado o cálculo de hierarquia regional, é possível discutir e comparar a hierarquia entre as diferentes cidades que compõe o sistema. Mas qual é o alcance da força de atração de uma cidade? A próxima seção discute a definição de uma área de influência para as cidades.

4.8 | Regiões de Influência das cidades

Para uma análise breve das áreas de influência das cidades, se utilizou o Índice de Moran Local. Esta é uma ferramenta estatística que identifica relações e influências espaciais a partir de cálculos de covariância do indicador desejado. O software ArcGIS⁷ reproduz esse cálculo a partir da ferramenta Cluster Analysis disponível a partir de *Ferramentas de Estatística Espacial > Render > Cluster*.

A partir de Anselin (1994) este indicador delimita regiões com grandes diferenças de indicadores (zonas frias) e regiões com variância pequena (zonas quentes). Zonas frias indicam então regiões compostas por cidades com grande variedade de índice de hierarquia entre elas. As aglomerações definidas por essa metodologia são caracterizadas a partir de uma relação entre proximidade dos pontos e razão entre seus índices de hierarquia. Entende-se que para os fins da pesquisa, a análise a partir dessa ferramenta é coerente.

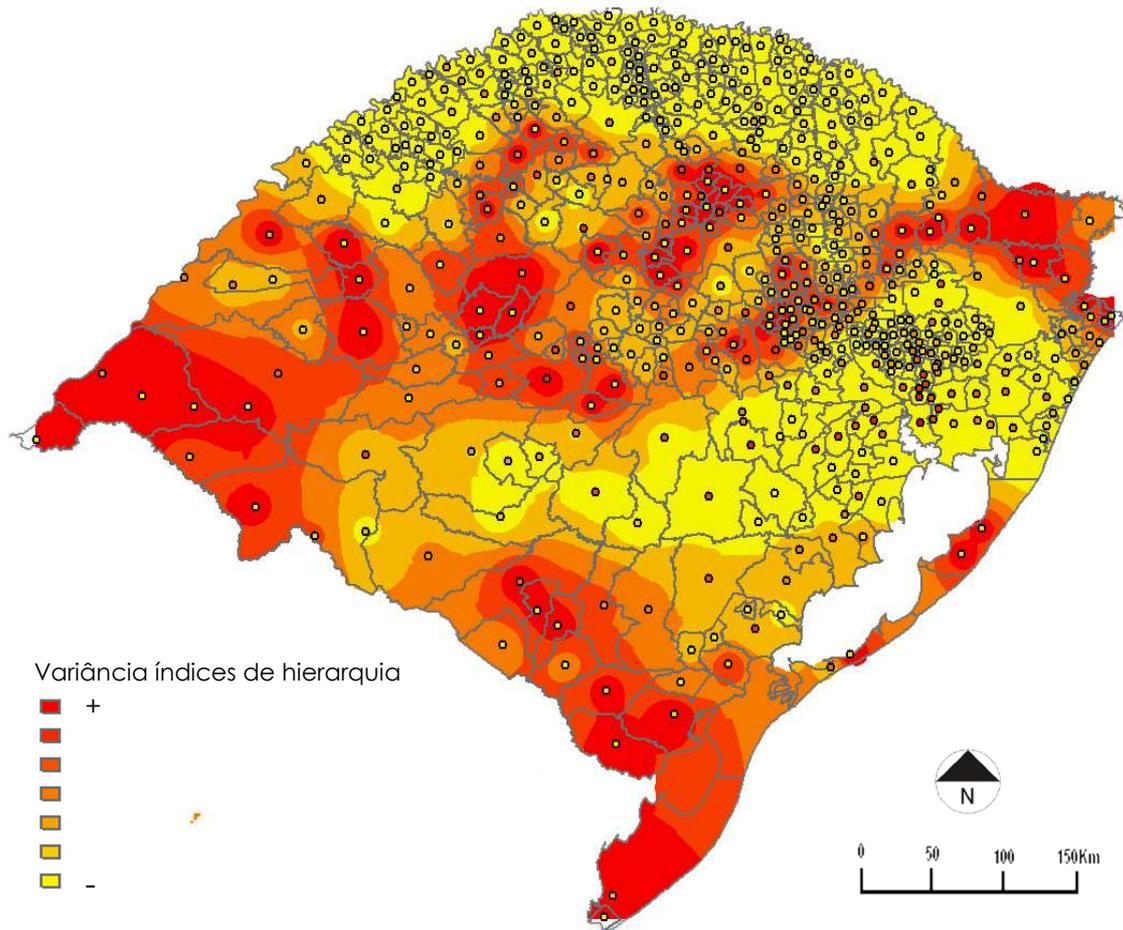
Ao mesmo tempo regiões classificadas por cores mais quentes indicariam cidades hierarquicamente semelhantes. Verifica-se a existência dessas zonas em regiões mais afastadas dos grandes centros urbanos. A partir da delimitação de áreas com o uso do índice de hierarquia, se entende que também se delimitam áreas de influência das cidades que compõe estas regiões.

Destaca-se (figura 23) a região de influência de Porto Alegre e de municípios bem colocados no ranking de hierarquia regional como Canoas, Novo Hamburgo, São Leopoldo e Viamão, que fazem parte da maior região de influência identificada no Estado.

Evidencia-se também a região de influência dos municípios localizados na parte norte do Estado, que parece compor uma área de grande alcance. Talvez pelo tamanho relativamente pequeno dos municípios, que conseqüentemente apresentam suas áreas urbanas mais próximas umas das outras, isso possibilita que haja maiores fluxos de pessoas entre estas cidades.

⁷ ESRI: Environmental Systems Research Institute. ArcGIS Desktop: Versão 10. Redlands, Califórnia, EUA, 2011.

Figura 23 Áreas de influência.



Fonte: Produção do autor.

Na próxima seção estes resultados serão discutidos a partir de uma breve comparação com os dados do REGIC. Tal estudo apresenta também áreas de influência das cidades, assim como classificação hierárquica das mesmas.

4.9 | Comparação e análise de resultados

O estudo das Regiões de Influência das Cidades (IBGE, 2007) classifica e divide as cidades brasileiras em cinco grandes níveis, sendo estes divididos em subníveis. Esta classificação leva em consideração uma série de fatores socioeconômicos relacionados às cidades.

As cidades são classificadas neste estudo como: 1. Metrôpole (1.1 Grande metrôpole nacional; 1.2 Metrôpole Nacional; 1.3 Metrôpole); 2. Capital Regional (2.1 Capital regional A; 2.2 Capital regional B; 2.3 Capital regional C); 3. Centro sub-regional (3.1 Centro sub-regional A; 3.2 Centro sub-regional B); 4. Centro de zona (4.1 Centro de zona A; 4.2 Centro de zona B) e 5. Centro local.

Essa estrutura hierárquica não permite comparação entre cidades dentro de uma mesma classificação, *i.e.* cidades classificadas como capital regional são consideradas hierarquicamente iguais. A nível de comparação, será usada a totalidade de municípios do Rio Grande do Sul classificados nos dois primeiros níveis e no subnível 3.1 da classificação do REGIC para análise dos resultados desta pesquisa.

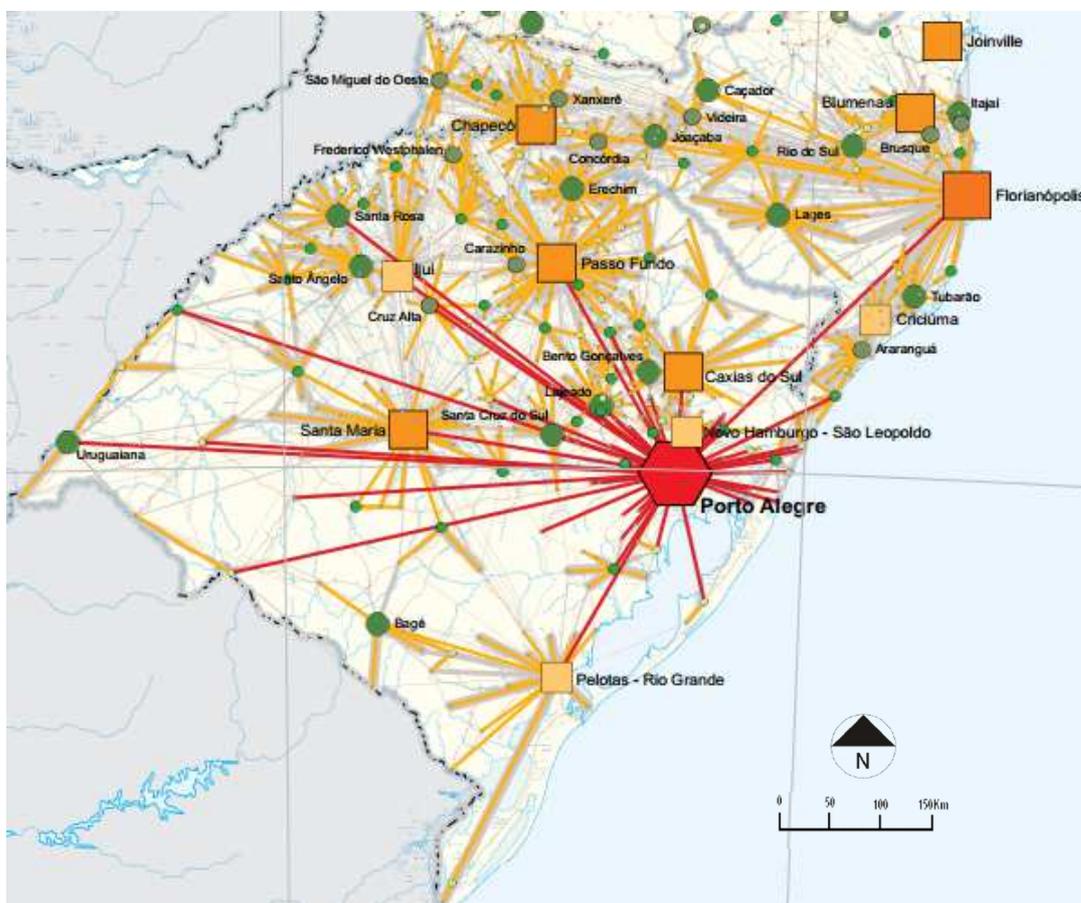
Tabela 12 Comparação de hierarquias.

REGIC		Modelo de Polaridade calibrado	
Classificação	Cidade	Classificação	Cidade
1.3 Metrôpole	Porto Alegre	01	Porto Alegre
2.2 Capital Regional B	Caxias do Sul	02	Caxias do Sul
	Passo Fundo	03	Santa Maria
2.3 Capital Regional C	Santa Maria	04	Canoas
	Ijuí	05	Passo Fundo
	Novo Hamburgo	06	Pelotas
	São Leopoldo	07	Novo Hamburgo
	Pelotas	08	Bento Gonçalves
3.1 Centro Sub-Regional A	Rio Grande	09	São Leopoldo
	Santa Cruz do Sul	10	Rio Grande
	Lajeado	11	Santa Cruz do Sul
	Uruguaiana	12	Ijuí
	Santa Rosa	13	Uruguaiana
	Uruguaiana	14	Viamão
	Santo Ângelo	15	Bagé
	Bagé	16	Lajeado
	Bento Gonçalves	17	Erechim
	Erechim	18	Gravataí

As duas listas apresentam uma classificação semelhante às maiores cidades do Estado. Pode-se destacar uma maior presença de cidades próximas à Porto Alegre como Canoas, Viamão e Gravataí bem classificadas de acordo com seu índice de Polaridade. Esta situação pode ser explicada a partir do modelo

utilizado. A proximidade com Porto Alegre faz com que essas cidades estejam presentes no caminho mínimo de grande parte da população residente em outras cidades do Estado que buscam serviços em Porto Alegre.

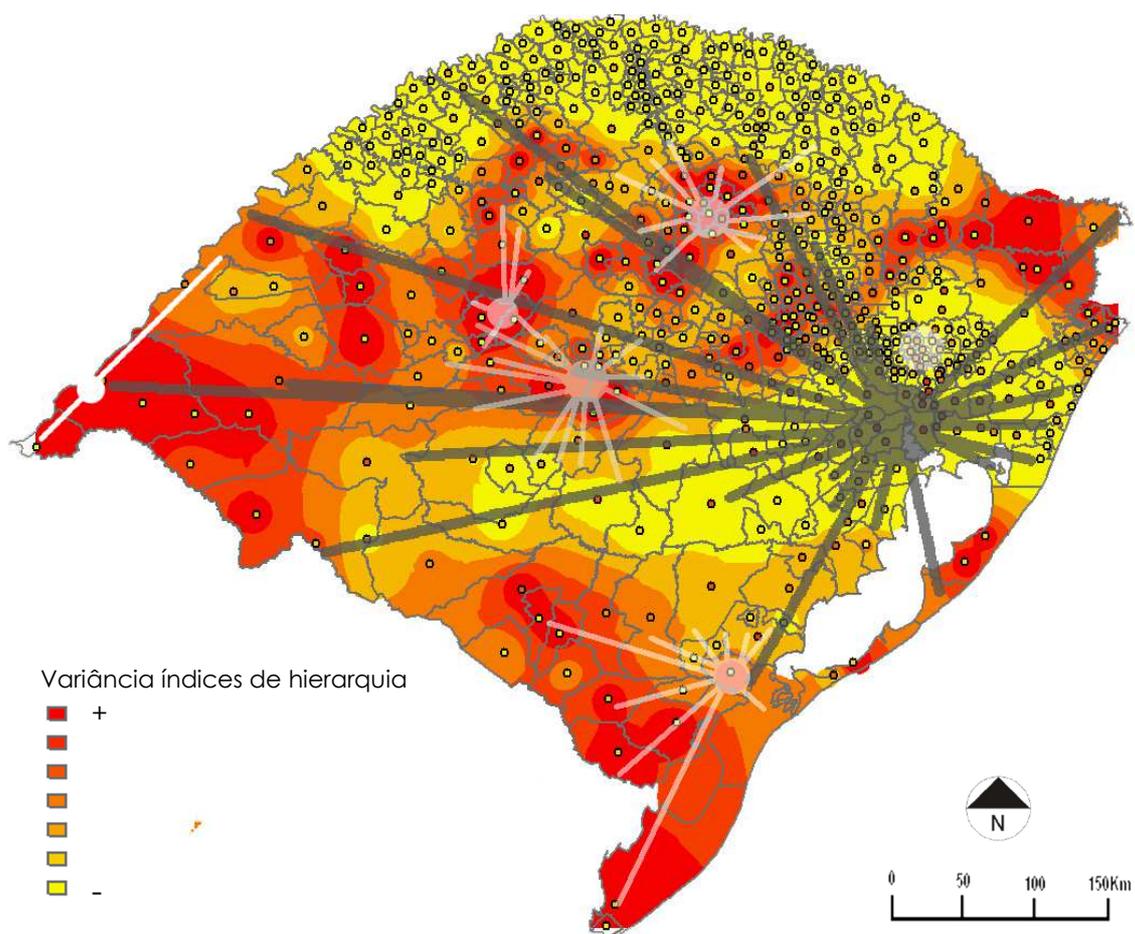
Figura 24 Mapa de influências do REGIC.



O mapa produzido pelo REGIC mostra as áreas de influência das cidades a partir de linhas. Destaca-se a amplitude da influência de Porto Alegre. Entende-se que essa influência é também gerada pelos municípios próximos à capital.

O mapa de influências gerado a partir do índice de Moran Local parece apresentar uma área menor de influência de Porto Alegre, assim como de outras grandes cidades. Esse efeito ocorre porque a representação, por escala de cores, cria combinação das mesmas quando as áreas de influência se sobrepõem.

Figura 25 Comparação entre mapas de influência.



A partir da sobreposição do mapa gerado pela metodologia da pesquisa e das principais metrópoles do Estado e suas áreas de influência caracterizadas pelo REGIC se pode reconhecer algumas semelhanças nos mapas. Ressalta-se que o REGIC considera também as influências interestaduais. Isso constitui em grandes diferenças nas cidades da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, uma vez que estão próximas a algumas metrópoles do Estado de Santa Catarina.

O mapa gerado pelo REGIC prioriza as relações entre as grandes metrópoles e as cidades de hierarquia imediatamente menor, representadas em conexões através de linhas. O mapa em escala de cores, gerado a partir da metodologia da pesquisa busca agrupar os municípios pela proximidade física e relação de hierarquia regional. Dessa forma, se busca mostrar tanto as áreas de influência das grandes cidades como as principais forças de atração a que estão submetidas as cidades consideradas pequenas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo estão dispostas as considerações a partir da pesquisa, da construção do modelo e de sua aplicação desenvolvida no capítulo anterior. A partir do uso de dados socioeconômicos se propôs uma metodologia capaz de calcular um indicador de hierarquia regional.

Com a intenção de contribuir para o debate sobre a hierarquia regional, este trabalho investigou métodos capazes de avaliar e mensurar a hierarquia regional. O método levou em consideração o fluxo entre as cidades, que é efeito das relações de demanda e oferta entre as mesmas.

A partir de uma metodologia baseada na construção de um modelo configuracional para mensuração da hierarquia regional, se aplicou o método no Rio Grande do Sul com os dados referentes ao ano de 2010. A metodologia foi validada a partir da comparação de dados empíricos que serviram de base também para a ponderação posterior dos indicadores utilizados. Identificou-se assim a hierarquia regional do Estado, e posteriormente a definição através de análise visual de áreas de influência. Considera-se assim que os objetivos específicos da pesquisa foram devidamente alcançados.

A hipótese do trabalho parece coerente, validada pelos resultados da pesquisa. Através de um conjunto de indicadores socioeconômicos se ponderou a hierarquia regional em um sistema de cidades.

Neste contexto, a pesquisa buscou contribuir para o desenvolvimento de metodologias para avaliação da hierarquia regional, configurando assim uma possível ferramenta de suporte a decisões na esfera do planejamento. Através do uso da metodologia desenvolvida se pode monitorar o desempenho de determinada cidade com relação às demais a partir de uma análise comparativa entre diferentes épocas. A seguir serão analisados diferentes aspectos da pesquisa.

Os resultados obtidos parecem indicar um caminho adequado à análise da hierarquia regional. Entende-se que o modelo é compatível com o problema da mensuração da hierarquia urbana.

O indicador de Polaridade permite que sejam calculados os caminhos mínimos entre as cidades a partir da malha reproduzida e das forças de demanda e oferta ponderadas de cada cidade. Configura-se a partir disso uma representação do fluxo de demanda (população) nas rodovias e que passam pelas cidades. Identifica-se também quais são os pontos mais estressados da malha, relevando assim uma possível aplicação para estudos de viabilidade de transportes.

Entende-se que a maior contribuição da pesquisa para a linha de estudos configuracionais é a aplicação de uma metodologia matemática para a calibragem do modelo calculado. O método dos mínimos quadrados se mostra eficaz em ponderar pesos de diferentes características para chegar à proporção desejada. Evita-se, com o uso dessa técnica, a metodologia de tentativa e erro comum a estudos da área na busca de pesos que aproximem os resultados do desejado. Pesquisas que demandem grande volume e variedade de indicadores resultarão em cálculos matriciais de grande complexidade, sendo recomendado o uso de softwares específicos para isso.

Releva-se também a aplicação desta metodologia em outros trabalhos. Para estudos de políticas públicas, de planejamento regional, pesquisas de tendências de crescimento urbano, entre outros, que se utilizam de pesquisas de origem-destino, se pode considerar a metodologia aqui desenvolvida como possível estudo piloto para tais pesquisas. Considera-se que estudos de origem-destino são de grande relevância, mas demandam grande tempo e investimento. Podendo assim se utilizar da metodologia aqui desenvolvida como possível aplicação anterior aos estudos de origem-destino.

O método valoriza e evidencia conexões espaciais entre as cidades a partir de reprodução da configuração viária real. Isto representa uma vantagem em relação aos modelos usualmente empregados neste tipo de problema.

Outra potencialidade do método é o uso de indicadores quantitativos no modelo. Estes indicadores são de fácil acesso e podem se adaptar aos objetivos de novas pesquisas. A calibração do modelo ponderação posterior destes indicadores através do método dos mínimos quadrados representa ganho de tempo de pesquisa, uma vez que se elimina a necessidade de

inúmeras tentativas de cálculo para ponderação dos pesos dos indicadores. A escolha dos indicadores socioeconômicos valoriza o fluxo diário de pessoas entre as cidades. Movimentos pendulares, que são traduzidos em grande volume de tráfego de pessoas parecem estar englobados também neste método.

A abordagem e definição dos indicadores sócios espaciais levados em consideração na construção do modelo parecem estar alinhadas e coerentes ao quadro teórico e às discussões atuais nas pesquisas configuracionais. O modelo construído parece explorar bem os indicadores escolhidos, e tem aparente êxito em simplificar a realidade e o próprio processo de cálculo de hierarquia.

A utilização de dados dos fluxos reais em pontos determinados das rodovias (pedágios), parece adequada e tais pontos podem ser considerados como uma espécie de amostragem do que ocorre em toda a malha viária regional. Estes dados estão disponíveis pelas concessionárias e são de fácil acesso. Visto que se reconheçam as medidas como capazes de traduzir o fluxo real em um modelo, segue que tais medidas também podem ser consideradas adequadas para a mensuração da hierarquia regional. Essa hierarquia identificada emerge da relação entre todas as cidades, é sistêmica.

Os grandes índices de hierarquia regional calculados em cidades próximas à Porto Alegre e que não constam entre cidades de grande hierarquia no REGIC podem indicar que o modelo permite uma descrição da Polaridade do sistema tão desagregada quanto se deseje. A proximidade física entre cidades pode distorcer a real importância de uma delas em relação a todo o sistema. Dito isso, se ressalta que nenhuma cidade está isolada do seu entorno e, portanto, devem ser analisadas de acordo com a região em que está inserida. Pode-se obter a partir dessa metodologia resultados tão desagregados quanto se queira, chegando ao caso extremo de listar as cidades uma a uma.

Como principais limitações da metodologia, destacam-se (i) não é possível, a partir deste estudo, considerar a qualidade das ligações entre cidades, que são consideradas homogêneas – todas as estradas são virtualmente iguais, não diferindo em pavimentação, declividade, largura, ou qualquer outra

característica que influencie o fluxo nelas – o que acaba por prejudicar o estudo, visto que um sistema com ligações ou estradas homogêneas não é trivial - Novos estudos poderiam adotar o recurso da impedância, que permite associar determinadas restrições na escolha dos caminhos mínimos no grafo. Estas impedâncias podem representar tais dificuldades ou limitações no uso de determinada rodovia.; (ii) a adoção dessa metodologia exige uma série de simplificações a serem adotadas, como a anteriormente citada. Destaca-se também o efeito de borda do sistema, sabe-se que os municípios localizados nas fronteiras do Estado são prejudicados nessa análise em comparação com a realidade, pois não forma considerados quaisquer fluxos com cidades de fora do Estado; (iii) A construção do modelo foi através de trabalho manual – a ligação entre as cidades se deu a partir da revisão do mapa rodoviário do Estado – o que exige tempo e atenção. Reconhece-se que esse não é o melhor método para a definição de grandes sistemas, demandando assim o uso de algum software que possa validar tais ligações de modo automático.

Ressalta-se por fim que se compreende que o trabalho se trata de um estudo de morfologia através da construção de modelos. Tais modelos levam em conta alguns quesitos específicos que se entende possam representar a cidade, e que por consequência exclui tantas outras características da realidade como, por exemplo, renda média da população, concentração de habitantes por área urbana ou facilidades e dificuldades de acesso às cidades devido à topografia.

O trabalho abre, por fim, a possibilidade de futuras pesquisas baseadas nos resultados obtidos até então. Destaca-se a possibilidade de análise de clusters (aglomerações) formados pelas cidades a partir de aproximações e semelhanças hierárquicas entre cidades. Outra possibilidade de prosseguimento da pesquisa é o aprofundamento da análise de áreas de influência, para a qual a pesquisa aponta uma metodologia de mensuração possível.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, P. *Cities and Regions as Self-Organizing Systems*. Cranfield: Gordon and Breach Science Publishers, 1997;
- ALLEN, J.; ANDERSON, J.; BROWNE, M.; JONES, P. *A Framework for Considering Policies to Encourage Sustainable Urban Freight Traffic and Goods/Services Flows*. 4 volumes. Londres: Universidade de Westminster, 2000;
- ANSELIN, L., *Local Indicators of Spatial Association – LISA*. In: *Geographical Analysis*, Vol. 27, No. 2, 1994;
- BANKS, R. *Growth and Diffusion Phenomena – Mathematical Frameworks and Applications*. Nova York: Springer-Verlag, 1991;
- BATTY, M. *Cities and complexity: understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*. Londres: The MIT Press, 2007;
- BATTY, M. *The New Science Of Cities*. Londres: The MIT Press, 2013;
- BERTALANFFY, L. *Teoria Geral dos Sistemas*. Original 1973. São Paulo: Vozes, 2008;
- BETTENCOURT, L; WEST, G. *Growth, Innovation, Scaling, And The Pace Of Life In Cities*. Pnas, V. 107, N. 17, P. 7301 – 7306. Abril 2007;
- BRASIL. *Estatuto das metrópoles*. Lei No. 13.089, 2015;
- CAMAGNI, Roberto e SALONE, Carlo. *Elementi per una teorizzazione delle reti di città*. In: CAMAGNI, R. e DE BLASIO, G. (Org.). *Le reti di città. Teoria, politiche e analisi nell'area padana*. Milão: Franco Angeli, 1993. p. 53-67.
- CHRISTALLER, W. *Die Zentralen Orte In Süddeutschland*. Jena. Gustav Fischer, 1933;
- COLUSSO, I. *Forças Regionais, Formas Urbanas e Estrutura Interna da Cidade: Um Estudo de Relações*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015;
- ECHENIQUE, M. *Modelos Matemáticos de la estructura urbana*. Buenos Aires: SIAP, 1976;
- ESPÍNOLA, A. *Configuração Espacial e Hierarquia Urbana – Rede de Cidades no Paraná*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003;
- FOCHEZATTO, A.; VALENTINI, P. *Economias de Aglomeração e Crescimento Econômico Regional: Um Estudo Aplicado ao Rio Grande do Sul Usando um Modelo Econométrico com Dados de Painel*. Revista Economia, dezembro 2010;
- FUJITA, M; MORI, T. *On The Evolution Of Hierarchical Urban Systems*. In. *European Economic Review*, Elsevier, V. 43, P. 209-251. Fevereiro 1999;
- GABAIX, X. *The Evolution Of City Size Distributions*. In: Henderson, J.; Thisse, J.-F. (Ed.). *Handbook Of Regional And Urban Economics*. Amsterdam: Elsevier, 2004;

- GARNER, B. *Modelos De Geografia Urbana Y De Localizacion De Asentamientos*. In: *La Geografia Y Los Modelos Socio-Economicos*. Instituto De Estudos De Administracion. Madri, 1971;
- GIBRAT, R. *Les Inégalités Economiques*. Paris, 1931;
- GODINHO, I. *Os Modelos De Richardson E De Von Böventer*. In: Costa, J; Nijkamp, P., 2002, P. 197-217;
- HARREMOES, P. *Late Lessons from Early Warnings: The Precautionary Principle*. Agência Europeia do Ambiente. Environment Issue Report No. 22, p. 1896-2000, 2001;
- HARVEY, D. *A Produção Capitalista do Espaço*. São Paulo: Annablume, 2005;
- HENDERSON, J. *The Sizes and Types of Cities*. The American Economic Review, Vol. 64, No. 4, p. 640-656, 1974;
- HILLIER B., HANSON, J. *The Social Logic of Space*. Cambridge: Cambridge University Press. 1984
- _____, *Space is the Machine*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996;
- HOGGART, K. *Transportation Accessibility: Some References Concerning Applications, Definitions, Importance And Index Construction*. Monticello, Council Of Planning Librarians: Exchange Bibliography 482, 1973;
- HOLMES, T; LEE, S. *Agglomeration Economics*. Chicago: The University Of Chicago, 2010;
- HURIOT, J; THISSE, J. *Economics Of Cities – Theoretical Perspectives*. Londres: Cambridge University Press, 1945;
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Classificação nacional de atividades econômicas - CNAE: versão 2.0*. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 425 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/classificacoes/cnae2.0/cnae2.0.pdf> . Acesso em: 01 jul. 2016.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Regiões de Influências das Cidades 2007 - REGIC*. Rio de Janeiro: IBGE, 2007;
- _____. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>.
- _____. *Relação Anual de Informações Sociais 2010 – RAIS*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010;
- _____. *Arranjos Populacionais e Concentrações Urbanas no Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2013;
- INGRAM, D. *The Concept Of Accessibility: A Search For An Operational Form*. In. *Regular Studies*, V. 5, P.101-107, 1971;
- JACOBS, J. *The Economy of Cities*. Nova York: Vintage Books, 1968;
- KANSKY, K. *Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics*. Tese de Doutorado. Universidade de Chicago. 1963;

- .KRAFTA, R. *Modelling Intraurban Configurational Development*, Environment And Planning B: Planning And Design, V.21, N.1, 1994;
- _____. *Notas de Aula de Morfologia Urbana*. Porto Alegre, UFRGS, 2014;
- KRUGMAN, P; VENABLES, A. *Globalization and the inequality of nations*. The Quarterly Journal of Economics, vol. 110, No. 4, 1995;
- MARSHALL, A. *Princípios de Economia: Tratado Introductório*. Vol. II. 2ª ed. São Paulo: Nova Cultural, 1985 [1895];
- NITSCH, V. *Intrinsic and Functional Aspects of Neuronal Synchrony in Primary Visual Cortex*. Berlim: Freie Univesität, 2009;
- NYSTUEN, J. *Identification of some fundamental spatial concepts*. In: BERRY J (ed) *Spatial analysis*. N Jersey, Prentice Hall, 1968;
- OFFNER, J-M. *"Territorial deregulation": Local authorities at risk from technical networks*. International Journal of Urban and Regional Research, março 2000. vol. 24, nº 1, p.165-182;
- PARETO, V. *La Courbe De La Repartition De La Richesse*. In. *Oevres Completes De Vilfredo Pareto*. Genebra: Busino,1967;
- PEIXOTO, M.. *Marcos legais dos serviços precursores de ATER no Brasil*. In: Congresso Brasileiro de Assistência Técnica e Extensão Rural ConbATER, 2008, Londrina. Congresso Brasileiro de Assistência Técnica e Extensão Rural ConbATER Reconversão da Agricultura: busca de novos modelos. Londrina : Associação dos Engenheiros Agrônomos de Londrina, 2008. p. 544-560.
- PERROUX, F. *O Conceito de Polo de Crescimento*. In: SCHWARTZMAN, Jacques (org.) *Economia regional: textos escolhidos*. Belo Horizonte: UFMG/CEDEPLAR/MINTER, 1977;
- POLIDORI, M.; GRANERO, J.; KRAFTA, R. *Software Medidas Urbanas*. 2001;
- PUMAIN, D. *Scaling Laws And Urban Systems*. In: [Http://www.lscm.unimo.it](http://www.lscm.unimo.it). 2011;
- RICHARDSON, H. *Regional Growth Theory*. Londres: Macmillan, 1973;
- RIO GRANDE DO SUL – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. *Volume médio diário de rodovias – 2010*. In: <http://www.daer.rs.gov.br/vdm-de-rodovias>;
- SASSEN, S. *As Cidades Na Economia Mundial*. São Paulo. Studio Nobel, 1998;
- TEOBALDO, I. *A cidade espetáculo*. Sociologia: Revista do Departamento de Sociologia da FLUP, Vol. XX, 2010, pág. 137-148;
- TORRENS, P. *How Land-Use Transportation Models Work*. Londres: CASA Working Papers, 2000;
- THUNNEN, J. von. *Isolated State*. Oxford: Pergamon Press, 1966;
- VARGAS, H. *Comércio e Cidade: Uma Relação de Origem*. Memórias do Comércio Paulista. São Paulo: Sesc, 2012;
- ZIPF, G. *Human Behavior And The Principle Of Least Effort*. Cambridge: Addison-Wesley, 1949.

ANEXOS – CÁLCULOS MATRICIAIS

A solução de mínimos quadrados pode ser escrita como $e'e$, onde a apóstrofe significa a matriz inversa de e .

Substituindo e por $y-Xk$ tem-se $S(b) = (y-Xk)'(y-Xk)$.

Aplicando ao caso da pesquisa, se define $S(b)$ = fluxo real das praças de pedágio. A fim de melhor entendimento, os cálculos estão apresentados na próxima página, configurada com orientação paisagem dado o tamanho das matrizes utilizadas.

Foram explicitadas as matrizes criadas a partir dos dados calculados no software Medidas Urbanas e dos dados empíricos de praças de pedágio. A matriz resultante ao fim dos cálculos expressa os pesos de cada indicador e o valor residual de fluxo não coberto pelos indicadores escolhidos.

$$S(b) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 93592952 & 27074980 & 179076016 & \dots & 1562408064 \\ 385018592 & 106304504 & 582657152 & \dots & 6666406912 \\ 16778278 & 4645563 & 27205090 & \dots & 283953696 \\ 14086756 & 3947508,25 & 21793800 & \dots & 228932240 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 93592952 & 27074980 & 179076016 & \dots & 1562408064 \\ 385018592 & 106304504 & 582657152 & \dots & 6666406912 \\ 16778278 & 4645563 & 27205090 & \dots & 283953696 \\ 14086756 & 3947508,25 & 21793800 & \dots & 228932240 \end{pmatrix}^{-1} \times$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 93592952 & 27074980 & 179076016 & \dots & 1562408064 \\ 385018592 & 106304504 & 582657152 & \dots & 6666406912 \\ 16778278 & 4645563 & 27205090 & \dots & 283953696 \\ 14086756 & 3947508,25 & 21793800 & \dots & 228932240 \end{pmatrix} \times \begin{bmatrix} 3793 \\ 4414 \\ 3377 \\ \vdots \\ 2326 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 4160,77 & 21970,06 & 5510,06 & 121978 \\ 4160,77 & 1336622,70 & 6615757,67 & 1778884,92 & 38239401,19 \\ 21970,06 & 6615757,66 & 33935748,15 & 8824162,56 & 189596627,9 \\ 5510,06 & 1778884,92 & 8824162,56 & 2381669,96 & 50829098,09 \\ 121978 & 38239401,18 & 189596627,9 & 50829098,09 & 1100574970,76 \end{pmatrix}^{-1} \times \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 93592952 & 27074980 & 179076016 & \dots & 1562408064 \\ 385018592 & 106304504 & 582657152 & \dots & 6666406912 \\ 16778278 & 4645563 & 27205090 & \dots & 283953696 \\ 14086756 & 3947508,25 & 21793800 & \dots & 228932240 \end{pmatrix} \times \begin{bmatrix} 3793 \\ 4414 \\ 3377 \\ \vdots \\ 2326 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 3,10123 & 3,16160 & 3,16292 & 3,16258 & 3,16287 \\ -0,59187 & 0,58952 & -0,58990 & 0,58998 & -5,08991 \\ -0,00992 & -0,00997 & -0,00997 & -0,00998 & -0,00998 \\ 0,08044 & 0,08029 & 0,08041 & 0,08048 & 0,08041 \\ 0,01833 & 0,01825 & 0,01826 & 0,01826 & 0,01826 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 93592952 & 27074980 & 179076016 & \dots & 1562408064 \\ 385018592 & 106304504 & 582657152 & \dots & 6666406912 \\ 16778278 & 4645563 & 27205090 & \dots & 283953696 \\ 14086756 & 3947508,25 & 21793800 & \dots & 228932240 \end{pmatrix} \times \begin{bmatrix} 3793 \\ 4414 \\ 3377 \\ \vdots \\ 2326 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,18 \\ 5,79 \\ 1,98 \\ 7,90 \\ 3,78 \end{bmatrix}$$