

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

LEONARDO DA SILVA E LIMA

**Centralidades em Redes Espaciais Urbanas e Localização de
Atividades Econômicas**

Porto Alegre/RS

2015



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL -UFRGS

FACULDADE DE ARQUITETURA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO URBANO E
REGIONAL – PROPUR**

Dissertação de Mestrado

**Centralidades em Redes Espaciais Urbanas e Localização de
Atividades Econômicas**

Leonardo da Silva e Lima

Orientador: Romulo Krafta, PhD.

Porto Alegre/RS

2015

Título do Trabalho:

Centralidades em Redes Espaciais Urbanas e
Localização de Atividades Econômicas

Autor:

Leonardo da Silva e Lima

Orientador:

Romulo Krafta, PhD

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

Porto Alegre/RS, 2015.

CIP - Catalogação na Publicação

Lima, Leonardo da Silva e
Centralidades em redes espaciais urbanas e
localização de atividades econômicas / Leonardo da
Silva e Lima. -- 2015.
188 f.

Orientador : Romulo Celso Krafta.

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, 2015.

1. Centralidades. 2. Redes espaciais urbanas. 3.
Atividades econômicas. 4. Coeficiente de correlação
Pearson. I. Krafta, Romulo Celso, orient. II. Título.

Em memória de Izabel da Glória Silva Batista e do Prof. Dr. João Telmo Vieira.

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar agradeço a Deus, que é essa estranha energia capaz de responder a tudo aquilo que a ciência ainda não consegue compreender.

Aos meus pais pelo apoio incontestável, o amor incondicional e o esforço em sempre me propiciar educação de qualidade e acreditar no meu potencial.

À Carol que, além de acreditar na possibilidade de ter uma família ao lado de um pesquisador urbano, sempre me deu amor e jamais deixou de me apoiar. Ela foi, é e será, sem dúvida, o meu porto seguro naqueles momentos de tempestade que surgem ao longo das diversas jornadas que ainda serão percorridas.

Ao professor Dr. Romulo Krafta que, nos idos de 2008 abriu as portas de seu laboratório e, sem saber, me dissuadiu da idéia de abandonar os estudos urbanos. Hoje, tenho o privilégio de dizer que ele é mais do que um exemplo de rigor científico aplicado à pesquisa urbana: é, para mim, um grande amigo e um dos pilares da minha formação acadêmica.

Aos meus colegas do grupo de Pesquisa Sistemas Configuracionais Urbanos, por compartilhar comigo suas experiências, dúvidas e aspirações. As pessoas nem imaginam quantas vezes nesse período em que estive morando afastado para escrever essa dissertação me peguei falando sozinho, imaginando extensos diálogos com vocês.

Aos professores Dr. Hélcio José Izário Filho e Dr. Francisco José Moreira Chaves que, sem dúvida, foram os primeiros a me inserir no maravilhoso mundo do conhecimento e que foram, de certa forma, responsáveis por despertar em mim o interesse por trabalhar com pesquisa.

Aos meus professores da Faculdade de Arquitetura da UFRGS, especialmente Dr. Carlos Furtado, Dra. Clarice Maraschin, Dr. Eber Pires Marzulo, Dra. Heleniza Campos, Dr. Leandro Andrade e Dra. Maria Almeida que sempre estiveram à disposição para um café e uma boa e longa conversa a respeito de cidades. Cada um, à sua maneira, é responsável por uma parte de minha formação acadêmica e também pessoal.

Aos meus colegas de PROPUR, especialmente as minhas queridas amigas arquitetas Me. Bárbara Ribeiro e Laís Corteletti, sempre dispostas a ajudar e com um sorriso de apoio nos lábios. Apesar da distância, sempre as terei comigo.

À família Freitas, em especial ao senhor Jorge Amaral Freitas, que ao longo da minha passagem por Porto Alegre/RS sempre me acolheu e apoiou em tudo o que foi necessário. Não existem palavras capazes de expressar a gratidão e o apreço que tenho por seu carinho.

À professora Dra. Marlene Silva que, gentilmente, realizou a revisão ortográfica do texto final.

Finalmente, a todos meus amigos e familiares que, de forma direta ou indireta, participaram dessa conquista. Expresso aqui meu muito obrigado.

“[...] o primeiro passo para o aprendizado de qualquer assunto está em se encontrar princípios quantitativos e métodos praticáveis a fim de medir alguma qualidade associada a ele. Costumo dizer que quando você pode mensurar o assunto do qual você está falando, e expressá-lo em números, você tem domínio sobre ele. Mas, quando você não é capaz de mensurá-lo, quando você não consegue expressá-lo em números, então, o seu conhecimento é insatisfatório. Ele pode até ser um começo na busca pelo conhecimento, mas são apenas idéias que contribuem muito pouco para o estado da ciência, seja lá qual assunto você esteja tratando. Se você pode mensurá-lo, você pode melhorá-lo”.

(William Thomson, Lorde Kelvin, 1883)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Faculdade de Arquitetura

Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR)

Centralidades em Redes Espaciais Urbanas e Localização de Atividades Econômicas

LIMA, Leonardo

Resumo

Nos últimos anos, o estudo de propriedades de redes espaciais urbanas conhecidas como centralidades, tem sido utilizado com frequência para descrever fenômenos de ordem sócio-econômica associados à forma da cidade. Autores têm sugerido que centralidades são capazes de descrever a estrutura espacial urbana (KRAFTA, 1994; ANAS et al., 1998) e, portanto através do estudo de centralidades, é possível reconhecer os espaços que mais concentram fluxos, os que possuem os maiores valores de renda da terra, os mais seguros, entre outros aspectos que parecem estar diretamente relacionados com o fenômeno urbano. A hipótese dessa pesquisa admite que centralidades em redes espaciais urbanas desempenham um papel fundamental na formação da estrutura espacial urbana e na maneira como são organizados os usos do solo da cidade. Assim, essa pesquisa investiga qual modelo de centralidade, processado sobre diversas formas de se descrever o espaço urbano na forma de uma rede, é capaz de apresentar resultados mais fortemente correlacionados com a distribuição espacial de atividades econômicas urbanas.

Nessa pesquisa são avaliados cinco modelos de centralidade, aplicados sobre diferentes redes espaciais urbanas com a intenção de se verificar qual deles apresenta maior correlação com a ocorrência de atividades econômicas. Para realizar tal exercício, esses modelos são aplicados sobre três tipos de redes espaciais urbanas (axial, nodal e trechos de rua) – oriundas da configuração espacial de três cidades brasileiras – processados de forma geométrica e topológica. Os modelos de centralidade aplicados são conhecidos como centralidade por *Alcance* (SEVTSUK; 2010), centralidade por *Excentricidade* (PORTA et al.; 2009, 2011), centralidade por *Intermediação* (FREEMAN, 1977),

centralidade por *Intermediação Planar* (KRAFTA, 1994) e centralidade por *Proximidade* (INGRAM, 1971). O coeficiente de correlação Pearson (r) é utilizado como ferramenta capaz de descrever qual modelo de centralidade, associado a qual tipo de representação espacial e qual modo de processamento de distâncias melhor se correlaciona com a distribuição de atividades econômicas urbanas nessas cidades.

As evidências encontradas nessa pesquisa sugerem que os modelos de centralidade por *Alcance*, centralidade por *Excentricidade* e centralidade por *Intermediação Planar* destacam-se em comparação com os demais modelos processados. Além disso, os valores de correlação Pearson (r) mais relevantes foram obtidos quando os modelos de centralidade foram processados considerando-se a geometria da rede formada por trechos de rua, indicando que um tipo de representação espacial mais desagregada e processada de forma geométrica seria mais capaz de apresentar os melhores valores de correlação para a compreensão do fenômeno urbano estudado.

Palavras-Chave: Centralidades, Redes Espaciais Urbanas, Atividades Econômicas, Coeficiente de Correlação Pearson (r).

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Faculdade de Arquitetura

Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR)

Centrality in Urban Spatial Networks and Location of Economic Activities

LIMA, Leonardo

Abstract

In recent years, the study of urban spatial networks has been often used to describe urban phenomena associated with the shape of the city. Researches suggested that centralities are able to describe the urban spatial structure (KRAFTA, 1994; ANAS et al., 1998) and then it is possible to recognize the spaces with more flows, which have the highest values of land revenue, the safest, among other aspects related to urban phenomenon. The hypothesis of this research accepts that centrality in urban spatial networks play a key role for the urban spatial structure and the way of land uses is organized. Thus, there would be some measures of centrality in urban spatial networks that would be more associated with economic activities occurring in the city.

The research will evaluate five measures of centrality applied on three types of urban spatial networks (axial map, node map and segment map). Therefore we will use five models of centrality in urban spatial networks known as *reach* (SEVTSUK, MEKONNEN, 2012), *straightness* (PORTA et al., 2006b), *betweenness* (FREEMAN, 1977), *planar betweenness* (KRAFTA, 1994) and *closeness* (INGRAM, 1971) in order to determine which this most highly correlated with the occurrence of economic activities. The relationships between these measures of centrality and locations of economic activities are examined in three Brazilian cities, using as methodology the Pearson correlation coefficient (r). The highest correlation between the results of centrality in urban spatial networks and the location of economic activities will suggest which centrality measure, way of to describe urban space like a network and distance processing method (euclidian or topologic) is more associated with the occurrence of these activities in the city.

The results indicate that *Reach*, *Straightness* and *Planar Betweenness* are most outstanding models of centrality. In addition, Pearson correlation coefficients (r) most relevant were obtained when models of centrality are processed considering euclidian paths in the street segments network, suggesting that this type of spatial network and distances processing method generates centralities with more significant correlation values within the urban phenomenon studied.

Key-Words: Centrality, Urban Spatial Networks, Economic Activities, *Pearson* correlation coefficient (r).

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>r.</i>	Coeficiente de Correlação Pearson
IBGE.	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PROPUR.	Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional
SIG.	Sistemas de Informações Geográficas
UFRGS.	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Lei da gravitação universal de Isaac Newton (Fonte: adaptado de Wilson, 1967, p. 253).....	20
Equação 2 – Interação espacial e quantidade de viagens realizadas entre um par de espaços (Fonte: adaptado de Wilson, 1967, p. 253).....	21
Equação 3 – Somatório de interações espaciais de um espaço de oferta com seus pares de demanda (Fonte: adaptado de Wilson, 1967, p. 253).....	21
Equação 4 – Área de influência (<i>Break-Point</i>) de William Reilly (Fonte: adaptado de Huff, 1964, p. 35).....	24
Equação 5 – <i>Break-Point</i> segundo P.D. Converse (Fonte: adaptado de Converse, 1949, p. 35).....	24
Equação 6 – Probabilidade de comportamento espacial do consumidor (Fonte: adaptado de Huff, 1964, p.36).....	26
Equação 7 – Número esperado de consumidores (Fonte: adaptado de Huff, 1964, p. 36).....	27
Equação 8 – Área de influência, segundo Huff (1964) (Fonte: adaptado de Huff, 1964, p. 38).....	28
Equação 9 – Centralidade por <i>Alcance</i> (Fonte: adaptado de Sevtsuk; Mekonnen, 2012, p. 10).....	55
Equação 10 – Centralidade por <i>Excentricidade</i> (Fonte: adaptado de Sevtsuk; Mekonnen, 2012, p. 14).....	56
Equação 11 – Centralidade por <i>Intermediação</i> (Fonte: adaptado de Sevtsuk; Mekonnen, 2012, p. 12).....	57
Equação 12 – Centralidade por <i>Intermediação Planar</i> (Fonte: adaptado de Polidori; Granero; Krafta, 2001).....	59
Equação 13 – Centralidade por <i>Proximidade</i> (Fonte: adaptado de Sevtsuk; Mekonnen, 2012, p.13).....	60
Equação 14 – Coeficiente de correlação Pearson (r) (Fonte: elaboração própria).....	61

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Modelo de Anéis Concêntricos de Von Thunen (1826). De acordo com o economista alemão, existe no centro de um espaço isotrópico um mercado consumidor (1). Num nível imediatamente superior, ocorre a localização de atividades de agricultura intensiva (2), i.e., atividades que requerem menor área de produção e acesso diário ao centro consumidor (perceíveis). Num terceiro nível localizam-se atividades associadas a obtenção de energia, como a produção de carvão, água, entre outros, num anel chamado de “recursos naturais” (3). Na sequência, o anel vermelho indica a localização de atividades agrícolas extensivas, i.e., grandes plantações (4), que precisam de grandes extensões de área e que não são transportadas diariamente até o centro consumidor. Além desse anel localizam-se as áreas destinadas à pecuária, tais como a criação de animais, os pastos, etc (5) (Fonte: elaboração própria). 13
- Figura 2** – Gradiente de densidades de Alonso. Na parte mais central da cidade, que concentra as facilidades urbanas, existiria pouca disponibilidade de terra, alta procura em função dos menores gastos com transportes e, conseqüentemente, maiores densidades. Na parte mais afastada da cidade (borda), ocorre maior disponibilidade de terra, menor procura em função dos maiores gastos com transportes e, conseqüentemente, menores densidades (Fonte: elaboração própria). 15
- Figura 3** – Composição artística do Skyline de Vancouver, Canadá. A linha vermelha apresentada na imagem sintetiza “A forma geral da cidade”, oriunda da teoria de William Alonso. Quanto mais distante do centro (borda), menor as densidades, aqui associadas às alturas das edificações. Por outro lado, quanto mais próximo do centro, mais denso é o espaço (Fonte: elaboração própria). 15
- Figura 4** – Adequação das áreas de influência dos lugares centrais (nós em preto). Para evitar o surgimento de áreas descobertas (linhas vermelhas à esquerda), o autor definiu que as áreas de influência de cada lugar central teria formato hexagonal (à direita) (Fonte: elaboração própria). 16
- Figura 5** – Teoria do lugar central (CHRISTALLER, 1933). O gradiente de cores em tons de cinza indica os níveis hierárquicos de cada localidade e suas áreas de influência (limiaries). Os lugares mais centrais apresentam tons mais fortes e, quanto mais fracos, os lugares são representados em tons mais claros (Fonte: elaboração própria). 17
- Figura 6** – A teoria da localização industrial de Weber. Indústrias tendem a minizar sua distância à matérias primas e ao mercado consumidor, simultaneamente. Esse enunciado é sintetizado pelo triângulo de Weber onde, nos vértices localizam-se as fontes de matéria prima e o mercado consumidor. No interior desse triângulo, em seu ponto médio, ficaria a posição otimizada para a localização industrial (Fonte: elaboração própria). 18
- Figura 7** – Modelo de William J. Reilly. Acima o efeito da localização sobre o comportamento espacial do consumidor entre duas cidades “A” (verde) e “B” (vermelho) com populações iguais. O *Break-Point* (ponto amarelo) localiza-se na metade da distância entre elas. Abaixo, o efeito da localização sobre o comportamento espacial do consumidor entre duas cidades “A” e “B” com populações diferentes. O *Break-Point* localiza-se mais próximo da menor cidade, indicando uma área de influência menor (Fonte: elaboração própria). 24
- Figura 8** – Aplicação do modelo de Converse (1949). Os círculos pretos representam cidades. As suas respectivas áreas de influência são demarcadas pelas hachuras. Em vermelho, extensões não cobertas por nenhuma área de influência, ou áreas “inexplicáveis” (Fonte: adaptado de Huff, 1964, p.37). 25

Figura 9 – Gradiente de cores do Modelo de Huff (HUFF, 1964). A imagem mostra a probabilidade de consumidores distribuídos no espaço consumirem em “J ₁ “ (Fonte: adaptado de Huff, 1964, p. 37).	28
Figura 10 – Um grafo com cinco vértices e cinco arestas (Fonte: adaptado de Freeman, 1979, p. 218).	36
Figura 11 – Uma representação espacial axial e seu grafo equivalente (Fonte: elaboração própria).	46
Figura 12 – Uma representação espacial nodal e seu grafo equivalente (Fonte: elaboração própria).	47
Figura 13 – Uma representação espacial por trechos de rua e seu grafo equivalente (Fonte: elaboração própria).	48
Figura 14 – Carregamento de uma representação espacial axial com atividades econômicas. Em "J" observa-se um fragmento urbano, sua representação axial (linhas vermelhas) e atividades econômicas (pontos azuis). Em “K” verifica-se a distribuição das atividades econômicas e sua proximidade com as linhas axiais que estão numeradas. Em “L” tem-se o gradiente de cores com as respectivas quantidades de atividades econômicas atribuídas a cada linha axial (Fonte: elaboração própria).	50
Figura 15 – Carregamento de uma representação espacial nodal com atividades econômicas. Em "M" observa-se um fragmento urbano, sua representação nodal (nós vermelhos) e atividades econômicas (pontos azuis). Em “N” verifica-se a distribuição das atividades econômicas e sua proximidade com os nós que estão numerados. Em “O” tem-se o gradiente de cores com as respectivas quantidades de atividades econômicas atribuídas a cada nó (Fonte: elaboração própria).	51
Figura 16 – Carregamento de uma representação espacial por trechos com atividades econômicas. Em "P" observa-se um fragmento urbano, sua representação por trechos de rua (linhas vermelhas) e atividades econômicas (pontos azuis). Em “Q” verifica-se a distribuição das atividades econômicas e sua proximidade com os trechos de rua que estão numerados. Em “R” tem-se o gradiente de cores com as respectivas quantidades de atividades econômicas atribuídas a cada trecho (Fonte: elaboração própria).	51
Figura 17 – Exemplo do processamento do modelo de centralidade por <i>Alcance</i> . Admita que cada conexão da rede possua comprimento igual a um. No caso, o raio de busca definido é igual a dois. Nessa situação, os vértices “B” e “C” são capazes de alcançar a maior quantidade de outros vértices (quatro), conforme a coluna alcance, à direita (Fonte: elaboração própria).	54
Figura 18 – Exemplo do processamento do modelo de centralidade por <i>Excentricidade</i> . Admita que cada conexão da rede possua comprimento igual a um. As linhas pontilhadas indicam as distâncias virtuais entre os pares de vértices (não são demonstradas aquelas linhas que apresentam relação entre a distância real e a distância virtual igual a um, como os pares A-B, A-C, etc). O vértice “C” apresenta somatório de relações entre a distância virtual (linha reta, euclidiana) e a distância real (imposta pelas restrições da rede) nos deslocamentos possíveis na rede igual a quatro (1 + 1 + 1 + 1). Já o vértice “E” possui valor de excentricidade igual a 3,14 (0,74 + 0,70 + 1 + 0,70). Portanto, o vértice “E” é mais excêntrico do que “A” (Fonte: elaboração própria).	56
Figura 19 – Exemplo do processamento do modelo de centralidade por <i>Intermediação</i> . Admita que cada conexão da rede possua comprimento igual a um. Perceba que o vértice “C” aparece intermediando cinco percursos, entre todos os possíveis deslocamentos realizados na rede. O vértice “B” aparece em três desses. Os demais vértices, que são extremidades da rede, não intermediam nenhuma relação. Portanto, o vértice “C” é o mais central (Fonte: elaboração própria).	58

Figura 20 – Exemplo do processamento do modelo de centralidade por <i>Intermediação Planar</i> . Admita que cada conexão da rede possua comprimento igual a um. Entre <i>parêntesis</i> são demonstrados os valores de cargas em cada vértice. A tabela à direita exibe a quantidade de vezes que cada vértice intermedia percursos, os valores de tensão entre os pares de vértices possíveis na rede e a fração que cada vértice intermediador recebe dessa tensão (respectivamente). O vértice “C” aparece intermediando cinco percursos, sendo que seu somatório de frações é igual a quatro ($0,5 + 0,5 + 1 + 1 + 1$). Já o vértice “B” aparece intermediando três percursos. Seu somatório de frações é igual a dois ($1 + 0,5 + 0,5$). Portanto, o vértice “C” é o mais central (Fonte: elaboração própria).....	59
Figura 21 – Exemplo do processamento do modelo de centralidade por <i>Proximidade</i> . Admita que cada conexão da rede possua comprimento igual a um. A tabela à direita exibe a extensão dos caminhos mínimos entre cada par de vértices possível na rede e o inverso do somatório dessas distâncias. Assim, tem-se que o vértice “C” possui a menor distância para todos os outros vértices da rede (inverso do somatório igual a $0,20$). Já o vértice “A” é o que está mais distante de todos os outros vértices da rede, ao apresentar o valor inverso do somatório igual a $0,11$ (Fonte: elaboração própria).....	61
Figura 22 – Gradiente e escala de valores do coeficiente de correlação Pearson (r) (Fonte: elaboração própria).....	62
Figura 23 – Procedimento correlacional. À esquerda, uma representação espacial definida por trechos de rua, processada com um modelo de centralidade geométrica de forma global. Cada entidade espacial é identificada por uma letra. O gradiente de cores indica os trechos mais e menos centrais conforme o modelo de centralidade empregado. Os círculos azuis representam localizações de atividades econômicas. À direita, a matriz informa (1) a extensão de cada trecho; (2) a quantidade de atividades econômicas associadas, por proximidade, a cada um dos trechos; (3) a relação entre a quantidade de atividades econômicas por extensão da entidade espacial e, finalmente, (4) os valores de centralidade de cada entidade espacial. Na parte inferior, são apresentados o valor de correlação Pearson (r) (5) entre as centralidades e a quantidade bruta de atividades econômicas por trecho de rua ($r_1 = 0,47$) e (6) as centralidades e a quantidade de atividades econômicas normalizadas pela extensão dos trechos de rua ($r_2 = 0,93$). Nessa pesquisa, os experimentos são realizados de forma análoga à maneira como o segundo valor de correlação Pearson (r) foi obtido. Note que, visando maximizar o valor correlacional, a entidade com valor nulo de atividades econômicas (a) foi excluída do cálculo correlacional (Fonte: elaboração própria).....	63
Figura 24 – Percurso metodológico da pesquisa (Fonte: elaboração própria).....	64
Figura 25 – Área urbana de <i>L</i> : Principais acessos, aspectos naturais, centro e entroncamentos ferrovia/traçado viário (Fonte: elaboração própria).....	65
Figura 26 – Atividades econômicas e representação espacial por linhas axiais de <i>L</i> (Fonte: elaboração própria).....	67
Figura 27 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede axial de <i>L</i> (Fonte: elaboração própria).....	69
Figura 28 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede axial de <i>L</i> (Fonte: elaboração própria).....	71

Figura 29 – Centralidade por <i>Intermediação Planar</i> geométrica com raio igual a 9.800 metros em <i>L</i> . A correlação da medida de diferenciação espacial com ocorrência de atividades econômicas é moderada/fraca ($r = 0,402$) (Fonte: elaboração própria).	73
Figura 30 – Distribuição de atividades econômicas em <i>L</i> e sua representação espacial nodal (Fonte: elaboração própria).....	74
Figura 31 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede nodal de <i>L</i> (Fonte: elaboração própria).	75
Figura 32 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede nodal de <i>L</i> (Fonte: elaboração própria).	77
Figura 33 – Centralidade por <i>Alcance</i> geométrica com raio igual a 1.100 metros em <i>L</i> . A correlação da medida de diferenciação espacial com ocorrência de atividades econômicas é moderada/fraca ($r = 0,380$) (Fonte: elaboração própria).	78
Figura 34 – Distribuição de atividades econômicas em <i>L</i> e sua representação espacial por trechos de rua (Fonte: elaboração própria).....	79
Figura 35 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede de trechos de rua de <i>L</i> (Fonte: elaboração própria).....	80
Figura 36 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede de trechos de rua de <i>L</i> (Fonte: elaboração própria).....	82
Figura 37 – Centralidade por <i>Intermediação Planar</i> geométrica com raio 2.600m em <i>L</i> . A correlação da medida de diferenciação espacial com as atividades econômicas é moderada tendendo a fraca ($r = 0,411$) (Fonte: elaboração própria).	83
Figura 38 – Área urbana de <i>P</i> . Em destaque aspectos naturais, o centro histórico e as vias que estruturam a dinâmica espacial da cidade (Fonte: elaboração própria).	84
Figura 39 – Distribuição de atividades econômicas em <i>P</i> e sua representação espacial axial (Fonte: elaboração própria).....	85
Figura 40 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede axial de <i>P</i> (Fonte: elaboração própria).	87
Figura 41 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede axial de <i>P</i> (Fonte: elaboração própria).	89
Figura 42 – Centralidade por <i>Excentricidade</i> geométrica com raio 800 metros em <i>P</i> . A correlação da medida de diferenciação espacial com as atividades econômicas é moderada tendendo a forte. ($r = 0,546$) (Fonte: elaboração própria).	90
Figura 43 – Distribuição de atividades econômicas em <i>P</i> e sua representação espacial nodal (Fonte: elaboração própria).....	92
Figura 44 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede nodal de <i>P</i> (Fonte: elaboração própria).	93

Figura 45 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede nodal de P (Fonte: elaboração própria).	95
Figura 46 – Centralidade por <i>Excentricidade</i> geométrica com raio 800 metros em P . A correlação da medida de diferenciação espacial com as atividades econômicas é moderada tendendo a fraca ($r = 0,428$) (Fonte: elaboração própria).	96
Figura 47 – Distribuição de atividades econômicas em P e sua representação espacial por trechos de rua (Fonte: elaboração própria).	97
Figura 48 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede de trechos de rua de P (Fonte: elaboração própria).	98
Figura 49 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede de trechos de rua de P (Fonte: elaboração própria).	100
Figura 50 – Centralidade por <i>Excentricidade</i> geométrica com raio 800 metros em P . A correlação da medida de diferenciação espacial com as atividades econômicas é moderada tendendo a forte ($r = 0,529$) (Fonte: elaboração própria).	101
Figura 51 – Área urbana de T . Em destaque as principais vias, o centro e aspectos naturais relevantes (Fonte: elaboração própria).	102
Figura 52 – Distribuição de atividades econômicas em T e sua representação espacial axial (Fonte: elaboração própria).	104
Figura 53 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede axial de T (Fonte: elaboração própria).	106
Figura 54 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede axial de T (Fonte: elaboração própria).	106
Figura 55 – Centralidade por <i>Intermediação Planar</i> topológica global em T . A correlação da medida de diferenciação espacial com as atividades econômicas é fraca ($r = 0,242$) (Fonte: elaboração própria).	107
Figura 56 – Distribuição de atividades econômicas em T e sua representação espacial nodal (Fonte: elaboração própria).	108
Figura 57 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede nodal de T (Fonte: elaboração própria).	110
Figura 58 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede nodal de T (Fonte: elaboração própria).	110
Figura 59 – Centralidade por <i>Proximidade</i> geométrica com raio 3.800 metros em T . A correlação da medida de diferenciação espacial com as atividades econômicas é fraca ($r = 0,260$) (Fonte: elaboração própria).	112
Figura 60 – Distribuição de atividades econômicas em T e sua representação espacial por trechos de rua (Fonte: elaboração própria).	113

Figura 61 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede de trechos de rua de T (Fonte: elaboração própria).....	114
Figura 62 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede de trechos de rua de T (Fonte: elaboração própria).....	116
Figura 63 – Centralidade por <i>Intermediação Planar</i> geométrica com raio 3.200 metros em T . A correlação da medida de diferenciação espacial com as atividades econômicas é moderada tendendo a fraca ($r = 0,420$) (Fonte: elaboração própria).....	117
Figura 64 – Percentual de resultados de correlação Pearson (r) obtidos nos estudos de caso sobre as representações espaciais do tipo axial que apresentaram valores $r > 0,3$ (correlações minimamente moderadas) (Fonte: elaboração própria).	120
Figura 65 – Frequência de resultados de correlação Pearson (r) obtidos nos experimentos realizados sobre as redes espaciais axiais de L , P e T . A linha azul tracejada indica o limiar entre correlações fracas e minimamente moderadas. (Fonte: elaboração própria).	121
Figura 66 – Percentual de resultados de correlação Pearson (r) obtidos nos estudos de caso sobre as representações espaciais do tipo nodal que apresentaram valores $r > 0,3$ (correlações minimamente moderadas) (Fonte: elaboração própria).	123
Figura 67 – Frequência de resultados de correlação Pearson (r) obtidos nos experimentos realizados sobre as redes espaciais nodais de L , P e T . A linha azul tracejada indica o limiar entre correlações fracas e minimamente moderadas (Fonte: elaboração própria).	124
Figura 68 – Percentual de resultados de correlação Pearson (r) obtidos nos estudos de caso sobre as representações espaciais definidas por trechos de rua que apresentaram valores $r > 0,3$ (correlações minimamente moderadas) (Fonte: elaboração própria)...	127
Figura 69 – Frequência de resultados de correlação Pearson (r) obtidos nos experimentos realizados sobre as redes espaciais definidas por trechos de rua de L , P e T . A linha azul tracejada indica o limiar entre correlações fracas e minimamente moderadas (Fonte: elaboração própria).....	128
Figura 70 – Perfil das curvas de coeficiente de correlação Pearson (r) obtidas após a aplicação do modelo de centralidade por <i>Alcance</i> , processado de forma geométrica, sobre as redes espaciais definidas por trechos de rua de L (vermelho), P (verde) e T (azul), respectivamente. Note que o perfil das curvas é semelhante. Sua amplitude horizontal varia em função do diâmetro da rede (L possui o maior e P o menor). Das três cidades testadas, percebe-se que o raio de 800 metros gera a correlação Pearson (r) mais forte (em $P - r = 0,501$). Para L e T , esse modelo não chega a apresentar valores de correlação tão expressivos, porém percebe-se que em torno desse mesmo raio, localizam-se as correlações mais altas ($r = 0,388$ para L e $r = 0,351$ para T , com raios iguais a 1.100 e 1.400 metros, respectivamente). Assim, parece que o modelo pode ser ajustado a cada cidade, individualmente, em função de raios que melhor se associam ao fenômeno da distribuição de atividades econômicas urbanas (Fonte: elaboração própria).	131
Figura 71 – Perfil genérico observado nas curvas obtidas pelas correlações Pearson (r) entre os modelos de centralidade testados e a distribuição de atividades econômicas urbanas nas cidades analisadas. As curvas obtidas pela aplicação dos modelos de centralidade por <i>Alcance</i> (linha amarela) e centralidade por <i>Excentricidade</i> (linha vermelha) parecem apresentar os valores correlacionais mais expressivos nos testes	

efetuados com os raios com valores baixos. Na sequência, a curva oriunda do modelo de centralidade por *Alcance* tende a zero, enquanto a curva obtida após a aplicação do modelo de centralidade por *Excentricidade* parece estabilizar-se. Já as curvas oriundas da aplicação dos modelos de centralidade por *Intermediação Planar* (linha azul escuro) e *Intermediação* (linha verde) apresentam, geralmente, suave tendência de crescimento e, após atingirem um pico, entram em fase de estabilização. Por sua vez, a curva que descreve os resultados obtidos após a aplicação do modelo de centralidade por *Proximidade* (linha azul ciano) apresenta, geralmente, na primeira metade dos testes realizados com raios com valores baixos, valores de correlação também baixos. A partir de um determinado valor, rotineiramente verificado no entorno dos raios testados na metade dos experimentos, a curva entra em franca tendência de subida, até atingir um pico próximo do maior raio testado, de forma a se estabilizar na sequência (Fonte: elaboração própria). 132

Figura 72 – Gráfico de dispersão dos quatro resultados de correlação mais significativos verificados na pesquisa. No canto superior esquerdo é apresentado a dispersão dos valores da relação entre a quantidade de atividades econômicas por extensão de trecho de rua da cidade *L* com os valores de centralidade por *Intermediação Planar* com raio igual à 2600m ($r = 0,411$). Abaixo, verifica-se a dispersão dos valores da relação entre a quantidade de atividades econômicas por extensão de linha axial da cidade *P* com os valores de centralidade por *Excentricidade* com raio igual à 800m ($r = 0,546$). No canto superior direito é exibido a dispersão dos valores da relação entre a quantidade de atividades econômicas por trecho de rua da cidade *T* com os valores de centralidade por *Intermediação Planar* com raio igual à 3200m ($r = 0,420$). Finalmente, no canto inferior direito, é apresentada a dispersão dos valores da relação entre a quantidade de atividades econômicas por extensão de trecho de rua da cidade *P* com os valores de centralidade por *Excentricidade* com raio igual à 800m ($r = 0,528$) (Fonte: elaboração própria). 138

LISTA DE QUADROS

Tabela 1 – Distâncias, em milhas, entre cidades no exemplo da figura 8 (Fonte: elaboração própria).	25
Tabela 2 – Distâncias, em milhas, entre áreas de influência (<i>Break Points</i>) em relação a cada par de cidades possível (Fonte: elaboração própria).....	25
Tabela 3 – Maiores valores de Coeficientes de Correlação Pearson (<i>r</i>) obtidos nos estudos de caso por tipo de representação espacial. Em destaque as correlações mais elevadas em cada estudo de caso (Fonte: elaboração própria).	134
Tabela 4 – Coeficientes de Correlação Pearson (<i>r</i>) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede axial de <i>L</i> (Fonte: elaboração própria).	147
Tabela 5 – Coeficientes de Correlação Pearson (<i>r</i>) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede axial de <i>L</i> (Fonte: elaboração própria).	148
Tabela 6 – Coeficientes de Correlação Pearson (<i>r</i>) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede nodal de <i>L</i> (Fonte: elaboração própria).	149
Tabela 7 – Coeficientes de Correlação Pearson (<i>r</i>) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede nodal de <i>L</i> (Fonte: elaboração própria).	150
Tabela 8 – Coeficientes de Correlação Pearson (<i>r</i>) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede de trechos de rua de <i>L</i> (Fonte: elaboração própria).....	151
Tabela 9 – Coeficientes de Correlação Pearson (<i>r</i>) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede de trechos de rua de <i>L</i> (Fonte: elaboração própria).....	152
Tabela 10 – Coeficientes de Correlação Pearson (<i>r</i>) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede axial de <i>P</i> (Fonte: elaboração própria).	153
Tabela 11 – Coeficientes de Correlação Pearson (<i>r</i>) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede axial de <i>P</i> (Fonte: elaboração própria).	154
Tabela 12 – Coeficientes de Correlação Pearson (<i>r</i>) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede nodal de <i>P</i> (Fonte: elaboração própria).	155
Tabela 13 – Coeficientes de Correlação Pearson (<i>r</i>) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede nodal de <i>P</i> (Fonte: elaboração própria).	156

Tabela 14 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede de trechos de rua de P (Fonte: elaboração própria).....	157
Tabela 15 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede de trechos de rua de P (Fonte: elaboração própria).....	158
Tabela 16 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede axial de T (Fonte: elaboração própria).	159
Tabela 17 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede axial de T (Fonte: elaboração própria).	160
Tabela 18 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede nodal de T (Fonte: elaboração própria).	161
Tabela 19 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede nodal de T (Fonte: elaboração própria).	162
Tabela 20 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede de trechos de rua de T (Fonte: elaboração própria).....	163
Tabela 21 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede de trechos de rua de T (Fonte: elaboração própria).....	164

Sumário

1 – Introdução.....	1
1.2 – Problema de Pesquisa.....	4
1.3 – Objetivo.....	5
1.3.1 – Objetivo Específico.....	5
1.4 – Justificativa.....	6
1.5 – Hipóteses.....	8
2 – Referencial Teórico.....	9
2.1 – Análise Espacial Urbana.....	10
2.2 – Teoria Locacional Urbana.....	12
2.2.1 – Modelos Micro-Econômicos.....	13
2.2.2 – Modelos Gravitacionais Urbanos.....	19
2.2.2.1 – Lei da Gravitação do Varejo.....	22
2.2.3 – Modelos Configuracionais Urbanos.....	29
2.2.3.1 – Acessibilidade.....	30
2.2.3.2 – Alcance.....	31
2.2.3.3 – Eficiência.....	32
2.2.3.4 – Posição Relativa.....	34
2.3 – Abordagem Configuracional.....	36
2.3.1 – Redes Espaciais Urbanas.....	37
3 – Marco Teórico.....	39
4 – Metodologia.....	41
4.1 – Representações Espaciais.....	43
4.1.1 – Mapa Axial.....	45
4.1.2 – Mapa Nodal.....	47
4.1.3 – Mapa de Trechos de Rua.....	47
4.2 – Carregamento de Atividades Econômicas.....	49
4.3 – Os Modelos de Centralidade Aplicados.....	53
4.3.1 – Modelo de Centralidade por <i>Alcance</i>	53
4.3.2 – Modelo de Centralidade por <i>Excentricidade</i>	55
4.3.3 – Modelo de Centralidade por <i>Intermediação</i>	57
4.3.4 – Modelo de Centralidade por <i>Intermediação Planar</i>	58
4.3.5 – Modelo de Centralidade por <i>Proximidade</i>	59

4.4 – Coeficiente de Correlação Pearson (r)	61
4.5 – Fluxograma Metodológico.....	62
5 – Experimentos e Resultados.....	64
5.1 – Estudo de Caso 1: L	65
5.1.1 – Experimentos: Representação Axial.....	67
5.1.2 – Experimentos: Representação Nodal.....	73
5.1.3 – Experimentos: Representação por Trechos de Rua	78
5.2 – Estudo de Caso 2: P	83
5.2.1 – Experimentos: Representação Axial.....	85
5.2.2 – Experimentos: Representação Nodal.....	91
5.2.3 – Experimentos: Representação por Trechos de Rua	96
5.3 – Estudo de Caso 3: T	102
5.3.1 – Experimentos: Representação Axial.....	104
5.3.2 – Experimentos: Representação Nodal.....	108
5.3.3 – Experimentos: Representação por Trechos de Rua	112
6 – Discussão dos Resultados.....	118
7 – Conclusão	133
Referências Bibliográficas	140
Apêndice.....	147

1 – Introdução

Centralidades são extremamente importantes para a formação e vitalidade urbanas. Os lugares mais centrais tendem a atrair maiores quantidades de pessoas e estão associados a maior potencial de desenvolvimento. Compreender como centralidades ocorrem e seus efeitos sobre a cidade é fundamental pois:

Centrality emerges as one of the most powerful determinants for urban planners and designers to understand **how a city works** and to decide where renovation and redevelopment need to be placed¹ (PORTA et al., 2009, p.450).

Ou seja, centralidades são capazes de definir onde uma cidade se instala, para qual direção ela tende a crescer, como seus habitantes circulam, o valor do solo urbano, quais lugares são mais fáceis de serem alcançados, enfim: como nossas cidades evoluem e funcionam (PORTA et al., 2009).

Esse trabalho está focado na compreensão do fenômeno exercido pela centralidade sobre a localização de atividades econômicas na cidade, correlacionando a maior ocorrência de tais atividades com maneiras distintas de se medir centralidade em redes espaciais urbanas. Porém, antes de explicitar a pesquisa em si, é necessário estabelecer que aqui, entende-se por **atividades econômicas** uma série de estabelecimentos que prestam quaisquer tipos de comércios e serviços. Assim, todos aqueles estabelecimentos que geram qualquer tipo de troca comercial na cidade foram considerados, sejam eles, formais ou informais, sendo incluídos nesse estudo desde pequenos profissionais autônomos até grandes corporações industriais.

Centralidades podem ser entendidas, sutilmente, como uma característica que é capaz de diferenciar e hierarquizar um determinado espaço frente a todos os outros que com ele compõem um sistema espacial. Recentemente, uma grande quantidade de pesquisas espaciais utilizando a *space syntax*² e outras teorias configuracionais tem se dedicado a

¹ “Centralidade emerge como um dos mais importantes fatores para que arquitetos e planejadores urbanos compreendam como a cidade **funciona** e assim, decidir onde projetos de renovação e redesenvolvimento precisam ser executados” (PORTA et al., 2009, p. 450, tradução nossa).

² *Space syntax* (Sintaxe Espacial) é “um conjunto de métodos e técnicas de descrição e análise da configuração espacial e suas possíveis vinculações com o comportamento social urbano. Para isso,

estabelecer correlações entre centralidades em redes espaciais urbanas e dinâmicas econômicas e/ou sociais (HILLIER; HANSON, 1984; HILLIER et al., 1993; KRAFTA, 2009, PORTA et al. 2009; 2011). Em alguns desses trabalhos, tem sido observadas significativas correlações entre a ocorrência de diversas atividades econômicas e áreas não residenciais com as maiores concentrações de ruas que possuem os mais altos valores de centralidade no sistema espacial. Entre eles, destaca-se Hillier et al. (1993) que sugerem que a quantidade de movimento de pedestres e, conseqüentemente, a maioria das atividades econômicas derivadas desse fenômeno, estão associadas a uma medida de centralidade conhecida como *integração* (HILLIER; HANSON, 1984). Na mesma direção, Porta et al. (2009; 2011), comparando três modelos de centralidade em redes espaciais urbanas conhecidas como centralidade por *proximidade*, centralidade por *intermediação* e centralidade por *excentricidade*, indicam que a centralidade por *intermediação* (FREEMAN, 1977) é a que melhor consegue descrever a ocorrência de atividades econômicas na cidade de Bolonha, Itália. Assim, essa pesquisa significa uma contribuição metodológica ao trabalho de Porta et al. (2009; 2011), ampliando a gama de medidas de centralidades urbanas testadas, saltando de três para cinco, num conjunto maior de cidades, com a finalidade de verificar qual dessas medidas de centralidade mais se associa a ocorrência de atividades econômicas. Para isso, recorre-se a um pacote de medidas de centralidade urbana formado por: centralidade por *Alcance* (SEVTSUK, 2010), centralidade por *Excentricidade* (VRAGOVIC et al., 2005), centralidade por *Intermediação* (FREEMAN, 1977; 1979), centralidade por *Intermediação Planar* (KRAFTA, 1994; 2014), e, finalmente, centralidade por *Proximidade* (HANSEN, 1959; INGRAM, 1971; HILLIER; HANSON, 1984). A intenção é comparar os valores obtidos pela aplicação dessas medidas de centralidade em três cidades brasileiras com as respectivas localizações de atividades econômicas urbanas, buscando possíveis correlações entre aspectos espaciais aparentemente distintos: centralidades em redes de ruas e concentração de atividades econômicas.

Empiricamente, o trabalho analisará três cidades brasileiras, de pequeno e médio portes, localizadas nas regiões mais urbanizadas do país (sudeste e sul). Elas foram escolhidas de forma a se otimizar o tempo da confecção da base cartográfica e também em função da maior facilidade da obtenção de dados. As cidades escolhidas serão referenciadas

procura descrever e medir aspectos da configuração espacial que possam estar associados a processos sociais, tais como fluxos, copresença e uso do solo” (Krafta, 2014, p. 136).

nesse trabalho, apenas, pelas letras *L*, *P* e *T* e procurarão, simplesmente, validar a aplicação da metodologia proposta na pesquisa.

A pesquisa é eminentemente **quantitativa**, abordando somente aspectos relacionados a valores de centralidade de ruas e suas correlações com densidades de atividades econômicas e sua distribuição sobre a cidade. Nenhuma característica ligada a aspectos qualitativos dessas atividades como tamanho, importância, tempo de mercado, fidelização de consumidores, valor da marca, estratégias de *marketing*, ofertas, faturamento, entre outros, será considerada nas conclusões apresentadas.

Centralidades tendem a sofrer alterações de acordo com a evolução da forma urbana, isto é, o surgimento de novas formas construídas, as remoções de áreas, abertura e fechamento de vias, entre outros fatores que ocorrem no cotidiano da cidade são capazes de alterar, significativamente, os valores de centralidade. Porém, nessa pesquisa, esses efeitos não serão considerados. Segundo Maraschin (2009), na geografia e na economia urbana, existem duas vertentes que se ocupam de abordar o tempo e seus efeitos sobre a cidade: uma abordagem estática e uma abordagem dinâmica. Aqui recorreremos à primeira, que se refere à análise de padrões e estruturas estáticas, ou seja, que desconsideram os processos e as mudanças implicadas no efeito da passagem do tempo. Portanto, essa é uma **pesquisa atemporal**, e os estudos empíricos são desenvolvidos sobre formas urbanas existentes, definidas como o resultado de um processo dinâmico que levou à expansão e à consolidação da forma urbana ao longo dos anos, não considerando estados pregressos, mas somente sua configuração espacial, atualmente dada. Seu foco está na análise da **estrutura espacial urbana**³ num período muito particular de sua história, isto é, o seu presente.

Isso posto, a pesquisa se propõe a buscar correlações entre diferentes modelos de centralidade, aplicados sobre diversas redes que são oriundas da configuração do espaço urbano e a ocorrência de atividades econômicas urbanas, a fim de se avaliar qual característica espacial urbana está mais associada à ocorrência locacional de tais atividades, nas cidades analisadas.

³ De acordo com Anas et al. (1998), estrutura espacial urbana pode ser entendida como a relação entre as formas construídas e a distribuição de atividades sobre elas desenvolvidas (usos do solo), intermediadas pelo sistema de transportes.

1.2 – Problema de Pesquisa

A vitalidade urbana está fortemente associada a áreas da cidade com **diversidade**⁴, alta rotatividade de usuários, fluxos de pedestres e atividades concorrentes e complementares ocorrendo em horários distintos (JACOBS, 2000). Esses locais são, geralmente, formados por uma grande quantidade de atores urbanos, agindo e tomando decisões simultâneas, podendo nos levar a pensar que sua dinâmica é um mero produto do “caos” da cidade. No entanto, pesquisas de economia urbana têm afirmado que quanto maior a quantidade de agentes atuando sobre o espaço urbano, mais rígidas e controladas são essas ações (FUJITA, 1989). Além disso, como num efeito cíclico, quanto mais agentes interagem, mais aglomeração de atividades e diversidade de usuários tende a ocorrer. Maraschin (2009) afirma que:

A presença de uma aglomeração comercial condiciona o desenvolvimento do seu entorno, podendo gerar valorização imobiliária, atração de serviços, empregos e equipamentos urbanos, densificação residencial, melhorias de infraestrutura, congestionamento, entre outras repercussões (MARASCHIN, 2009, p. 15).

Isto quer dizer que, potencialmente, existiriam regras que associam o espaço à vitalidade urbana, ou seja, a estrutura espacial urbana – que é revelada por modelos de centralidade – estaria diretamente vinculada a características intrínsecas a esses espaços. Logo, pode-se admitir que existem aspectos espaciais que geram dinâmicas preconizadas por agentes econômicos urbanos, sendo esses aspectos cruciais para a “boa” **urbanidade**⁵, entendida aqui como

uma relação reconhecidamente virtuosa entre pessoas, no meio urbano, que nós arquitetos pretendemos estender para uma relação entre pessoas e o meio urbano. Isso implica que o *meio urbano* participaria da urbanidade de duas formas: como *suporte* das práticas interpessoais

⁴ Diversidade pode ser entendida como uma qualidade espacial “capaz de prover situações julgadas adequadas a uma gama variada de usuários diferenciados” (Krafta, 2014, p. 245).

⁵ O termo urbanidade é controverso e não é objetivo dessa pesquisa se estender nesse debate. Netto e Aguiar (2012) apresentam uma série de discussões que procuram defini-lo.

e como *resultado* de práticas virtuosas na sua própria produção (NETTO; AGUIAR; 2012, p. 24).

Porém estudos urbanos recentes tem encontrado dificuldades em definir características espaciais associadas aos locais onde agentes econômicos se concentram. Trabalhos indicam que “há dificuldade em identificar as regras que orientam a evolução do sistema comercial e interferem no processo de “movimento” das centralidades” (Maraschin, 2009, p. 17). Assim, parece ser difícil encontrar regras ou padrões capazes de identificar a maneira como atividades econômicas se localizam no espaço urbano. Portanto, visando cobrir a lacuna deixada por tais estudos, a pesquisa procurará responder a seguinte questão:

Considerando-se um conjunto formado por cinco modelos de diferenciação espacial (*Alcance, Excentricidade, Intermediação, Intermediação Planar e Proximidade*), três maneiras de se representar o espaço urbano na forma de uma rede (Axial, Nodal e Trechos de rua) e duas maneiras de se processar distâncias internas em redes espaciais (Geometria e Topologia), qual cenário composto pela tríade centralidade/representação espacial/distância melhor se correlacionaria com a distribuição de atividades econômicas urbanas?

1.3 – Objetivo Geral

O objetivo dessa pesquisa é avaliar como a variação da centralidade em redes de ruas se correlaciona com a distribuição de atividades econômicas em três cidades. Essas correlações com a localização de atividades econômicas são efetuadas com a utilização de cinco índices distintos de centralidade (centralidade por *Alcance*, centralidade por *Excentricidade*, centralidade por *Intermediação*, centralidade por *Intermediação Planar* e centralidade por *Proximidade*), aplicadas sobre diferentes redes espaciais urbanas e testadas de acordo com sua topologia e sua geometria. Dessa forma, é possível verificar sobre qual desses modelos, qual método de processamento de distância e em qual tipo de rede espacial urbana obtém-se um cenário mais sensível à localização dessas atividades.

1.3.1 – Objetivo Específico

Produzir uma bateria de resultados de centralidades sobre redes espaciais definidas por linhas axiais, nós e trechos de rua de três cidades, processadas de forma geométrica e

topológica, a fim se avaliar, estatisticamente, a maior incidência de resultados que melhor correlacionem a localização de atividades econômicas com os modelos de centralidade propostos.

1.4 – Justificativa

Desde o início do século XX, a característica mais relevante da vida do homem é o fato de viver em cidades. E a vida na cidade está associada, fortemente, à ação de agentes produtores de riqueza. As cidades da virada do século XIX para o século XX foram profundamente marcadas pela revolução industrial (1760-1840), que levou a migração de grandes contingentes de população rural. Com o modelo fordista, a cidade passa a interagir virtuosamente com as relações de produção e consumo, originadas por empresas, num modelo que foi amplamente explorado até a queda da bolsa de Nova York em 1929. Nos anos seguintes, o mundo se viu imerso no maior conflito bélico de sua história, culminando em países destruídos e cidades devastadas por bombardeios. Nesse cenário, os governos nacionais se viram forçados a controlar a economia internacional além de passar a ter também a prerrogativa de reconstruir as cidades e gerar um estado de bem estar social (KEYNES, 1992), responsável pela difusão e consolidação dos ideais da arquitetura e do urbanismo modernistas. Porém, esse modelo torna-se insustentável e, depois de duas crises do petróleo na década de 1970, as empresas voltam a ter papel de destaque na produção do espaço urbano (BENKO, 1999) marcando o que pode ser entendido como o fim do pensamento moderno e o nascimento da era pós-moderna. Harvey (2012) ilustra esse momento com a demolição do conjunto habitacional de *Pruitt-Igoe* e a difusão dos primeiros *Shoppings Centers* da América.

Tendo em vista esse cenário, Logan e Molotch (1996) afirmam que existem grupos de agentes com forças capazes de dirigir os rumos da cidade contemporânea, dos quais podemos destacar os que estão no poder político, ou seja, os agentes governamentais; os que detém a informação, ou mídia e; finalmente, os que dominam os recursos financeiros, isto é, os **empresários**. De acordo com Santos (1988), a cidade pode ser compreendida como um jogo, onde cada um desses agentes adota estratégias próprias. Netto (no prelo, apud GONÇALVES, 2011 p. 33) diz que “a organização espacial dos agentes econômicos em uma cidade ou região é um dado central da dinâmica urbana”, refletindo dessa forma um ítem fundamental para o surgimento de hierarquias e vantagens locais, que podem ser claramente explicitadas por índices de centralidade. Tanto que Porta et al. (2009) afirmam que o sucesso de uma atividade

econômica urbana está associado a nada mais do que sua localização. E, segundo esse mesmo autor, localização pode ser entendida como centralidade. Portanto, entender a maneira como alguns desses “jogadores” montam suas estratégias locacionais e como elas são refletidas pela estrutura espacial urbana é um exercício crucial no entendimento de como ocorre a dinâmica espacial de uma cidade.

A maneira como as mais diversas atividades econômicas se distribuem na cidade gera consequências espaciais significativas para a população. Entre elas pode se destacar a valorização (ou desvalorização) de áreas, o aumento dos fluxos e da intensidade de usos do solo, o deslocamento de atividades, o surgimento de zonas de emprego e comércio, entre outros. Assim, podemos concluir que as atividades comerciais são fundamentais na maneira como as centralidades urbanas e regionais ocorrem e, portanto ter conhecimento acerca da maneira como essas atividades se localizam pode ser de interesse de muitos planejadores urbanos e regionais.

De forma geral, a pesquisa se justifica ao poder contribuir com a compreensão das estratégias espaciais que tais agentes tendem a adotar e quais eles tendem a descartar, apresentando uma metodologia capaz de comparar aspectos de ordem eminentemente espacial (centralidades em redes espaciais urbanas) com localizações de atividades econômicas observadas empiricamente na experiência prática de nossas cidades. O trabalho pode tornar-se uma potente ferramenta de análise locacional para arquitetos, planejadores urbanos, geógrafos, empresários e administradores públicos. Para os primeiros, porque significa compreender melhor as regras que determinam a localização comercial no seu objeto de estudo: o espaço urbano. Para empresários é uma ferramenta que otimiza o processo de escolha locacional. Por sua vez, a administração pública ganha uma importante ferramenta que auxilia o combate á especulação imobiliária, pois a pesquisa permite prospectar áreas que possuem características que tendem a atrair investidores.

No âmbito acadêmico, a pesquisa apresenta uma abordagem alternativa aos métodos clássicos utilizados para explicar a maneira como atividades econômicas se localizam nas cidades. Essa pesquisa está completamente inserida numa linha metodológica conhecida como abordagem configuracional. Para os pesquisadores que utilizam essa abordagem, a pesquisa contribui ao apresentar uma revisão de conceitos intrínsecos ao campo, ao realizar testes que evidenciam quais os tipos de representação espacial, qual

método de processamento de distâncias e, finalmente, qual (is) modelo (s) de centralidade está (ão) mais fortemente associado (s) ao fenômeno da distribuição de atividades econômicas sobre o espaço urbano. A **abordagem configuracional**⁶ é caracterizada por compreender a cidade de maneira a considerá-la como um sistema de relações existentes entre unidades espaciais irregularmente distribuídas, social e economicamente interativas e que são intermediadas por uma rede de caminhos que apresentam diversos níveis de acessibilidade interna (KRAFTA; NETTO, 2009). Assim, essa pesquisa se diferencia de outras abordagens espaciais mais tradicionais, pois nelas o caráter sistêmico do ambiente urbano **não** costuma ser problematizado, especialmente os estudos gravitacionais urbanos clássicos que são amplamente utilizados como referência de análise espacial aplicada ao *marketing*.

Finalmente, o trabalho reflete que a linha de pesquisa Sistemas Configuracionais Urbanos está em conexão direta com a produção de pesquisas sobre o mesmo tema, desenvolvidas em outros importantes centros de pesquisa da área como os trabalhos elaborados por Porta et al. (2009; 2011) no *Human Space Lab*, vinculado à Politécnica de Milão – Itália – e na *Urban Design Unit*, vinculado à Universidade de Strathclyde (Glasgow) – Escócia, respectivamente. Também com os trabalhos desenvolvidos por Sevtsuk (2010) e Sevtsuk e Mekkonen (2012) no Massachusetts Institute of Technology (MIT) e na Singapore University of Technology and Design (SUTD).

1.5 – Hipóteses

Centralidades em redes espaciais urbanas são capazes de gerar um quadro síntese das características locais mais vantajosas que são buscadas por agentes econômicos urbanos. Assim, **existiriam centralidades mais e menos capazes de refletir a ocupação do solo associada a tais atividades**. Dessa forma, partindo-se de afirmações encontradas na literatura dos estudos configuracionais, essa pesquisa admite três hipóteses possíveis que serão testadas e, posteriormente, discutidas no capítulo 6 – Discussão dos Resultados:

Hipótese I – Hipótese Bill Hillier: admite-se que, inicialmente, o modelo de centralidade por *Proximidade*, aplicado sobre uma rede espacial composta por linhas

⁶ A abordagem configuracional será apresentada de forma mais detalhada no capítulo 2 – Referencial Teórico.

axiais e processado de forma topológica apresentará as correlações mais significativas (HILLIER, HANSON, 1984; HILLIER et al., 1993).

Hipótese II – Hipótese Michael Batty, Sergio Porta: a aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação Planar* (KRAFTA, 1994) e centralidade por *Intermediação* (PORTA, 2009), sobre redes espaciais do tipo *primal*⁷ (BATTY, 2000), processados de forma geométrica apresentará as correlações mais altas.

Hipótese III – Hipótese Andrés Sevtsuk: os maiores níveis de correlação entre a quantidade de atividades econômicas e as centralidades devem estar associados ao processamento do modelo de centralidade por *Alcance*, sobre um tipo de rede espacial que seja o mais desagregada possível, em que as distâncias sejam calculadas considerando-se a geometria da rede espacial equivalente (SEVTSUK, 2010).

2 – Referencial Teórico

Esse capítulo identifica os tópicos fundamentais para a base teórica da pesquisa, servindo como alicerce para a proposição metodológica apresentada posteriormente. Como a pesquisa está, fundamentalmente, baseada em estudos de análise espacial (LONGLEY; BATTY, 2003) serão tratados, na primeira parte, aspectos relacionados a esse tema. Na sequência, serão apresentados conceitos vinculados à maneira como a localização de atividades econômicas tem sido tratada no meio acadêmico nos últimos anos. Tradicionalmente, os estudos que problematizam a maneira como as atividades econômicas se distribuem sobre a cidade recorrem a duas abordagens extremamente consolidadas em estudos de economia urbana: os modelos micro-econômicos e a teoria gravitacional urbana. A primeira delas têm foco muito mais destacado nos agentes econômicos do que no espaço, sendo a única referência espacial aquela que associa as maiores concentrações de atividades econômicas àqueles lugares com menor distância média para todos os outros que com ele compõem um conjunto espacial (ou seja, a facilidade de acesso é a característica espacial definidora da localização de atividades econômicas no espaço). A segunda abordagem admite que a localização de atividades econômicas depende dos espaços que serão capazes de gerar maior interação entre

⁷ A definição de redes espaciais do tipo *primal* será apresentada no capítulo 4 – Metodologia. Como nessa pesquisa a única rede espacial *primal* testada é oriunda de mapas nodais, subentende-se que essa hipótese admite que os melhores resultados de correlação com a distribuição de atividades econômicas serão os oriundos da aplicação dos modelos de centralidade sobre as redes nodais.

espaços de demanda e de oferta. Assim, a localização de atividades econômicas urbanas estaria associada àqueles lugares que minimizam a distância às áreas de demanda de comércios e serviços e que geram a maior interação com os consumidores. Para isso, teóricos dessa abordagem recorrem às idéias apresentadas por Isaac Newton, sendo conhecida como abordagem gravitacional.

Além dessas duas, essa pesquisa apresenta uma abordagem alternativa: ela admite que a cidade é composta por um sistema de espaços públicos, articulados de maneira tal que o espaço urbano possa ser descrito na forma de uma rede. Assim, a localização de atividades econômicas estaria associada àqueles espaços urbanos mais centrais dentro dessa rede, que é definida em função, **apenas**, da configuração do espaço público das cidades. Essa abordagem é chamada de configuracional, ou seja, difere da primeira que considera que a concentração de atividades econômicas está associada àqueles espaços, em média, mais próximos dos outros e da segunda abordagem que considera que as atividades econômicas urbanas ocorrem naqueles espaços que minimizam a distância para os consumidores e maximizam a interação oferta/demanda. Essa pesquisa baseia-se no princípio de que, apenas a configuração da rede de ruas da cidade e, portanto, apenas o desenho urbano é suficiente para apresentar características capazes de sugerir a maior ou menor probabilidade de se encontrar aglomerações de atividades econômicas na cidade. Dessa forma, o capítulo será encerrado com a apresentação de definições teóricas a respeito da abordagem configuracional (KRAFTA, 1994; CRUCITTI et al., 2006; PORTA et al., 2006a; PORTA et al., 2006b; SEVTSUK, 2010), especialmente no tocante a enunciados teóricos que estruturam modelos configuracionais urbanos, redes espaciais urbanas e suas propriedades.

2.1 – Análise Espacial Urbana

Estudar relações espaciais é fundamental para a compreensão de fenômenos naturais e sociais, pois só o conhecimento do espaço e das relações dele decorrentes possibilitam a tomada de decisão (ROSA, 2011) e, para se realizar esses estudos recorre-se, tradicionalmente, à análise espacial. Por análise espacial entende-se o estudo da distribuição de qualquer fenômeno no espaço e a busca por padrões que indiquem um comportamento particular (ROSA, 2011). A análise espacial tem estado, fortemente, presente nas decisões locacionais tomadas em nosso cotidiano. Muitos apontam o médico John Snow, fundador das bases da epidemiologia moderna, como o pioneiro da análise espacial urbana. Seu legado está relacionado ao fato de que, em 1854, ele foi

capaz de identificar focos de cólera no distrito do Soho, na cidade de Londres, apenas manipulando dados espaciais. Sua proposta cruzava dados referentes à quantidade de pessoas infectadas com a doença, suas residências e a dispersão de poços de água potável no distrito. Pela correlação entre locais de residência e cadastro de pessoas enfermas, o médico conseguiu identificar o poço foco da doença (CÂMARA et al., 2004).

Atualmente, a análise espacial tem sido utilizada para abordar uma variada gama de questões relacionadas ao espaço e, especialmente, em práticas espaciais relacionadas a negócios. Longley e Batty (2003) definem análise espacial como:

[...] really a kind of data-mining technology. With it you can document different layers of separate information set and use the spatial analytic tools in the same way that business currently mine tabular databases for business intelligence. Spatial analysis is the basis for spatial data mining, which will increasingly emerge as the basis for decision support systems across a diverse range of industries and jurisdictions to answer such questions as: Where should I locate? What areas should be target? What areas are biologically productive? What is the best strategy to take in the context of a more detailed and accurate understanding of place and location? These are types of questions that are pervasive in the human world as our society becomes more spatially literate⁸ (LONGLEY; BATTY, 2003, p. 7).

⁸ “[...] realmente um tipo de tecnologia de mineração de dados. Com ela é possível documentar e definir, separadamente, diferentes camadas de informações e usar ferramentas espaciais analíticas, da mesma forma que **os negócios atualmente mineram dados tabulados para inteligência de negócios**. A análise espacial é a base para a mineração de dados espaciais, que vão surgir cada vez mais como base para sistemas de suporte à decisão através de uma variada quantidade de aplicações em negócios e administrações para responder a questões como: **Onde devo me localizar? Quais áreas devem ser alvo?** Quais áreas são biologicamente produtivas? Qual é a melhor estratégia a tomar no contexto de uma compreensão mais detalhada e precisa de local e localização? Estes são os tipos de perguntas que são difundidas em nosso dia-a-dia e que tornam nossa sociedade cada vez mais espacialmente alfabetizada” (LONGLEY; BATTY, 2003, p. 7, tradução nossa).

Frequentemente, a análise espacial recorre a programas computacionais conhecidos como Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Segundo Câmara et al. (2004) o termo é aplicado para “sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e armazenam a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica” (Câmara et al., 2004, p. 27). Os programas representam o espaço, utilizando elementos de geometria euclidiana: pontos, linhas e polígonos. Cada tipo de elemento geométrico passa a representar uma porção de espaço, perfeitamente delimitada e ocupando uma posição particular, ao qual são associados dados alfanuméricos, utilizados para a manipulação e visualização de análises, como a ocorrência de eventos pontuais (por exemplo a localização de estabelecimentos comerciais, a incidência de crimes, mortes ou focos de doença), superfícies contínuas (por exemplo recursos naturais e aspectos topográficos) e áreas de contagens e taxas agregadas (por exemplo populações por setores censitários e municípios) (CÂMARA et al., 2004).

2.2 – Teoria Locacional Urbana

Normalmente, em estudos de teoria locacional urbana, parecem existir três abordagens distintas que se ocupam de analisar como ocorre a distribuição de atividades econômicas sobre as cidades. A primeira delas é baseada em princípios de economia clássica⁹, tendo seu foco voltado, principalmente, para os agentes produtores de riqueza. Essa abordagem é responsável por uma série de modelos teóricos conhecidos como “modelos micro-econômicos”. A segunda delas baseia-se em princípios que admitem que a distribuição de atividades econômicas estaria associada ao comportamento espacial do consumidor e a aspectos vinculados ao espaço, i.e., uma abordagem que admite que a tomada de decisão dos consumidores, a localização dos agentes econômicos e o espaço são complementares. Essa abordagem emprega modelos teóricos que se fundamentam nas idéias da teoria gravitacional newtoniana. Finalmente, a terceira e última abordagem lança seu foco, apenas sobre a morfologia da cidade, ou seja, sobre a configuração do espaço urbano. Dessa forma, ela admite que a tomada de decisão locacional dos agentes econômicos urbanos pode ser definida em função das características do desenho da rede de ruas de uma cidade. Essa é a abordagem que será empregada na metodologia dessa pesquisa.

⁹ A economia clássica admite que existam vários produtores tentando maximizar seus lucros, minimizar seus gastos e que ocorra uma perfeita igualdade de oportunidades para a competição entre eles.

Assim, nesse tópico serão apresentados conceitos associados às teorias oriundas das duas primeiras abordagens. Na sequência, de forma minuciosa, a terceira abordagem será apresentada, encerrando o capítulo.

2.2.1 – Modelos Micro-Econômicos

Quando se trata de teorias de localização urbana, autores sugerem que o estudo da distribuição de atividades econômicas urbanas remontam ao início do século XIX, quando o economista alemão Johann Heinrich Von Thunen constatou que havia um padrão locacional entre a produção agrícola e o mercado consumidor, na Alemanha (BARRA, 1979). Segundo a teoria de Von Thunen, o lucro obtido pelos produtores agrícolas era maximizado conforme a disponibilidade/produtividade da terra aumentava e a distância até o mercado consumidor diminuía. Sua teoria admitia um estado isolado, capaz de prover toda a produção necessária para a população, além da ocorrência de um perfeito equilíbrio entre as necessidades de demanda e a disponibilidade/produção de ofertas. Existiria, apenas, um mercado consumidor e as atividades agrícolas se localizariam no seu entorno. A terra, de acordo com a teoria de Von Thunen, localiza-se num espaço isotrópico, é homogênea do ponto de vista de fertilidade, produtividade e dos custos com transporte por unidade de distância. A competição entre os produtores é perfeita e todos os consumidores têm pleno conhecimento das condições de mercado.

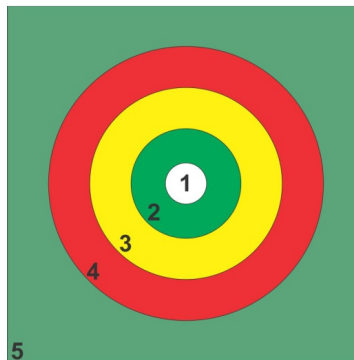


Figura 1 – Modelo de Anéis Concêntricos de Von Thunen (1826). De acordo com o economista alemão, existe no centro de um espaço isotrópico um mercado consumidor (1). Num nível imediatamente superior, ocorre a localização de atividades de agricultura intensiva (2), i.e., atividades que requerem menor área de produção e acesso diário ao centro consumidor (perceíveis). Num terceiro nível localizam-se atividades associadas a obtenção de energia, como a produção de carvão, água, entre outros, num anel chamado de “recursos naturais” (3). Na sequência, o anel vermelho indica a localização de atividades agrícolas extensivas, i.e., grandes plantações (4), que precisam de grandes extensões de área e que não são transportadas diariamente até o centro consumidor. Além desse anel localizam-se as áreas destinadas à pecuária, tais como a criação de animais, os pastos, etc (5) (Fonte: elaboração própria).

Considerando esse cenário, o economista alemão propôs um modelo que aponta que a maior disponibilidade e produtividade da terra acontecem nos espaços com a maior

distância para o centro consumidor. De forma inversa, a menor disponibilidade e produtividade da terra estariam localizadas naqueles espaços mais próximos do centro consumidor. Assim, os lucros com a disponibilidade/produtividade da terra e os gastos com transportes tenderiam a se equilibrar. A “teoria do estado isolado” ou “teoria dos anéis concêntricos de Von Thunen”, ficou assim conhecida, pois ela é resumida por um conjunto de anéis que representam o centro consumidor e uma série de atividades agrícolas associadas a esse mercado, conforme pode ser visto no gráfico da figura 1.

Anos mais tarde, na década de 1960, os economistas Lowdon Wingo e William Alonso observaram que as idéias originais de Von Thunen poderiam ser reaplicadas no espaço urbano, a fim de se verificar como são feitas as escolhas locais de usuários da cidade. Em 1961, Wingo apresentou uma teoria que está baseada no princípio da complementaridade entre custos de transporte e valor do solo, ambas sujeitas ao orçamento do usuário que, baseado em noções de economia clássica, tentará maximizar seus ganhos e minimizar suas despesas. Segundo Wingo, existiria apenas uma fonte de empregos na cidade (centro), e todas as despesas fixas (alimentação, vestuário, contas, etc), exceto o valor do solo, seriam iguais. Os gastos com transporte variariam em função da distância para o centro, onde localizavam-se os empregos. Assim, de acordo com a teoria de Wingo, o lucro obtido pelo valor do solo na cidade é gerado pela economia entre o custo de transporte das bordas da cidade até o centro. Logo, se toda a área da cidade pode ser construída, uma função de consumo se estabelece: onde o preço da terra aumenta, menos solo é consumido por residências, gerando uma densidade que é inversamente proporcional ao preço do solo (BARRA, 1979).

Sobre as idéias de Wingo, três anos mais tarde, William Alonso apresentou sua teoria que coloca que a escolha local dos usuários da cidade, inicialmente, prioriza as posições mais centrais, estando essas pessoas dispostas a aceitar um local de residência mais distante do centro da cidade se, em compensação, os custos de vida forem mais baixos. A posição mais privilegiada, de acordo com essa teoria, seria a que otimiza a relação distância até o centro, custos de transporte e valor de bens e serviços. Se os gastos com bens e serviços é constante em toda a cidade, então o preço do solo deve diminuir com o aumento da distância do centro. Em decorrência disso, os mais afortunados vão escolher as densidades mais baixas, na periferia da cidade, e os pobres permaneceriam ocupando áreas centrais, gerando alta densidade (relação inversa entre preço de terreno e densidade). Assim, a quantidade de solo que pode ser adquirida deve

aumentar conforme a distância do centro, porém os custos com transporte irão aumentar proporcionalmente, de modo que a quantidade de recursos para a compra de terrenos diminuirá, pois esta deverá ser compensada pelos gastos com deslocamento (BARRA, 1979).

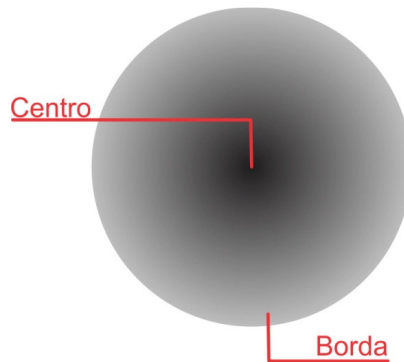


Figura 2 – Gradiente de densidades de Alonso. Na parte mais central da cidade, que concentra as facilidades urbanas, existiria pouca disponibilidade de terra, alta procura em função dos menores gastos com transportes e, conseqüentemente, maiores densidades. Na parte mais afastada da cidade (borda), ocorre maior disponibilidade de terra, menor procura em função dos maiores gastos com transportes e, conseqüentemente, menores densidades (Fonte: elaboração própria).

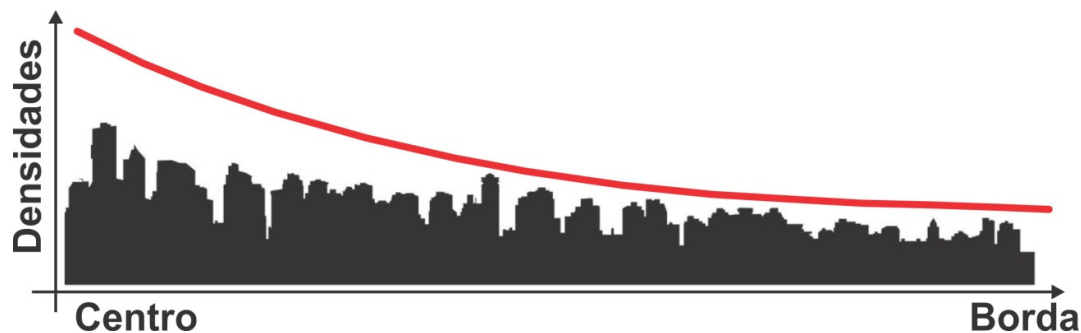


Figura 3 – Composição artística do Skyline de Vancouver, Canadá. A linha vermelha apresentada na imagem sintetiza “A forma geral da cidade”, oriunda da teoria de William Alonso. Quanto mais distante do centro (borda), menor as densidades, aqui associadas às alturas das edificações. Por outro lado, quanto mais próximo do centro, mais denso é o espaço (Fonte: elaboração própria).

A teoria apresentada por William Alonso é conhecida, também, como “A forma geral da cidade”, já que ela é capaz de descrever, com alguma precisão, como a densidade residencial ocorre em zonas urbanas.

Com um foco diferente desses dois últimos autores, que procuram compreender como residências se distribuem sobre a cidade, outra importante contribuição para a compreensão da forma como atividades econômicas urbanas se localizam no espaço foi apresentada pelo geógrafo alemão Walter Christaller, em 1933 com o nome de “teoria do lugar central” (NORTHAM, 1995). Lidando com uma escala regional e tendo em

mente que a cidade é um centro que concentra facilidades, a teoria desenvolvida por Walter Christaller admite que as partes que compõem o espaço regional podem ser hierarquizadas em função da complexidade de serviços nelas alocados. Dessa forma, existiriam limiares associados à distâncias que pessoas estão dispostas a percorrer para encontrar um serviço urbano, de forma tal que uma cidade seria mais importante conforme o grau de complexidade de serviços nela ofertados e, conseqüentemente, à maior distância que residentes em outras cidades estariam dispostos a percorrer para chegar até ela. Como uma proposição teórica, a “teoria do lugar central” está assentada sobre pré-definições similares àquelas apresentadas na teoria desenvolvida por Von Thunen, das quais destaca-se que o espaço regional é isotrópico, ocorrendo uma perfeita competição entre os prestadores de serviços. Os consumidores possuem total conhecimento das condições de mercado e o seu comportamento espacial é definido, apenas em função da menor distância até o centro que provém o ítem buscado. Assim existiriam, inicialmente, um conjunto de cidades primazes (ou lugares centrais), equidistantes e que proveriam os serviços mais complexos de uma região. Cada lugar central possui uma área de influência igual às demais. A princípio, cada uma dessas áreas de influência teriam formato circular, e cada lugar central se assentaria no seu centro. No entanto, adotando tal forma geométrica, surgem áreas não cobertas pela área de influência desses lugares centrais, i.e., existiriam áreas descobertas. Assim, o autor alterou sua proposta de formato de áreas de influência para hexágonos regulares, conforme é ilustrado na figura 4, abaixo:

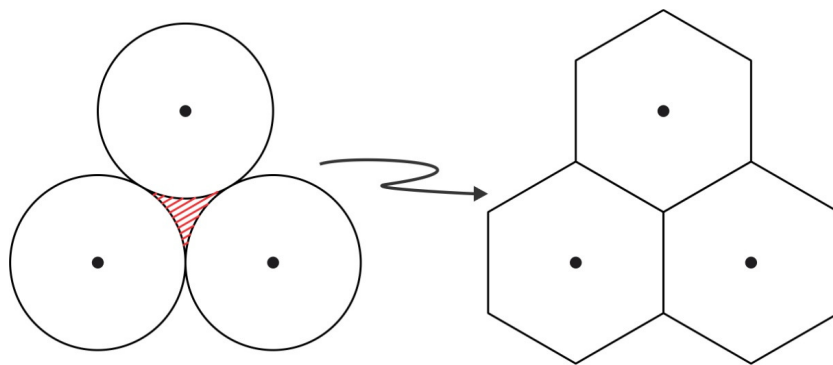


Figura 4 – Adequação das áreas de influência dos lugares centrais (nós em preto). Para evitar o surgimento de áreas descobertas (linhas vermelhas à esquerda), o autor definiu que as áreas de influência de cada lugar central teria formato hexagonal (à direita) (Fonte: elaboração própria).

Definidas as áreas de influência de cada lugar central, Christaller (1933) coloca nos vértices desses hexágonos localidades de segunda ordem, chamadas de *distritos*. Dessa

forma, cada cidade primaz ou lugar central teria seis distritos associados à sua área de influência, que apresentariam limiares de distância iguais entre si, mas sensivelmente, menores do que aquelas áreas de influência das cidades primazes. Além disso, os distritos apresentariam serviços com complexidade menos sofisticada do que os lugares centrais. Novamente, utilizando hexágonos regulares, o autor definiu as áreas de influência de cada distrito. Na sequência, uma nova série de locais de terceira classe é adicionada a cada vértice das áreas de influência dos *distritos*. Esses locais de terceira classe são chamados de *vilas* e eles apresentam uma área de influência menor do que as dos lugares centrais e do que as dos distritos, além de oferecerem serviços com limiar muito inferior aos daqueles localizados nos dois níveis hierárquicos citados anteriormente. Finalmente, mais uma série de localidades são adicionadas aos vértices dos hexágonos que representam a área de influência de cada *vila*. A essas localidades o autor chama de *aldeias*, que possuem áreas de influência muito menor do que as áreas de influência oriundas dos lugares centrais, além de serviços com limiares também muito menores. O condensado dessas idéias gera uma estrutura que lembra uma colméia, sendo a “teoria do lugar central” também conhecida como “teoria da colméia”, conforme ilustrado na imagem da figura 5.

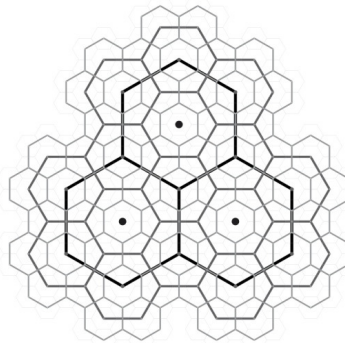


Figura 5 – Teoria do lugar central (CHRISTALLER, 1933). O gradiente de cores em tons de cinza indica os níveis hierárquicos de cada localidade e suas áreas de influência (limiares). Os lugares mais centrais apresentam tons mais fortes e, quanto mais fracos, os lugares são representados em tons mais claros (Fonte: elaboração própria).

Assim, o trabalho de Walter Christaller contribui com os estudos locacionais urbanos, ao apresentar uma teoria capaz de sintetizar como se distribuem as atividades econômicas numa região, refletindo-se dessa forma a importância de cidades numa escala regional. Reaplicando tal raciocínio para o espaço intra-urbano, pode-se estimar que a quantidade e a complexidade de serviços prestados no espaço urbano segue uma regra: quanto mais complexo, menor a disponibilidade e maior a distância que os

usuários estariam dispostos a percorrer para alcançar um determinado serviço urbano. Por outro lado, quanto mais trivial um serviço for, i.e., quanto maior for sua frequência pela cidade, menor é sua área de influência e menor a distância que usuários estariam dispostos a percorrer para alcançá-lo.

Outra importante contribuição para os estudos locacionais urbanos e regionais foi realizada pelo economista alemão Alfred Weber, na primeira metade do século XX (BARRA, 1979). Sua teoria admite, inicialmente, simplificações como as adotadas por Von Thunen e Christaller. Dentre elas destacam-se: a existência de apenas um mercado consumidor, um espaço isotrópico e os mesmos custos com transporte por unidade de distância. Em função do grande vínculo que a produção industrial possui com a cidade, especialmente na virada do século XIX para o século XX, o trabalho do economista estava interessado em descobrir quais fatores dirimiriam a tomada de decisão locacional de indústrias. Assim, sua teoria foi batizada de “teoria da localização industrial”. A teoria parte, a princípio, do pressuposto de que gastos com transportes são a maior barreira para a produção industrial. Dessa forma, considerando que indústrias são estabelecimentos que processam matérias primas e depois as repassariam para o mercado consumidor na forma de um produto final, a teoria da localização industrial de Weber sugere que indústrias tendem a se localizar em locais capazes de maximizar a acessibilidade à fontes de matéria prima e ao mercado consumidor, simultaneamente.

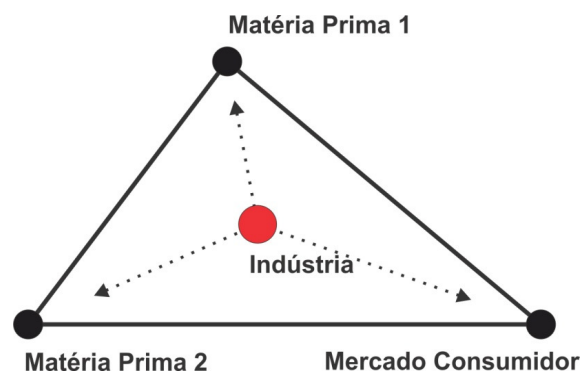


Figura 6 – A teoria da localização industrial de Weber. Indústrias tendem a minimizar sua distância às matérias primas e ao mercado consumidor, simultaneamente. Esse enunciado é sintetizado pelo triângulo de Weber onde, nos vértices localizam-se as fontes de matéria prima e o mercado consumidor. No interior desse triângulo, em seu ponto médio, ficaria a posição otimizada para a localização industrial (Fonte: elaboração própria).

A teoria de Weber consegue explicar, especialmente para a indústria pesada, como a tomada de decisão locacional tende a ser tomada, pois esse tipo de indústria está fortemente relacionada aos meios de transporte e aos custos com distâncias percorridas.

2.2.2 – Modelos Gravitacionais Urbanos

Percebe-se que, até o momento, foram apresentadas teorias urbanas de cunho eminentemente econômico. Porém, além dessas teorias locacionais, existe um campo que talvez tenha contribuído de forma mais incisiva com os estudos locacionais urbanos que se debruçam sobre como ocorre a distribuição de atividades econômicas na cidade. Esse campo teórico é tão relevante, pois lança luz tanto sobre questões de ordem econômica, quanto sobre aspectos espaciais vinculados à cidade. A essa abordagem chamamos de teoria locacional urbana gravitacional (BROWN, 1992). Esse é um campo extremamente profícuo nos estudos urbanos, formando um dos nichos mais tradicionais de estudos espaciais. No entanto, como essa pesquisa apresenta uma maneira alternativa de se realizar tais estudos locacionais, aqui será apresentada, a partir desse parágrafo, uma breve revisão acerca de alguns modelos gravitacionais aplicados ao varejo¹⁰ que são considerados clássicos da teoria de localização comercial.

Ainda hoje, quase 80 anos após o primeiro desses trabalhos ter sido lançado, esses modelos são tidos nos estudos urbanos e regionais como cruciais para o desenvolvimento da teoria da localização varejista (MARASCHIN, 2009). Não pretende-se aqui formular uma revisão que trate do estado da arte do campo, mas desenvolver um *briefing* acerca dos fundamentos teóricos básicos que fundamentam esses estudos, de maneira a ser possível demonstrar as principais características desses modelos para que o leitor possa compará-los com os modelos oriundos da abordagem configuracional, que serão utilizados na proposta metodológica dessa pesquisa.

Quando se trata de modelos gravitacionais, inicialmente, é necessário admitir que consumidores e prestadores de serviços e comércio tomam suas decisões locacionais fundamentados no princípio da máxima utilidade, ou seja: a busca por menores custos e a maximização de ganhos (economia clássica). Outra consideração importante no campo dos modelos gravitacionais baseia-se na ideia de que a cidade (ou uma região) possa ser compreendida como uma série de espaços articulados, capazes de cumprir

¹⁰ Varejo é entendido como “todas as atividades relacionadas à venda direta de produtos e serviços aos consumidores finais, para uso pessoal. Qualquer empresa que forneça um produto ou serviço para o consumidor final está praticando varejo. A venda pode ser realizada de forma pessoal, por correio, por telefone, por máquinas de venda ou pela Internet, em uma loja, na rua ou na casa do consumidor. Há diversos tipos de organizações de varejo, e continuamente surgem novos. Existem os varejistas de loja, varejistas sem loja e organizações de varejo” (IBEVAR, 2014 p. 9).

funções complementares que são associadas à origens e a destinos de fluxos. Nessa direção, Krafta (2014) coloca que:

A vida social urbana é feita de complementariedades que demandam espaços adaptados para atividades e deslocamentos, ou fluxos dos mais variados tipos. A cidade, conseqüentemente, resulta em um campo de força onde cada elemento contribui para **magnetizar**, polarizar, distribuir e **conduzir atividades e fluxos**. (KRAFTA, 2014, p. 241).

Dessa maneira, baseando-se nesses aspectos, podemos admitir que alguns pares de espaços da cidade se relacionam de maneira a se atraírem de forma mais acentuada do que outros como, por exemplo, os centros comerciais e os locais de residência de consumidores, escolas primárias e residências de crianças, indústrias e residências de empregados, etc. Essas relações entre espaços podem ser mais ou menos intensas, refletindo uma maior ou menor força de atração entre eles, conhecida nos estudos urbanos e regionais como **interação espacial** (HUFF, 1964). De acordo com Palma (2011) a interação espacial urbana refere-se a uma série de elementos distintos como seres humanos, mercadorias e informação que estão distribuídos e se movimentam sobre o espaço, relacionando-se, comunicando-se, atraindo-se e afastando-se mutuamente, sendo, por isso, possível recorrer a conceitos da física clássica para melhor compreendê-los. Como ciência exata, a física proporciona métodos quantitativos que, aplicados aos estudos urbanos e regionais, são relevantes por serem capazes de demonstrar o nível relacional de espaços numa cidade ou região.

A fim de avaliar o grau de atração entre pares de espaços urbanos, autores formalizaram um conceito, associando as interações entre espaços urbanos e/ou regionais à segunda lei da gravitação universal de Isaac Newton (WILSON, 1967). Segundo essa lei, dois corpos se atrairiam de forma diretamente proporcional a suas massas e inversamente proporcional ao quadrado de sua distância. A equação 1 sintetiza essa afirmação:

Equação 1 – Lei da gravitação universal de Isaac Newton (Fonte: adaptado de Wilson, 1967, p. 253).

$$F_{ab} = G \cdot \frac{m_a m_b}{d^2}$$

Onde F_{ab} é a força de atração entre dois corpos a e b ; G é uma constante de aceleração da gravidade; m é a massa dos corpos a e b e; finalmente, d é a distância entre os corpos a e b .

Essa simples expressão matemática é amplamente utilizada como referência para planejadores de transportes na estimativa da quantidade de viagens a serem realizadas entre um par de pontos, em que um deles possui oferta de serviços j e outro que possa ser caracterizado como demandas i (WILSON, 1967). A equação utilizada pelos profissionais de transportes é perfeitamente comparável ao modelo *newtoniano* como pode ser observado na equação 2:

Equação 2 – Interação espacial e quantidade de viagens realizadas entre um par de espaços (Fonte: adaptado de Wilson, 1967, p. 253).

$$T_{ij} = k \cdot \frac{O_i D_j}{d_{ij}^2}$$

Na expressão T_{ij} é a quantidade de viagens entre os pontos i e j , O_i representa a quantidade de origens de viagens de trabalho e D_j a quantidade de destinos de viagens, k é uma constante e d é a distância entre i e j .

Assim, de certa forma, pode-se dizer que o grau de interação exercida por um espaço de oferta de serviços j com todos os outros espaços de demanda i é dado pela expressão:

Equação 3 – Somatório de interações espaciais de um espaço de oferta com seus pares de demanda (Fonte: adaptado de Wilson, 1967, p. 253).

$$I = \sum_i T_{ij}$$

Onde I é a interação de cada espaço de oferta j com todos os pontos de demanda i . Portanto, modelos gravitacionais estão baseados na idéia de que quanto maior a interação entre um par de espaços, maior o grau de suas forças de atração mútua e, conseqüentemente, quanto maior a atração exercida por um espaço sobre todos os outros, maior sua importância. Analogamente, se considerarmos que um par de espaços urbanos (HUFF, 1964) ou regionais, definidos respectivamente como origem e destino de fluxos, podem ser caracterizados em função de características intrínsecas a eles como a quantidade de moradores, ou a quantidade de crianças residentes, a área construída, estoques edificadas, a quantidade de vagas de emprego, a quantidade de vagas numa escola infantil, entre outros, então podemos admitir que cada um dos espaços desse par possui uma “massa”, ou carga, muito particular. Logo, se um dos espaços desse par está

associado a origem de fluxos e possui uma característica notória que reflita uma “massa” ou carga “grande”, como por exemplo muitos moradores numa zona residencial que tem relações de dependência com outro espaço definido como destino, também com uma “massa” ou carga “grande” como, por exemplo, um grande centro comercial, e a distância entre esses espaços tende a zero, tem-se uma situação de altíssima interação, ou seja, de maior força de atração (gravitação). Por outro lado, essa interação tende a ser minimizada de acordo com o aumento da distância entre esses espaços ou a queda de suas “massas” ou cargas.

O enunciado gravitacional foi fundamental para os primeiros estudos interessados na análise e compreensão da localização de atividades econômicas urbanas. Sobre tais idéias, pesquisas realizadas por William Reilly, P. D. Converse e David Huff apresentaram modelos matemáticos que conseguem, de alguma forma, capturar o grau de interação entre áreas comerciais e consumidores, gerando uma importante ferramenta para a compreensão das estratégias locacionais de agentes urbanos comerciais, fundamentais para a evolução do campo da modelagem gravitacional aplicada ao estudo da localização comercial nos últimos anos (BROWN, 1992).

2.2.2.1 – Lei da Gravitação do Varejo

A origem dos modelos gravitacionais aplicados ao varejo remonta aos trabalhos de William J. Reilly intitulados “*Methods for Study of Retail Relationships*” de 1929 e “*The Law of Retail Gravitation*” de 1931 e, posteriormente, com as contribuições de P. D. Converse, com destaque para a obra “*New Laws of Retail Gravitation*”, de 1949 (HUFF, 1964; BROWN, 1992). Baseado nos enunciados propostos por William Reilly e P.D. Converse, David Huff desenvolveu um outro trabalho considerado fundamental para a área dos modelos gravitacionais aplicados à localização varejista, intitulado “*Defining and Estimating a Trade Area*”, em 1964 (BROWN, 1992). Esses três modelos serão apresentados e discutidos a seguir.

Modelo de Reilly

A noção da lei gravitacional aplicada ao varejo foi apresentada por **William Reilly**¹¹ e está associada a fenômenos urbanos que nós presenciamos todos os dias, sendo o

¹¹ William Reilly não pode ser considerado o pai dos modelos gravitacionais. Segundo Brown (1992), outros pesquisadores aplicaram a mesma idéia para estudar, originalmente, os fluxos migratórios do País de Gales e da Inglaterra. Porém, William Reilly foi o pioneiro na utilização desse conceito associado a definição de áreas de comércio.

exemplo mais comum do “consumidor esquecido”. Imagine que depois de sair de uma loja "A", um consumidor se lembre de algo que se esqueceu de comprar. Porém, ele só percebe seu esquecimento quando já está indo em direção a outra loja “B”, que também comercializa o item esquecido. De acordo com esse autor, existiria um ponto em que o consumidor decidirá se volta à loja “A” ou prossegue em direção à loja “B”. Esse ponto é chamado na literatura de estudos gravitacionais de ponto de equilíbrio ou *Break-Point*. Esse ponto de equilíbrio pode ser compreendido como o ponto após o qual o consumidor irá se deslocar para a loja "B" ao invés de retornar à loja “A”, por causa de um fator “gravitacional” (CONVERSE, 1949; HUFF, 1964). Esse fator é dado em função de uma carga (“massa”) atribuída a cada loja. A “carga” pode referir-se, por exemplo, ao tamanho do ponto comercial (metragem quadrada), quantidade de funcionários, especificidade de um produto, entre outros fatores, isto é, o equivalente à massa de um corpo na segunda lei da física de Isaac Newton, como foi apresentado anteriormente. No caso específico do modelo apresentado por William Reilly, essa carga era igual à quantidade de moradores de uma área urbana e, ao invés de se considerar lojas, a área de influência era dada em função do tamanho de uma cidade.

A lei da gravitação do varejo de William Reilly afirma que as maiores cidades terão maiores áreas de influência do que as cidades menores, ou seja, as pessoas se dispõem a percorrer uma distância maior para chegar a uma cidade maior e, conseqüentemente, forma-se um mercado mais amplo (HUFF, 1964). Essa idéia permite-nos limitar a área de influência do comércio em torno das cidades, utilizando a distância entre elas e a suas respectivas populações. Isso implica assumir que cada consumidor irá fazer suas compras dentro de uma área de influência pré-definida em função de seu porte. De forma geral, os modelos gravitacionais aplicados ao varejo são estáticos, ou seja, admitem a idéia de um estado em equilíbrio (MARASCHIN, 2009). Se duas cidades, por exemplo, possuem o mesmo tamanho, logo a área de influência de cada uma delas será igual e o ponto de equilíbrio será exatamente a metade de sua distância. Se duas cidades possuem tamanhos distintos, logo o ponto de equilíbrio será, certamente, mais próximo da cidade menor. O enunciado proposto por William Reilly pressupõe que o comportamento espacial do consumidor difere em função de aspectos vinculados apenas à distância.

Originalmente, a fórmula da área de influência comercial apresentada por William Reilly (HUFF, 1964) é apresentada sob a forma de uma proporção entre as distâncias a

serem percorridas por consumidores localizados em algum ponto entre duas cidades, “A” e “B”:

Equação 4 – Área de influência (*Break-Point*) de William Reilly (Fonte: adaptado de Huff, 1964, p. 35).

$$\frac{B_a}{B_b} = \left(\frac{P_a}{P_b}\right) \cdot \left(\frac{D_b}{D_a}\right)^2$$

Onde, B_a é a proporção de consumidores de uma cidade intermediária entre “A” e “B” atraída pela cidade “A”; B_b é a proporção de consumidores de uma cidade intermediária entre “A” e “B” atraída pela cidade “B”; P_a é a população da cidade “A”; P_b é a população da cidade “B”; D_a é a distância da cidade intermediária até a cidade “A” e D_b é a distância da cidade intermediária até a cidade “B”. A figura 7 demonstra exemplos de áreas de influência medidas conforme o modelo de William Reilly.

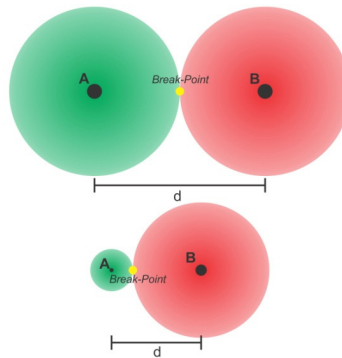


Figura 7 – Modelo de William J. Reilly. Acima o efeito da localização sobre o comportamento espacial do consumidor entre duas cidades “A” (verde) e “B” (vermelho) com populações iguais. O *Break-Point* (ponto amarelo) localiza-se na metade da distância entre elas. Abaixo, o efeito da localização sobre o comportamento espacial do consumidor entre duas cidades “A” e “B” com populações diferentes. O *Break-Point* localiza-se mais próximo da menor cidade, indicando uma área de influência menor (Fonte: elaboração própria).

Modelo de Converse

Anos mais tarde, a fim de apurar o comportamento espacial do consumidor e a distância a qual ele estaria disposto a percorrer por uma mercadoria, Converse (1949) apresenta extensivos estudos empíricos, concluindo que seriam necessárias modificações na proposição matemática inicial de William Reilly. Segundo Converse (1949), o *Break-Point* é, matematicamente, descrito por:

Equação 5 – *Break-Point* segundo P.D. Converse (Fonte: adaptado de Converse, 1949, p. 35).

$$BP = \frac{d}{1 + \sqrt{P_1/P_2}}$$

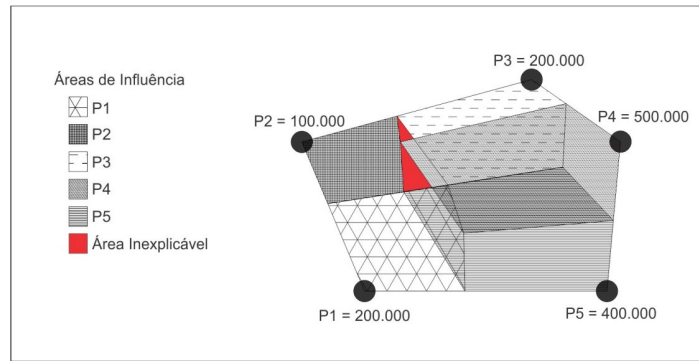


Figura 8 – Aplicação do modelo de Converse (1949). Os círculos pretos representam cidades. As suas respectivas áreas de influência são demarcadas pelas hachuras. Em vermelho, extensões não cobertas por nenhuma área de influência, ou áreas “inexplicáveis” (Fonte: adaptado de Huff, 1964, p.37).

Na equação, *BP* é o *Break Point* (ou ponto de equilíbrio), *d* é a distância entre duas cidades (1 e 2) e P_1 e P_2 são as populações das cidades 1 e 2, respectivamente. A equação 5 irá apontar um valor de distância, ou o *break point*, em relação a cidade 2, que delimita a área de influência da cidade 1. O exemplo da figura 8 é matematicamente descrito pelas tabelas 1 e 2, abaixo.

Tabela 1 – Distâncias, em milhas, entre cidades no exemplo da figura 8 (Fonte: elaboração própria).

Cidades	P1	P2	P3	P4	P5
P1	-	30	50	55	45
P2	30	-	44,2	59,1	63
P3	50	44,2	-	20,1	41,6
P4	55	59,1	20,1	-	27,8
P5	45	63	41,6	27,8	-

Tabela 2 – Distâncias, em milhas, entre áreas de influência (*Break Points*) em relação a cada par de cidades possível (Fonte: elaboração própria).

Cidades	P1	P2	P3	P4	P5
P1	-	12,4	25	33,6	26,3
P2	17,5	-	25,8	40,8	42
P3	25	18,3	-	12,3	24,3
P4	21,3	18,2	7,7	-	13,1
P5	18,6	21	17,2	14,6	-

Perceba na figura 8 que apesar dos esforços, o modelo de Converse (1949) apresenta um grave problema: existem áreas que Huff (1964) chama de “inexplicáveis” (em vermelho

na figura 8). Elas não pertencem a área de influência de nenhuma cidade (HUFF, 1964). Esse é, talvez, o principal problema que David Huff se dedica a elucidar.

Modelo de Huff

Depois de verificar problemas na formulação dos modelos gravitacionais apresentados por William Reilly (HUFF, 1964) e Converse (1949), especialmente no tocante as variáveis de população, distância ao quadrado e as áreas “inexplicáveis” e que nem sempre eram adequadas a realidade prática (BROWN, 1992), Huff (1964) apresenta um modelo alternativo focado muito mais na decisão do consumidor do que na força de atração exercida por centros comerciais. Surge a noção de que as “massas” não precisam ter necessariamente o tamanho das populações, mas outros atributos. Dessa maneira, Huff (1964) foca seu modelo no comportamento espacial de consumidores onde, no lugar de cidades (CONVERSE, 1949), são considerados bairros, lojas, *shopping centers*, indústrias, enfim uma série de tipos de espaços que desempenham atividades de ofertas de qualquer tipo e possuem relações de concorrência.

Segundo Huff (1964), o modelo mais adequado para descrever a interação entre consumidores e uma dada unidade comercial é definido por dois fatores: a probabilidade de uma pessoa escolher aquela unidade comercial e a quantidade de pessoas alocadas em cada unidade de espaço. A probabilidade de escolha é definida conforme a equação a seguir:

Equação 6 – Probabilidade de comportamento espacial do consumidor (Fonte: adaptado de Huff, 1964, p.36).

$$P_{ij} = \frac{\frac{S_j}{T_{ij}^\gamma}}{\sum_{i=1}^n \frac{S_j}{T_{ij}^\gamma}}$$

Onde P_{ij} é a probabilidade de um consumidor num dado ponto de origem i se deslocar até um centro de comércio j . S_j é o tamanho de um centro de compras (medido em metros quadrados ou área especificada em função de um tipo particular de bens e serviços prestados), T_{ij}^γ é o tempo gasto no deslocamento de i até j e, finalmente, γ equivale ao parâmetro que é estimado empiricamente para refletir o efeito do tempo em vários tipos de viagens de compra.

Assim, considerando que sabemos quantos consumidores estão alocados em i (C_i), e a probabilidade deles escolherem o centro comercial j (P_{ij}), então temos um número esperado de pessoas que irão consumir nesse centro comercial:

Equação 7 – Número esperado de consumidores (Fonte: adaptado de Huff, 1964, p. 36).

$$E_{ij} = P_{ij} \cdot C_i$$

Onde E_{ij} é a quantidade de consumidores esperados; P_{ij} é a probabilidade de consumidores localizados em i escolherem o centro comercial j e C_i é a quantidade de consumidores alocados em i . Ou seja, de acordo com o modelo proposto, o número de consumidores num dado local de origem i que compram numa particular área comercial j é igual ao número de consumidores que estão em i , multiplicado pela probabilidade que um consumidor em i (P_{ij}) tem de selecionar j como seu local de compras.

Nota-se que segundo Huff (1964), a escolha de um local de consumo está intimamente ligada a um valor relacionado ao tempo gasto com o deslocamento até o ponto de oferta de serviços. Esse valor refere-se ao parâmetro de ajuste γ que é uma significativa contribuição desse modelo, já que dependendo do tipo de atividade comercial, os consumidores estariam mais ou menos dispostos a gastar seu tempo em deslocamentos. Assim, quanto maior for o valor de γ , menor o tempo disponível, ou seja, supõe-se que o varejo de roupas, por exemplo, possua um valor de γ , maior do que o do varejo de móveis como eletrodomésticos.

Além dessa contribuição, o modelo de Huff (1964) também cobre uma lacuna deixada pelos modelos de William Reilly e Converse (1949): as chamadas zonas “inexplicáveis”. No seu modelo, David Huff analisa todos os pontos de demanda em função de suas distâncias aos centros de ofertas e de seus tamanhos, estando assim todos eles encapsulados em alguma área de serviços e/ou comércio. O resultado desse modelo é uma diferenciação espacial muito clara, em que se é possível verificar a probabilidade de cada ponto de origem i buscar cada um dos centros comerciais j , num sistema de gradiente, o que não era possível com os trabalhos de William Reilly (HUFF, 1964) e Converse (1949).

A definição matemática de área de influência do comércio oferecida por Huff (1964) é a seguinte:

Equação 8 – Área de influência, segundo Huff (1964) (Fonte: adaptado de Huff, 1964, p. 38).

$$T_j = \sum_{i=0}^n (P_{ij} \cdot C_i)$$

Onde: T_j é a área de influência de uma determinada empresa ou centro comercial j , isto é, o número esperado de pessoas em uma dada região que são mais prováveis de consumir bens específicos e serviços em j . P_{ij} é a probabilidade de um indivíduo residente em i comprar em j ; finalmente, C_i o número de residentes em i .

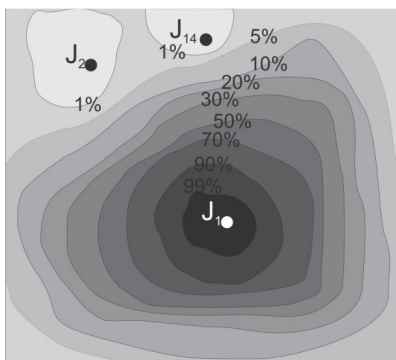


Figura 9 – Gradiente de cores do Modelo de Huff (HUFF, 1964). A imagem mostra a probabilidade de consumidores distribuídos no espaço consumirem em “J1” (Fonte: adaptado de Huff, 1964, p. 37).

Desde esses trabalhos, os modelos gravitacionais aplicados ao varejo evoluíram muito (BROWN, 1992). Fundamentados em críticas aos modelos gravitacionais clássicos autores incrementaram tremendamente os enunciados admitindo variáveis relacionadas a tempo de deslocamento, distância máxima a ser percorrida em função de um determinado bem, o fator da aglomeração de prestadores de serviços, entre outros aspectos que não eram considerados nesses modelos originalmente. Como dito anteriormente, não é a intenção dessa pesquisa avaliar o estado da arte desse campo, e sim fazer uma revisão conceitual dos aspectos mais relevantes desse tipo de abordagem, apresentando aqueles trabalhos tidos como clássicos da área. Assim, após essa breve revisão sobre teorias locacionais urbanas, tem-se um panorama geral de abordagens de análise espacial que podem ser empregadas em investigações acerca da maneira como é realizada a escolha locacional de agentes econômicos nas cidades. Porém, a partir do próximo tópico, serão apresentados conceitos teóricos relacionados, exclusivamente, à abordagem configuracional. Essa é uma abordagem alternativa para se levar a cabo tais estudos. Ela é focada, especialmente, no fator morfológico de nossas cidades e,

portanto, vale ressaltar que daqui por diante serão tratados somente aspectos vinculados à essa abordagem, pois a atual pesquisa baseia-se, metodologicamente, nela.

2.2.3 – Modelos Configuracionais Urbanos

A necessidade de melhor compreender a realidade urbana faz com que seja necessário, de alguma forma, torná-la experimentável. Para isso, procura-se representar a realidade de forma aceitavelmente simples, mas sem perder de vista aspectos que possam invalidar o caráter científico dos resultados gerados. Com essa finalidade, são utilizados modelos capazes de capturar e manipular aspectos relevantes da realidade de nossas cidades.

Nessa pesquisa, as análises espaciais da localização de atividades econômicas urbanas serão efetuadas utilizando modelos configuracionais. Modelos configuracionais urbanos podem ser considerados um tipo de representação matemática simplificada da realidade (ECHENIQUE, 1975). Através de rotinas matemáticas específicas, e considerando que todos os espaços são alcançáveis, cada modelo configuracional é capaz de diferenciar e hierarquizar elementos constituintes do espaço urbano em função de propriedades como distância (ou proximidade), posição relativa (intermediação), alcance, entre outros, que são relacionados a vários fenômenos associados à cidade. Esses modelos tentam descrever aspectos da realidade urbana, baseados em fundamentações conceituais e, nessa pesquisa, recorreremos a, basicamente, quatro enunciados teóricos. Esses enunciados afirmam que os espaços urbanos podem ser hierarquizados de acordo com certas propriedades, especificamente: acessibilidade (HANSEN, 1959; INGRAM, 1971), alcance (WATTS, 2004), excentricidade (VRAGOVIC et al.; 2005) e intermediação (FREEMAN, 1977). Portanto, esses enunciados estão por trás de importantes modelos configuracionais urbanos que serão utilizados no desenvolvimento dos experimentos.

Os modelos aplicados nessa pesquisa são baseados na idéia de centralidade (KRAFTA, 1994). Crucitti et al. (2006) afirmam que os modelos urbanos baseados em centralidade são capazes de revelar o “esqueleto” das cidades e, nessa pesquisa, essas estruturas serão identificadas numa amostra composta por três cidades.

Centralidade refere-se a hierarquias espaciais, distribuição desequilibrada de recursos no espaço e dinâmicas associadas a esse desequilíbrio. Assim, modelos urbanos que descrevem centralidades são cruciais para a compreensão da ordem estrutural de redes

urbanas, além de serem relevantes para vários fatores que afetam a vida das pessoas e seu comportamento nas cidades (CRUCITTI et al., 2006). Portanto, modelos que descrevem centralidades são importantes no entendimento dos fenômenos urbanos e sua aplicação é capaz de capturar nuances da estrutura espacial urbana¹². Dessa forma, os modelos configuracionais urbanos que serão utilizados nessa pesquisa são conhecidos como: centralidade por *Alcance (ou conectividade)*, que está associada à idéia de alcance; centralidade por *Excentricidade*, que está relacionada com a idéia de eficiência na distribuição de fluxos; centralidade por *Intermediação* e centralidade por *Intermediação Planar* que estão, teoricamente, associadas à característica espacial conhecida como posição relativa e; finalmente, centralidade por *Proximidade*, que se fundamenta, teoricamente, na propriedade espacial conhecida como acessibilidade (ou distância relativa). Essas propriedades espaciais são apresentadas a seguir.

2.2.3.1 – Acessibilidade

Acessibilidade é uma propriedade configuracional originada das relações de distância entre diferentes espaços. Aqui, distância não está associada somente a idéias de unidades geométricas (metros, quilômetros, milhas...), mas também a tempo de deslocamento, custos, topologia, entre outras.

A acessibilidade é uma das propriedades espaciais mais estudadas por geógrafos e planejadores urbanos. Ela serviu como o principal argumento para a formulação de modelos micro-econômicos como os propostos por Johann Heinrich Von Thunen e seu “modelo de anéis concêntricos” (BARRA, 1979) e a “teoria do lugar central” de Walter Christaller (NORTHAM, 1995)¹³. Como vimos anteriormente, William Alonso (baseado nas idéias de Von Thunen) coloca que o aspecto norteador do valor do solo urbano seria dado pelo valor de acessibilidade que cada ponto na cidade possui frente aos outros em função de suas distâncias médias: os espaços que possuem as distâncias médias mais curtas, ou seja, os mais acessíveis, teriam vantagens locais que, fatalmente, estariam associadas a maiores valores de renda da terra (BARRA, 1979). Assim, considerando-se que acessibilidade de um lugar é um dos valores mais caros à vida urbana ao hierarquizar espaços em função de sua facilidade de acesso a todos os

¹² Krafta (2014) argumenta que a estrutura espacial urbana não consiste no espaço em si, mas num sistema de relações sobre ele desenvolvido: “[estrutura espacial urbana] não é o espaço em si, mas um tipo de vínculo nele existente” (Krafta, 2014, p. 128).

¹³ As proposições teóricas desses autores afirmam que existe uma hierarquia espacial, tanto na escala intra-urbana quanto na escala regional, que é observada, diretamente, sobre aqueles espaços mais acessíveis, i.e., com menor distância média para todos os demais.

outros, os pioneiros a propor uma definição operacional para essa propriedade foram Hansen (1959) e Ingram (1971). Para Ingram (1971) a acessibilidade é uma propriedade do espaço que pode ser entendida de duas maneiras: de forma relativa e de forma global. A **acessibilidade relativa** está ligada à noção de distância existente entre um dado par de espaços, **apenas**, e pode ser entendida como o quão distantes eles estão um do outro. Já a **acessibilidade global** diz respeito à relação de distância entre um espaço e **todos** os outros existentes num dado sistema espacial (INGRAM, 1971). De acordo com Krafta (1994) a acessibilidade pode ser entendida como “topological distance from each space to all others in the same spatial system¹⁴” (Krafta, 1994, p.37) e dela é possível gerar um índice que demonstra os espaços mais e menos acessíveis da cidade.

Essa é uma propriedade espacial fundamental para a compreensão de fenômenos urbanos cotidianos e serviu como princípio para que Hillier et al. (1993) formulassem as bases da “teoria do movimento natural” difundida por pesquisadores da *space syntax* (HILLIER; HANSON, 1984). Essa teoria afirma que a maior quantidade de movimento de pedestres nas ruas é um fenômeno diretamente relacionado aos espaços com menores distâncias médias para todos os outros, ou seja, os mais acessíveis (HILLIER et al., 1993). Mais do que isso, essa mesma teoria afirma que a atividade comercial nas cidades parece perseguir, de alguma forma, essa propriedade do espaço. Outra associação com essa propriedade aponta para maior sensação de segurança em ruas mais acessíveis (NETTO; JELVEZ, 2009).

2.2.3.2 – Alcance

Como o próprio nome sugere, a propriedade espacial alcance está associada à quantidade de espaços que são diretamente alcançáveis a partir de um ponto no sistema espacial. É uma das características fundamentais do espaço e independe da orientação (i.e., se dois espaços são adjacentes, eles são alcançáveis tanto de “A” para “B”, quanto de “B” para “A”) e da distância (em última instância, todos os espaços urbanos são, de alguma forma, alcançáveis (NYSTUEN, 1968)). Essa propriedade é refletida, num primeiro momento, através da quantidade de adjacências que um espaço possui e, posteriormente, essa quantidade de espaços alcançáveis tende a ser incrementada de acordo com o aumento da distância a ele considerada. Um exemplo capaz de ilustrar o fenômeno da alcançabilidade é observado se considerarmos que uma determinada

¹⁴ “Distância topológica de cada espaço para todos os outros do mesmo sistema espacial” (Krafta, 1994, p.34, tradução nossa).

esquina, formada pelo encontro perpendicular de quatro trechos de ruas, é capaz de alcançar outras quatro esquinas, localizadas a um passo topológico de distância dela (considerando cada trecho de rua com valor igual a um passo topológico). Se a quantidade de passos topológicos é aumentada, logo, o alcance dessa esquina a outras aumentará, conforme a configuração do espaço considerado.

Essa propriedade espacial pode ser mensurada de acordo com o grau de alcance que cada espaço possui para **todos** os outros espaços de um sistema espacial ou **somente** para os que estão dentro de uma área pré-estabelecida (como o passo topológico do exemplo anterior). No primeiro caso, diz-se que o alcance é **global** e, no segundo, que o alcance é **local**.

O enunciado teórico está diretamente relacionado com o experimento de Stanley Milgram, que deu origem à “teoria dos seis graus de separação” (WATTS, 2004). O experimento consistia, basicamente, no envio de cartas feito para uma série de pessoas, escolhidas de forma aleatória nos EUA. Essas pessoas, definidas aleatoriamente, recebiam uma carta que identificava uma outra pessoa (ou o alvo). Essa carta devia então ser enviada diretamente para essa pessoa (admitindo que elas fossem conhecidas) ou ser repassada a uma outra pessoa que potencialmente conhecesse a pessoa alvo, a fim de que ela intermediasse essa relação. No fim do experimento, a pessoa alvo deveria enviar a carta para os responsáveis pelo estudo, alertando que foi alcançada¹⁵. A grosso modo, as conclusões do experimento apontaram que bastariam, no máximo, seis passos topológicos para que qualquer pessoa nos EUA fosse socialmente alcançada (alcançabilidade máxima).

2.2.3.3 – Eficiência

Um dos modelos configuracionais urbanos utilizados nessa pesquisa recorre ao conceito de excentricidade para ser elaborado. A propriedade espacial da excentricidade está associada à maior ou menor eficiência na comunicação entre espaços (SEVTSUK; MEKKONEN, 2012). Aqui, o termo eficiência relaciona-se com a idéia de que uma rede que possui maior eficácia na distribuição de fluxos, ou informação, apresenta maior proximidade entre seus elementos e menor quantidade de mudanças de direção nas conexões entre eles. Numa abordagem muito distinta dos estudos configuracionais

¹⁵ Para mais, consulte “The Oracle of Bacon” no Google.

urbanos, VRAGOVIC et al. (2005) comparam diferentes tipos de redes a fim de avaliar qual delas é mais eficiente no transporte de informação.

A cidade é formada por um conjunto de barreiras e permeabilidades que definem a distância entre um par de espaços. Existem deslocamentos urbanos que podem ser realizados de forma direta, ou seja, sem a necessidade de contornar nenhuma barreira. Porém, existem outros que necessitam de várias mudanças de direção, seja por restrições impostas por leis de trânsito ou porque existem obstáculos intransponíveis como um muro, um acidente geográfico, um rio, etc. E essas mudanças de direção significam maiores deslocamentos. Assim, chega-se à conclusão de que quanto maior a quantidade de mudanças de direção, menor será a eficiência dos mais diversos fluxos urbanos.

Compreender como relações entre elementos de uma rede se desenrolam é fundamental para planejamento urbano. Conhecendo-se onde se encontram os pontos mais ineficientes do sistema urbano, o planejador pode dirigir sua atenção a fim de obter uma solução mais rápida para um problema específico. Nesse cenário, exemplos da ineficiência de redes urbanas são sentidos quando observamos as perdas na transmissão de energia da rede elétrica em função de distâncias muito grandes, nos problemas de vazão oriundos das mudanças de direção que eventualmente ocorrem nas galerias de águas e esgotos (cotovelos), atrasos ocorridos por causa de rotas demasiadamente excêntricas na rede de transportes rodoviários, entre outros.

A idéia que fundamenta o enunciado da eficiência aqui proposto afirma que entre dois espaços urbanos quaisquer, não adjacentes, existam ao menos, duas distâncias: uma é dada em linha reta, obtida em função da conexão direta entre estes espaços, nem sempre possível de ser percorrida. A outra é calculada em função das barreiras impostas pela configuração da rede de ruas da cidade. Assim, quando a relação entre as distâncias em linha reta e com restrições da rede é próxima a 1, a eficiência de comunicação entre os pares é maximizada. No entanto, quando essa relação se aproxima de zero, a eficiência é minimizada. Portanto, é possível mensurar o impacto que mudanças de direção na rede causam sobre a eficiência da comunicação no sistema urbano.

Como o alcance e a acessibilidade, a eficiência pode ser mensurada em aspectos locais ou globais. A **eficiência local** é definida em relação a um par de espaços, **apenas**, e a relação entre distâncias possíveis entre eles. Já a **eficiência global** expande as relações

de distância em linha reta e em função das restrições impostas pela rede de um lugar na cidade para **todos** os outros.

Geralmente, essa propriedade espacial está relacionada a um efeito observado no dia-a-dia de nossas cidades: o efeito da percepção espacial. Cognitivamente, usuários da cidade lançam mão da idéia de eficiência para descrever o quão fácil é alcançar um lugar. Admita que, eventualmente, exista um lugar distante do centro, na periferia, que desperta o interesse de um visitante. Ao questionar moradores no centro da cidade sobre o *quão fácil* é chegar ao local (apesar da distância) o forasteiro pode receber poucas, mas suficientes informações para chegar aquele local. Isso aconteceria porque a quantidade de mudanças de direção entre o centro da cidade e o lugar da periferia deve ser pequena, e a distância entre esses lugares em linha reta e em função das barreiras impostas pela configuração das ruas da cidade se aproxima de 1. Ou seja, parece que quanto maior a eficiência, maior a facilidade, desde o ponto de vista cognitivo, de um dado lugar no espaço ser alcançado (SEVTSUK; MEKONNEN, 2012).

2.2.3.4 – Posição Relativa

A posição relativa é uma propriedade que hierarquiza o espaço de acordo com a quantidade de vezes que um determinado espaço aparece no caminho mais curto, ligando todos os outros pares de espaços que com ele compõem um sistema espacial (KRAFTA, 1994). Foi, originalmente, apresentada em estudos de sociologia estrutural e, aparentemente, introduzida por Alex Bavelas, em 1948. Tornou-se seminal e foi estendida a outras áreas do conhecimento após Freeman (1977), que argumenta que o nível de interação social de um indivíduo está relacionado com a quantidade de pessoas que ele pode conectar. Assim, se uma pessoa “A” é amiga tanto da pessoa “B” quanto da pessoa “C”, mas “B” e “C” não se conhecem nem possuem nenhum outro conhecido em comum além de “A”, logo é imprescindível que a pessoa “A” intermedie uma apresentação para que “B” e “C” se conheçam. Portanto, “A” possui um valor de centralidade para essa relação. Formalmente, a propriedade espacial de intermediação é baseada¹⁶ na “[...] frequency with which a point falls between pairs of other points on the shortest or geodesic paths connecting them” (Freeman, 1979, p. 221).

¹⁶ “[...] frequência com que um ponto aparece entre pares formados por outros pontos no menor caminho conectando-os” (Freeman, 1979, p. 221, tradução nossa).

Esse enunciado, aplicado aos estudos configuracionais urbanos, é capaz de evidenciar pontos estruturais do espaço, quando se pretende ter controle, cortar ou amplificar fluxos e informação. A posição relativa é a responsável pela identificação de quais são os locais que mais entremeiam relações espaciais e torna-se importante ao ser útil para, por exemplo, estudos de localização ideal para grandes equipamentos de infraestrutura de transportes, como aeroportos, rodoviárias ou terminais multimodais. Em planejamento estratégico é útil, ao sugerir qual trecho de rodovia é mais adequado para a instalação de um pedágio, por exemplo. Se for aplicada ao espaço intra-urbano, essa propriedade nos permite explorar fenômenos como o maior potencial de concentração de fluxos e, se admitirmos que espaços que tendem a ser utilizados com maior frequência são mais adequados às práticas comerciais, concluir quais são as áreas da cidade que possuem maior probabilidade de concentrar serviços e comércio. Além disso, Krafta (1994) apresenta uma hipótese na qual afirma que a propriedade de um espaço intermediar relações estaria diretamente associada a um maior potencial de desenvolvimento¹⁷.

Similarmente às outras propriedades espaciais anteriormente apresentadas, posição relativa ou intermediação pode ser dada em função de um raio de busca definido que **limita** os elementos espaciais considerados (**intermediação local**) ou expandida a **todos** os elementos do espaço (**intermediação global**).

Alguns pesquisadores urbanos, alterando de alguma maneira e propondo pequenas variações no enunciado original, recorreram a essa proposição teórica, sobre a qual apresentaram modelos capazes de descrever aspectos da realidade urbana. Entre eles podemos citar Krafta (1994) e Sevtsuk e Mekonnen (2012), ambos introduzindo um sentido de “peso” à idéia original. Esses “pesos” conseguem, de alguma forma, incluir a idéia de interação entre pessoas, atrito e dinâmica ao enunciado apresentado por Freeman (1977). No capítulo 4 (Metodologia), será definido, com maior precisão, o modelo apresentado por Krafta (1994) que baseia-se em posição relativa.

¹⁷ No original: “The general hypothesis adopted is that spaces holding high degrees of development, in terms of intensity of use made by the activity system and/or density of stocks, are also the ones with higher centrality scores” (Krafta, 1994, p. 71). “A hipótese geral adotada é que os espaços que possuem altos graus de desenvolvimento, em termos de intensidade de usos feitos pelo sistema de atividades e/ou densidade de construções, são também aqueles com altos valores de centralidade” (Krafta, 1994, p.71, tradução nossa). O autor lança mão dessa hipótese a fim de modificar o modelo de centralidade por intermediação originalmente proposto por Freeman (1977), como será apresentado no capítulo 4 – Metodologia).

2.3 – Abordagem Configuracional

A abordagem configuracional consiste numa metodologia que descreve e interpreta a cidade em função das relações existentes entre os diferentes espaços que a constitui, utilizando diversos modelos de centralidade para extrair, dessa rede formada por um emaranhado de relações espaciais, informações quantitativas capazes de sustentar a tomada de decisão. Para isso, recorre a certos artifícios: o primeiro deles é converter a cidade numa rede de espaços discretos relacionados. De acordo com a morfologia de cada cidade, obtém-se uma rede com configuração e propriedades espaciais particulares – rede espacial urbana. O segundo artifício é, com a utilização de ferramentas matemáticas oriundas do campo da análise combinatória conhecida como teoria dos grafos (HARARY, 1969; BLANCHARD; VOLCHENKOV, 2009), extrair medidas dessa rede. Freeman (1979) define um grafo como¹⁸:

A graph consists of a set of *points* and a set of lines or edges connecting pairs of points. A graph consisting of five points and five edges is shown in Figure 10. When two points are directly connected by an edge they are *adjacent*. The number of other points to which a given point is adjacent is called the *degree* of that point. In the illustration of Figure 10, point p, has a degree of 1 and point p2 has a degree of 3 (FREEMAN, 1979, p. 218).

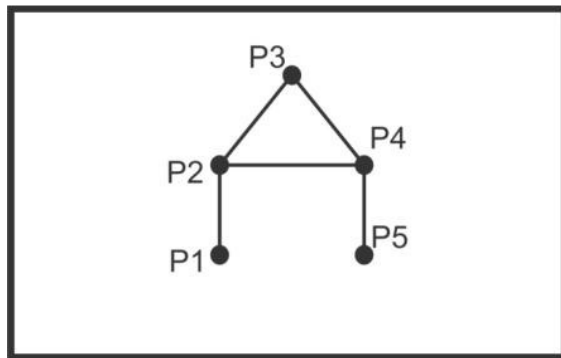


Figura 10 – Um grafo com cinco vértices e cinco arestas (Fonte: adaptado de Freeman, 1979, p. 218).

¹⁸ “Um grafo consiste em um conjunto de pontos e um conjunto de linhas ou arestas conectando os pares de pontos. Um grafo, formado por cinco pontos e cinco linhas é mostrado na figura 10 [...]. Quando dois pontos estão diretamente conectados por uma aresta eles são adjacentes. O número de conexões que um determinado ponto possui é chamado de grau. Na ilustração o ponto P1 possui grau 1 e o ponto P2 possui grau 3” (Freeman, 1979, p. 218, tradução nossa).

O terceiro e último artifício reside no fato de que dessa rede são extraídas medidas configuracionais capazes de reportar aspectos relevantes e significativos da cidade real, indo assim muito além da mera aplicação da teoria dos grafos. Ou seja, as medidas configuracionais conseguem correlacionar os resultados obtidos pela aplicação de uma ferramenta meramente matemática, com nossa realidade urbana. Dessas medidas configuracionais são extraídos indicadores que são então interpretados e, através de seus resultados, é possível chegar a sistemas de suporte a decisão (FINLAY, 1994; VRIENS; HENDRIKS, 1997) capazes de explicar a ocorrência de fenômenos espaciais associados à cidade, como violência (NETTO; JELVEZ, 2009), fluxos metropolitanos (KRAFTA, 2009), movimento de pedestres (HILLIER et al., 1993), usos do solo (KRAFTA, 1994), residências com maior privilégio locacional frente a ofertas de serviços (KRAFTA, 1996), entre outros. Assim, diz-se que a abordagem configuracional é capaz de avaliar aspectos urbanos levando-se em consideração, apenas, particularidades da morfologia e de características espaciais da cidade, como por exemplo o desenho das ruas e a distribuição de atividades (GONÇALVES, 2011).

2.3.1 – Redes Espaciais Urbanas

Na busca por métodos de confirmação de evidências empíricas, cientistas como Andres Sevtsuk, Bill Hillier, Michael Batty, Romulo Krafta e Sergio Porta, entre outros, têm utilizado, com alguma frequência, redes e a teoria dos grafos como um meio para auxiliar a compreensão e a elucidação de problemas vinculados ao fenômeno urbano. A utilização de redes para descrever e compreender o espaço é uma prática frequente na geografia quantitativa (HAGGETT; CHORLEY, 1969; CORRÊA, 2003), tornando-se um instrumento poderoso para a demonstração e validação de hipóteses em experimentos, em quaisquer escalas espaciais. Assim, pode-se admitir que o entendimento do espaço na forma de uma rede representa uma possibilidade metodológica dedutiva (KRAFTA, 2014), destoando do *mainstream* dos estudos urbanos que, em decorrência de sua relação com as ciências sociais aplicadas, tem tradição na utilização de métodos indutivos que costumam se apoiar, majoritariamente, no discurso, muitas vezes carregado ideologicamente e distante da imparcialidade acadêmico/científica (BUNGE, 1999).

Por volta dos anos 1970, cientistas desenvolveram trabalhos que apontavam na direção da aplicação da ciência de redes sobre variáveis espaciais eminentemente urbanas (ECHENIQUE, 1975). Desde essa época, autores têm dedicado atenção especial não só

a maneiras de representar a cidade como uma rede (KRÜGER, 1979; HILLIER; HANSON, 1984; BATTY, 2004), mas também a associar, diretamente, propriedades de redes, por meio da teoria dos grafos (HARARY, 1969; BLANCHARD; VOLCHENKOV, 2009), à ocorrência de fenômenos urbanos, como valor do solo, movimento de pedestres e desempenho espacial (HILLIER; HANSON 1984, HILLIER et al., 1993, KRAFTA, 1996).

Redes são empregadas, atualmente, nos mais diversos campos do conhecimento. Segundo Strogatz (2001), as redes são utilizadas para estudar

The topology of food webs, electrical power grids, cellular and metabolic networks, the World-Wide Web, the Internet backbone, the neural network of the nematode worm *Caenorhabditis elegans*, telephone call graphs, coauthorship and citation networks of scientists...(STROGATZ, 2001, p. 268)¹⁹.

Portanto, como o termo “rede” está presente nos mais diversos campos do conhecimento, atualmente, percebe-se que existem diversas definições do que ele venha a ser (associadas à campos do conhecimento específicos). **Porém, nessa pesquisa, a noção de redes está associada à uma estrutura espacial formada por um conjunto articulado de espaços urbanos (tais como ruas e esquinas) e as relações de adjacência existentes entre eles** (WASSERMAN; FAUST, 1994), de forma tal que a cidade pode ser convertida num grafo urbano, i.e., nessa pesquisa o termo “rede” está extremamente vinculado à noção de grafo urbano. Segundo Krafta (1994) um grafo urbano²⁰ é:

a synthetic representation of urban space in which elementary portions of space are represented by dots, and the permeability or connectivity between them are represented by

¹⁹ “A topologia de cadeias alimentares, redes de transmissão elétrica, redes celulares e metabólicas, a internet, os servidores de internet, a rede neural do verme nematódeo *Caenorhabditis elegans*, chamadas telefônicas, co-autoria e citações em redes de cientistas” (STROGATZ, 2001, p. 268, tradução nossa).

²⁰ “uma representação sintética do espaço urbano na qual porções elementares são representadas por nós e a permeabilidade ou conectividade entre eles são representadas por linhas. Dessa forma, grafos urbanos representam elementos do espaço público aberto tanto quanto o espaço construído, e suas relações básicas de adjacência” (KRAFTA, 1994, p. 68, tradução nossa).

lines. In this way, urban graphs represent the elements of public open space, as well as built space, and their basic relationship of adjacency (KRAFTA, 1994, p. 68).

Existem conceitos associados à redes espaciais urbanas que são fundamentais para a compreensão de aspectos relacionados à abordagem configuracional. Em primeiro lugar, é necessário admitir que redes espaciais urbanas são formadas por **vértices e arestas**, em que os vértices (nós) representam unidades espaciais (ou células) e as arestas, as relações entre eles (BLANCHARD; VOLCHENKOV, 2009). A segunda noção fundamental é a de que redes espaciais urbanas representam um conjunto de espaços que possuem relações de **adjacência e justaposição**, definidoras das conexões na rede equivalente. Assim, se dois espaços possuem relações de adjacência entre si, eles estão conectados. De forma contrária, eles são justapostos e, portanto, não conectados (KRAFTA, 1994). Outra noção importante é que redes espaciais urbanas possuem critérios diversificados para representar o espaço, i.e., levam em consideração aspectos diferentes para a definição do que são os vértices e o que são as conexões na rede espacial urbana (KRUGER, 1979). Portanto, o procedimento de transformação da cidade numa rede implica a utilização de critérios estabelecidos conforme a necessidade do analista. Alguns desses critérios serão apresentados no capítulo 4 – Metodologia, quando serão abordadas maneiras de se montar representações espaciais e seus grafos equivalentes. A última consideração diz respeito ao **caminho mínimo** (ou caminho mais curto). Essa expressão refere-se ao menor percurso possível conectando um par de espaços não adjacentes dentro de uma rede espacial, isto é: caminho mínimo é o menor trajeto, formado apenas por elementos adjacentes dentro de uma rede, ligando dois pontos não conectados diretamente. O tamanho de um caminho mínimo é dado em função da quantidade de arestas nele incluídas. Assim, “aquele que tiver menor extensão é denominado menor caminho e sua extensão é a distância entre as duas células” (Krafta, 2014, p. 167).

3 – Marco Teórico

O marco teórico dessa pesquisa é refletido na afirmação de Porta et al. (2011):

Basically, the relationship between land uses and mobility is conceptualised in the regional

space with emphasis on the role of centres or magnets, classically interpreted with the gravity models and its derivatives. However, when it comes to the neighbourhood scale, the local configuration of the street network also appears to be relevant²¹ (PORTA et al., 2011, p. 2).

Assim, como visto no capítulo 2 – referencial teórico, existiriam algumas matrizes acadêmicas que se dedicam a estudar a localização de atividades econômicas urbanas, das quais destacam-se, principalmente, duas. A primeira baseia-se em aspectos referentes à morfologia da cidade (estudos configuracionais). A segunda está fundamentada em atribuições funcionais dos diferentes espaços que compõem a cidade, refletindo assim, características complementares entre eles (estudos gravitacionais). Essa pesquisa segue a primeira dessas matrizes, partindo da idéia de que a ocorrência de atividades econômicas urbanas pode ser espacialmente analisada e explicada como um fenômeno de ordem eminentemente configuracional, estritamente vinculado com à morfologia da cidade e, conseqüentemente, à sua rede de ruas equivalente, diferente das abordagens tradicionais aplicadas ao estudo de localização comercial como os modelos gravitacionais urbanos clássicos. Esses modelos, rotineiramente, baseiam-se em princípios que atribuem funções específicas a determinados espaços da cidade, aparentemente desconsiderando sua morfologia. Neles, os espaços com funções complementares interagem e, dessas interações, são extraídas informações que indicam quais são os locais que apresentam maior tendência à concentração de atividades econômicas. Portanto, essa pesquisa se apoia, majoritariamente, na aplicação de métodos de análise configuracional como recurso analítico capaz de apontar padrões que sugerem a maneira como agentes econômicos tomam suas decisões locais, rompendo assim com a tradição amplamente difundida na academia que aponta na direção da utilização de modelos gravitacionais para a elucidação desse tipo de questão. Parece que a utilização de métodos configuracionais como recurso de análise espacial urbana aplicada ao estudo da localização de atividades econômicas é ainda incipiente, resumida a poucas pesquisas (MARASCHIN, 2009; PORTA et al., 2011), sendo possível verificar que a teoria gravitacional clássica é tida como a principal maneira de

²¹ “Basicamente, a relação entre usos do solo e mobilidade é conceituada no espaço regional com ênfase no papel de centros ou ímãs, classicamente interpretados com modelos gravitacionais e suas derivações. Contudo, quando essa relação chega ao nível da escala de vizinhança, a configuração da rede de ruas local também parece ser relevante” (PORTA et al., 2011, p. 2, tradução nossa).

se analisar, espacialmente, como as localizações de tais atividades tendem a ocorrer na cidade.

A pesquisa apresenta uma metodologia alternativa à utilização de modelos gravitacionais clássicos para o estudo da ocorrência de atividades econômicas em cidades, ao propor o emprego da abordagem configuracional como ferramenta de análise espacial desse tipo de fenômeno. Essa opção é apresentada pois modelos configuracionais urbanos, além de necessitar apenas do desenho das ruas da cidade para alcançar (com alguma similaridade) os mesmos resultados que modelos gravitacionais obteriam, extraem da morfologia da cidade características que podem ser definidoras da dinâmica comercial urbana, o que vai muito além da análise das relações exercidas entre espaços com funções complementares, que estão no cerne dos estudos oriundos de abordagens mais funcionais, como os modelos gravitacionais clássicos. Portanto, ao admitirmos que a abordagem configuracional consegue hierarquizar espaços urbanos apenas em função da configuração de sua rede de ruas correspondente, a metodologia configuracional necessitaria, basicamente, do desenho de uma cidade para obter uma hierarquia que seria capaz de descrever quais espaços são mais ou menos suscetíveis a concentrar fluxos, quais espaços possuem os maiores ou menores valores do solo, quais espaços são mais ou menos fáceis de serem alcançados, entre outros aspectos que parecem estar, de alguma forma, relacionados com o comportamento espacial do consumidor e à tomada de decisão locacional dos agentes econômicos que atuam na cidade.

É importante ressaltar que em momento algum pretende-se desqualificar a utilização de modelos gravitacionais clássicos em estudos de localização de atividades econômicas urbanas. Em última instância, a aplicação de modelos configuracionais urbanos e de modelos gravitacionais são duas maneiras distintas de se abordar a mesma questão: como são realizadas as escolhas locacionais de atividades econômicas numa cidade. Busca-se aqui, simplesmente, apresentar modelos configuracionais urbanos como uma maneira alternativa e viável para a realização de tais estudos.

4 – Metodologia

A metodologia proposta consiste, basicamente, no desenvolvimento e análise de redes espaciais urbanas e consequente busca por correlações estatísticas que confirmem a

hipótese sobre a existência de modelos de centralidade que estariam melhor associados à localização de atividades econômicas em três cidades brasileiras. Essas análises são realizadas utilizando um conjunto de modelos configuracionais urbanos conhecidos como **Centralidade por Alcance** (WATTS, 2004; SEVTSUK; MEKKONEN, 2012), **Centralidade por Excentricidade** (CRUCITTI et al., 2006; PORTA et al., 2006a; PORTA et al., 2006b; SEVTSUK; MEKKONEN, 2012), **Centralidade por Intermediação** (FREEMAN, 1977; KRAFTA, 1994; CRUCITTI et al., 2006; PORTA et al., 2006a; PORTA et al., 2006b), **Centralidade por Intermediação Planar** (KRAFTA, 1994, 2014) e **Centralidade por Proximidade** (KRAFTA, 1994; CRUCITTI et al., 2006; PORTA et al., 2006a; PORTA et al., 2006b). Recorrendo ao **coeficiente de correlação Pearson (r)**, os resultados da aplicação desses modelos são comparados com a distribuição de atividades econômicas nas cidades analisadas. Então, os valores são avaliados a fim de descobrir possíveis vínculos entre essas centralidades e a ocorrência de atividades econômicas urbanas.

Esse capítulo está estruturado de forma a apresentar, inicialmente, maneiras de se representar o espaço urbano na forma de uma rede. Nesse tópico, os tipos de representação espacial adotados na pesquisa e seus grafos equivalentes serão explicados minuciosamente. Além disso, são feitas considerações acerca de potencialidades e fragilidades, vantagens e desvantagens, implicações e limitações técnicas do conjunto de representações espaciais propostos: **representação axial** (HILLIER; HANSON, 1984), **representação nodal** (KRUGER, 1979; BATTY, 2004; KRAFTA, 2009, KRAFTA, 2014) e **representação por trechos de rua** (KRUGER, 1979; KRAFTA, 2014).

O segundo passo metodológico da pesquisa consiste em apresentar a maneira como as atividades econômicas urbanas das cidades analisadas foram obtidas e como cada uma delas é atribuída às entidades oriundas das representações espaciais.

No tópico posterior é apresentado o funcionamento de cada modelo configuracional proposto. Serão apresentadas a operacionalização dos modelos de centralidade por *Alcance*, centralidade por *Excentricidade*, centralidade por *Intermediação* e sua variação – centralidade por *Intermediação Planar* – e, finalmente, centralidade por *Proximidade*.

O capítulo é concluído com a apresentação do quarto e último passo metodológico da pesquisa. Basicamente, nesse tópico, é apresentado o método utilizado para a comparação dos resultados gerados pelos modelos de centralidade aplicados sobre as representações espaciais e a ocorrência de atividades econômicas: o coeficiente de correlação Pearson (r). Os passos desse percurso metodológico são condensados, na última parte do capítulo, na forma de um fluxograma que descreve a metodologia da pesquisa.

4.1 – Representações Espaciais

O primeiro passo metodológico dessa pesquisa consiste em converter o sistema de ruas das cidades amostradas em representações espaciais do tipo axial, nodal e de trechos. Basicamente, cada uma dessas representações equivale a um tipo de rede, sobre as quais são aplicadas as rotinas matemáticas apresentadas no terceiro passo metodológico (modelos de centralidade).

As regras que definem a configuração das redes espaciais urbanas recorrem a relações existentes entre espaços que constituem a cidade. Segundo Nystuen (1968), o espaço possui três propriedades fundamentais: orientação, distância e conectividade. Dessas, a conectividade tem papel fundamental como a propriedade definidora das relações de adjacência e justaposição que configurarão as redes espaciais urbanas a serem analisadas. Assim, como foi dito na seção 2.3.1 – Redes Espaciais Urbanas, se dois espaços possuem relações diretas de adjacência entre si (como duas salas contíguas ligadas por uma porta, por exemplo), eles estão conectados. Por outro lado, dois espaços são justapostos quando eles são contíguos mas não existe uma conexão direta entre eles (como duas salas separadas pela mesma parede e que não possuem uma porta as ligando) (KRAFTA, 1994).

Existem maneiras diversas de se representar a cidade como uma rede. E cada tipo de representação espacial gera uma rede com configuração diferente. Essas diferenças podem ser observadas na forma de um grafo equivalente.

Estudos tem demonstrado que diferentes tipos de representações espaciais, desenvolvidos a partir do desenho de uma mesma cidade, podem apresentar demasiada variação nos resultados obtidos pela aplicação do mesmo modelo de centralidade, em função das diferenças entre cada grafo equivalente (BATTY, 2004; PORTA et al., 2006a; PORTA et al., 2006b; KRUGER, 1979; KRUGER, 1990). Como essa pesquisa

pretende comparar maneiras distintas de se representar o espaço urbano na forma de uma rede e, na sequência, avaliar um conjunto de medidas de diferenciação espacial que melhor se associa ao fenômeno da distribuição de atividades econômicas no espaço urbano, optou-se pela utilização de três modos de representação espacial que descrevem o espaço urbano da forma mais desagregada possível. Portanto, nessa pesquisa, os experimentos serão desenvolvidos sobre três representações espaciais: o mapa axial, o mapa nodal e o mapa de trechos de rua. Assim, as unidades espaciais adotadas foram linhas axiais, nós e trechos de rua.

Porém, antes de prosseguir com a explicação metodológica dessa pesquisa, vale destacar novamente a noção de **caminho mínimo**. Todo o processamento das medidas de centralidade que serão aplicadas sobre essas representações dependem, fortemente, dos caminhos mínimos. O caminho mínimo nada mais é do que o menor percurso entre um par de nós numa rede. Existem algumas maneiras de se calcular caminhos mínimos em redes espaciais urbanas, considerando, por exemplo, o tempo de deslocamento, o custo, o conforto, etc. Porém, nessa pesquisa admitiremos, apenas, duas: a primeira delas admite que, entre dois vértices (não diretamente conectados), a distância entre eles é igual à soma das extensões euclidianas das arestas que formam o percurso mais curto, conectando-os (se os vértices são diretamente conectados, então a distância entre eles é a extensão da aresta que os conecta). Assim, leva-se em consideração o efeito da geometria da rede sobre o processamento da distância, e esse processamento é chamado de **geométrico**. Porém, como é muito comum em análises de redes sociais, pode-se admitir uma outra maneira de se processar as distâncias entre pares de vértices. Essa maneira admite que as arestas possuem o mesmo valor dimensional, independente de suas extensões geométricas. Ou seja, a distância entre vértices na rede não é dada pelo somatório de extensão das arestas, mas somente pela quantidade de arestas entre cada par de vértices, eliminando a influência de qualquer distância geométrica. Esse tipo de processamento de distância é chamado de **topológico**.

Finalmente, é importante ressaltar o que Krafta (2014) coloca a respeito da escala de observação e referencial utilizado para a confecção de representações espaciais. O autor afirma que podem ocorrer descrições espaciais, do mesmo tecido urbano, descontraídas, dependendo da escala e referencial adotados ao se proceder à montagem da representação espacial (imagens de satélite, mapas, esquemas, entre outros). Portanto, nessa pesquisa, as representações espaciais e suas respectivas redes

espaciais urbanas foram elaborada a partir de mapas disponibilizados pela plataforma World Street Maps²² – ESRI/ArcGIS em escala 1: 5.000, por meio de vetorização manual.

4.1.1 – Mapa Axial

Muito difundido pela *space syntax* “an axial map of the open space structure of the settlement will be least set of such straight lines which passes through each convex space and makes all axial links” (Hillier; Hanson, 1984, p. 92)²³. Axialidade é um conceito associado a mudanças de direção e é o princípio que fundamenta uma representação axial. Basicamente, a definição de linha axial parece estar vinculada à menor quantidade de mudanças de direção realizadas em deslocamentos urbanos e à maior extensão percorrida possível. De acordo com Hillier; Hanson (1984, apud CARVALHO; BATTY, 2003, p.3²⁴) “axial lines defined [...] as lines of uninterrupted movement within urban streetscapes or buildings”. Isto é, os autores assumem que uma linha axial nada mais é do que a maior distância em linha reta que se pode percorrer, dentro do espaço urbano. Na mesma direção, Krafta (2014) corrobora esse conceito, definindo linha e mapa axial:

[linha axial] é a porção de espaço compreendida pela máxima extensão retílinea de seu eixo. Amparado por esse critério, o sistema de espaços públicos de uma cidade pode ser descrito pela menor quantidade possível de linhas necessárias para percorrer a totalidade das suas vias públicas. Isso significa que uma via cujo eixo seja retílineo será uma célula, enquanto vias cujo eixo seja curvilíneo serão descritas por tantas linhas retas quantas sejam necessárias para percorrer toda sua extensão (KRAFTA, 2014, p. 141).

²² Recurso disponível no programa de geoprocessamento ArcGIS 10.2.

²³ “um mapa axial é definido pelo menor conjunto de linhas retas que se conectam umas as outras e passam por cada espaço convexo da estrutura do espaço aberto de um assentamento.” (Hillier; Hanson, 1984, tradução nossa).

²⁴ “linhas axiais” são definidas como linhas de movimento ininterruptos em paisagens urbanas ou edifícios” (Carvalho; Batty, 2003, tradução nossa).

Na figura 11, que apresenta uma porção da Ilha de Manhattan, a imagem “A” exibe uma foto de satélite sobre a qual uma representação axial foi elaborada. Na mesma figura, na imagem “B”, observamos a representação axial referente àquele fragmento de cidade. Cada entidade espacial (linha axial) está identificada por um número. Na direita, a imagem “C” exibe o grafo equivalente da representação espacial axial (cada vértice equivale ao centróide das linhas axiais). Note que a distância entre os nós do grafo equivalente e a distância entre as linhas axiais estão visivelmente deformadas nesse tipo de representação. Também, percebe-se que este fragmento urbano foi representado com 13 entidades espaciais.

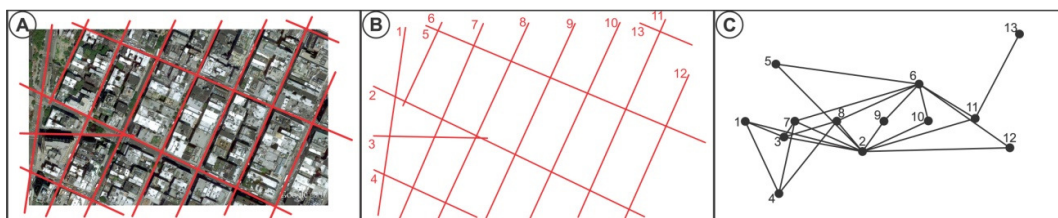


Figura 11 – Uma representação espacial axial e seu grafo equivalente (Fonte: elaboração própria).

Krafta (2014) argumenta que, entre os principais méritos da representação espacial por linhas axiais, destacam-se a fácil leitura morfológica da cidade (pela identificação rápida das linhas mais extensas e, em contrapartida, dos principais gargalos como discontinuidades na forma urbana, áreas impermeáveis, etc), e a imediata apreensão da granulosidade de diferentes tecidos urbanos. Por outro lado, devido à sua variação dimensional, linhas axiais podem distorcer, fortemente, as relações de distância numa análise espacial (é importante notar que o cálculo de distâncias internas na rede leva em consideração as dimensões do grafo equivalente (imagem “C”) e não da representação espacial (imagem “B”). No exemplo da figura acima, fica evidente que uma única linha axial pode ser suficiente para representar uma rua muito extensa, que seja composta por uma grande quantidade de quadras, por exemplo a linha axial dois, da imagem “B” na figura 11. Isso pode gerar a falsa idéia de que espaços localizados em extremidades de linhas axiais adjacentes, demasiadamente extensas, estejam próximos um do outro (ou seja, topologicamente, a apenas um passo de distância).

4.1.2 – Mapa Nodal

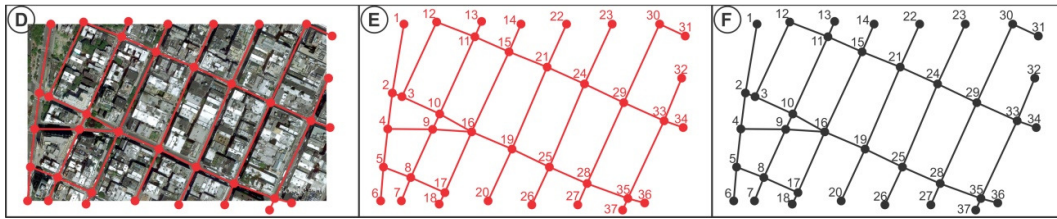


Figura 12 – Uma representação espacial nodal e seu grafo equivalente (Fonte: elaboração própria).

Diferente da representação axial, o mapa nodal baseia-se no princípio da conectividade entre os espaços (não pela axialidade). Essa representação considera que cada esquina ou intersecção viária é uma entidade espacial (ou um nó), e o segmento de reta entre eles uma conexão ou aresta (KRUGER, 1990). Dessa maneira, Krafta (2014) afirma que na representação espacial nodal, as unidades espaciais “coincidem com pontos notáveis do espaço público, justamente as esquinas, junções e extremidades de vias públicas” (Krafta, 2014, p. 146). No exemplo da figura 12, é apresentado o mesmo fragmento da Ilha de Manhattan da figura 11. Ele é representado na forma de uma rede espacial utilizando a técnica nodal (imagem “D”). Cada entidade espacial (nó) é representada por um número (imagem “E”). Note que o grafo equivalente, à direita (imagem “F”), é exatamente igual à representação espacial (imagem “E”) sem qualquer deformação de distância e/ou configuração da rede. Além disso, se comparado ao mapa axial da mesma área (figura 11), observa-se um significativo aumento na quantidade de entidades espaciais (37 nós), sugerindo uma representação de espaço mais desagregada. A representação nodal é frequentemente citada como uma representação que não apresenta distorções entre as distâncias oriundas da representação espacial (imagem “E”) e seu grafo equivalente (imagem “F”) tida, portanto, como uma representação espacial *primal*²⁵ (BATTY, 2004; PORTA et al., 2006b).

4.1.3 – Mapa de Trechos de Rua

A representação por trechos é mais uma representação que baseia-se na idéia da conectividade entre espaços (Krafta, 2014). Assim, cada entidade espacial é representada por uma linha definida pelo segmento de rua entre um par de esquinas

²⁵ Diz-se que uma representação espacial é *primal* quando as distâncias reveladas pela representação espacial e por seu grafo equivalente são iguais (verdadeiras). Quando a representação espacial possui um grafo equivalente com distâncias diferentes, diz-se que a representação é *dual*. Assim, representações espaciais nodais são do tipo *primal*. Já representações espaciais por linhas axiais e representações espaciais por trechos de rua são do tipo *dual*. Para mais, ver KRUGER (1979), BATTY (2004), PORTA et al. (2006a) e PORTA et al. (2006b).

adjacentes da cidade. Isso acaba gerando um mapa com maior grau de desagregação espacial se comparado com a representação axial e, inclusive, em relação à representação nodal.

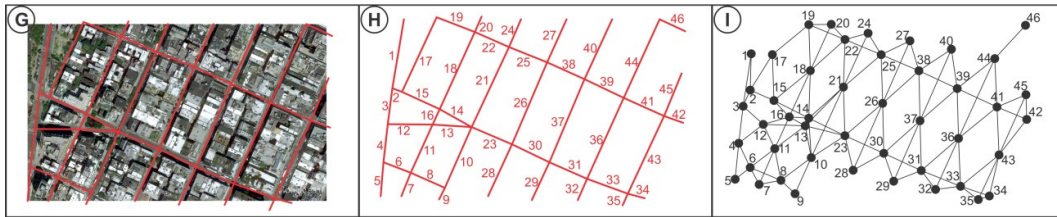


Figura 13 – Uma representação espacial por trechos de rua e seu grafo equivalente (Fonte: elaboração própria).

Esse conjunto de linhas forma uma representação espacial conhecida como um mapa de trechos. Na figura 13 é apresentado o mesmo fragmento urbano das figuras 11 e 12 e sua respectiva representação espacial por trechos de rua (imagem “G”). A imagem “H” mostra a representação espacial por trechos de rua, onde cada unidade espacial é definida pelo trecho de via entre cada par de esquinas ou intersecção viária. As entidades espaciais estão numeradas. O grafo equivalente, na imagem “I”, mostra uma configuração na qual as distâncias entre cada entidade espacial e a realidade do fragmento urbano estão parcialmente deformadas se comparadas com as distâncias oriundas de uma representação nodal (figura 12). Porém, a quantidade de elementos espaciais apresentados (46 unidades espaciais) é claramente maior do que a quantidade de elementos espaciais oriundos de uma representação axial (figura 11) e, substancialmente, maior do que a quantidade de elementos de uma representação nodal (figura 12). Essa quantidade de elementos torna a representação muito mais desagregada e suscetível a resultados mais sensíveis. Em contrapartida, o tempo de processamento dos cálculos das medidas de centralidade, sobre esse tipo de representação, aumenta consideravelmente. Essencialmente, um mapa de trechos equivale às conexões (arestas) observadas num mapa nodal. Porém, naquela representação, as entidades espaciais são as extremidades (os nós). Já num mapa de trechos, as entidades espaciais são definidas pela parte da rua intermediária entre um par de esquinas adjacentes. Ou seja, como Krafta (2014, p. 147) afirma, o mapa de trechos “apresenta um problema novo [...] que é a “desmaterialização” dos trechos de vias entre as intersecções” sendo, portanto uma representação espacial do tipo *dual* (BATTY, 2004; PORTA et al., 2006b).

Mapas de trechos de rua, assim como mapas nodais, possuem capacidade de descrição da rede em termos de percursos e fluxos semelhantes. Essas representações conseguem minimizar as discrepâncias entre a escala e a dimensão dos componentes (KRAFTA, 2014), de maneira muito diferente da representação axial.

Como vimos no capítulo 2 (referencial teórico), importantes publicações dos estudos configuracionais urbanos afirmam que modelos urbanos nada mais são do que simplificações quantitativas da realidade (ECHENIQUE, 1975). Apesar do avanço da computação nos últimos anos, ainda parece ser um exercício muito difícil modelar o comportamento urbano em todas as suas variáveis (BERTUGLIA et al., 1994). Por isso, em algum momento, se faz necessário tomar decisões que implicam simplificações e, representar a cidade na forma de uma rede, sem perder de vista aspectos importantes da realidade, é um grande desafio. Nessa pesquisa, fez-se a opção pela aplicação de apenas três representações espaciais, apesar da existência de uma gama de outras possíveis como, por exemplo, os mapas côncavo/convexos (HILLIER, HANSON, 1984; KRAFTA, 2014), as representações por unidades construídas (SEVTSUK, 2010) ou, chegando num nível extremo de pretensão, as representações que descrevem o espaço urbano no nível do pixel (KRAFTA, 2014). A escolha dos três tipos de representação espacial para a realização das comparações a serem processadas nessa pesquisa reside, exatamente, no fato de que o grau de desagregação gerado por elas é, relativamente, acurado. Além disso, essas representações otimizam o tempo da montagem da base de dados. Finalmente, a escolha se deve porque mapas axiais, mapas nodais e mapas de trechos parecem estar entre as mais populares maneiras de se representar o espaço como uma rede e aparecem, com frequência, em pesquisas que recorrem à abordagem configuracional. Assim, de acordo com as limitações técnicas de nossas ferramentas, abriu-se mão de capturar nuances da realidade urbana com uma representação da cidade extremamente desagregada (o mapa de pixels, por exemplo), porém o trabalho não está sujeito à utilização de uma representação menos sensível a particularidades urbanas, como as decorrentes da utilização, por exemplo, de uma representação espacial por polígonos côncavo/convexos (HILLIER; HANSON, 1984 ; KRAFTA, 2014), entre outras.

4.2 – Carregamento de Atividades Econômicas

O segundo passo metodológico dessa pesquisa implica em, depois de se converter o sistema de ruas da cidade em uma rede espacial, atribuir a cada uma das entidades

espaciais (linhas axiais, nós ou trechos de rua), uma determinada quantidade de atividades econômicas levantadas empiricamente em cada um dos estudos de caso. Novamente, aqui entende-se por **atividade econômica qualquer tipo de estabelecimento urbano, formal ou informal, que presta algum tipo de comércio ou serviço e que gera qualquer tipo de transação comercial**. O conjunto de dados compreende desde espaços de profissionais autônomos como manicures, cabeleireiros, cozinheiros; passando por estabelecimentos tradicionais como farmácias, padarias, lojas de vestuário; e de prestadores de serviços como oficinas mecânicas, consultórios médicos, escritórios de advocacia, engenharia, contabilidade, etc.; até grandes estabelecimentos como supermercados, agências bancárias e indústrias.

O levantamento das atividades econômicas que ocorrem nas cidades analisadas nos estudos de caso deu-se pela observação dos mais diversos estabelecimentos que prestam quaisquer tipos de serviços e comércios nas zonas urbanas dos municípios estudados, *in loco*, e pela utilização do programa Google Earth-Pro (modo Street View). Essa etapa implicou uma pesquisa de campo intensa, realizada sobre as ruas localizadas nas áreas urbanas dos municípios analisados. A cada atividade econômica atribuiu-se um ponto (em formato vetorial). Posteriormente, o conjunto de dados foi espacializado em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) (ArcGIS v 10.2 - ESRI, 2012).

A atribuição da quantidade de atividades econômicas sobre cada entidade espacial equivalente foi realizada levando-se em consideração, apenas a menor distância entre o par atividade econômica/entidade espacial. Esse procedimento foi realizado utilizando-se técnicas de geoprocessamento que calculam a distância de cada feição vetorial das localizações de atividades econômicas (pontos) para as unidades espaciais (linhas axiais, nós ou trechos). As figuras 14, 15 e 16 (abaixo) exemplificam a maneira como os carregamentos de atividades econômicas foram atribuídos às representações espaciais.

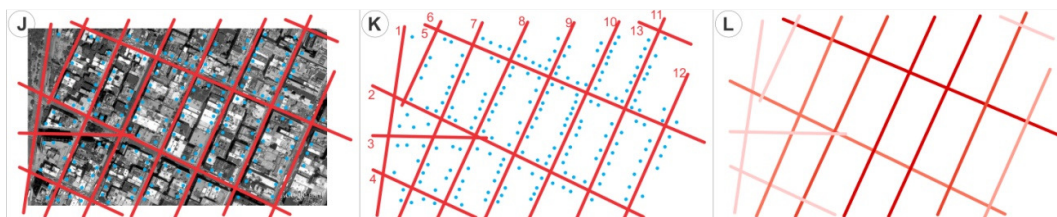


Figura 14 – Carregamento de uma representação espacial axial com atividades econômicas. Em "J" observa-se um fragmento urbano, sua representação axial (linhas vermelhas) e atividades econômicas (pontos azuis). Em "K" verifica-se a distribuição das atividades econômicas e sua proximidade com as linhas axiais que estão numeradas. Em "L" tem-se o gradiente de cores com as respectivas quantidades de atividades econômicas atribuídas a cada linha axial (Fonte: elaboração própria).

A primeira delas exibe o mesmo fragmento urbano da ilha de Manhattan utilizado nos exemplos anteriores. O fragmento urbano foi convertido numa representação espacial axial e, de forma meramente ilustrativa, foram espacializadas atividades econômicas (pontos azuis, imagem “J” da figura 14). Na imagem “K” observa-se, apenas, a representação e as atividades econômicas sobre a mesma base espacial. Por proximidade, cada um desses pontos de atividades econômicas foi associado a cada linha axial, gerando a imagem “L” da figura 14 que contempla, em linhas com coloração vermelha mais intensa, aquelas unidades espaciais mais carregadas com atividades econômicas. De forma inversa, aquelas linhas com tom avermelhado menos intenso, refletem as entidades espaciais com menor quantidade de atividades econômicas associadas.

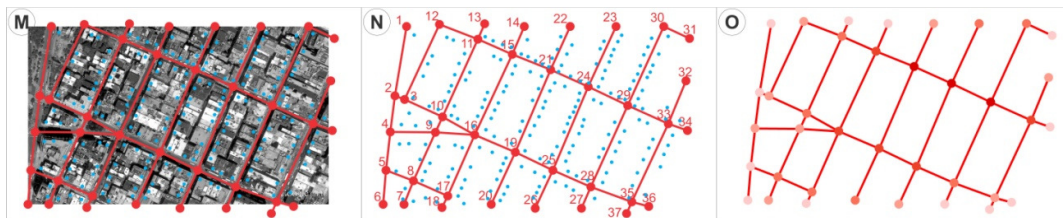


Figura 15 – Carregamento de uma representação espacial nodal com atividades econômicas. Em "M" observa-se um fragmento urbano, sua representação nodal (nós vermelhos) e atividades econômicas (pontos azuis). Em “N” verifica-se a distribuição das atividades econômicas e sua proximidade com os nós que estão numerados. Em “O” tem-se o gradiente de cores com as respectivas quantidades de atividades econômicas atribuídas a cada nó (Fonte: elaboração própria).

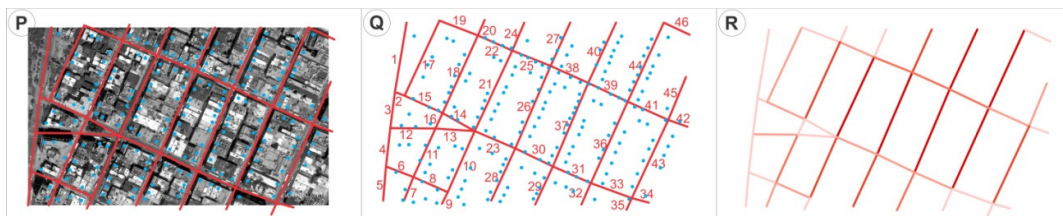


Figura 16 – Carregamento de uma representação espacial por trechos com atividades econômicas. Em "P" observa-se um fragmento urbano, sua representação por trechos de rua (linhas vermelhas) e atividades econômicas (pontos azuis). Em “Q” verifica-se a distribuição das atividades econômicas e sua proximidade com os trechos de rua que estão numerados. Em “R” tem-se o gradiente de cores com as respectivas quantidades de atividades econômicas atribuídas a cada trecho (Fonte: elaboração própria).

Nas figuras 15 e 16, o procedimento ilustrado na figura 14 é repetido, utilizando-se as representações espaciais nodal e por trechos de rua. Note que nas representações espaciais nodal e por trechos, o gradiente de cores obtido pela quantidade de atividades econômicas associadas a cada entidade espacial é sensivelmente mais desagregado do que o gradiente de cores obtido na representação espacial axial (repare que apenas três linhas – 6, 9 e 10 – imagens “K” e “L” na figura 14 concentram grande parte das

atividades econômicas). Isso ocorre em função da extensão média da linha axial que, ao ser comparada com as representações espaciais nodal e por trechos, é muito mais extensa.

Assim, as quantidades de atividades econômicas associadas a uma entidade espacial axial podem, por vezes, apresentar valores muito maiores do que os das demais representações (nós e trechos). **A fim de evitar que os resultados obtidos sejam deformados por tal imprecisão, nessa pesquisa recorreu-se a uma normalização²⁶ da quantidade de atividades econômicas nas entidades espaciais por suas respectivas extensões ou superfícies de domínio.** Por superfície de domínio entende-se a extensão de espaço público equivalente a cada entidade espacial (a extensão das linhas no caso das representações espaciais por linhas axiais e por trechos de rua). Sendo as unidades espaciais da representação nodal assinadas por pontos (elementos euclidianos adimensionais), definiu-se que a superfície de domínio de cada nó é dada pela metade do somatório das extensões de cada conexão incidente por nó da representação. Assim, cada nó passa a ter (de forma semelhante às entidades das outras representações espaciais) uma superfície com extensão particular. **Dessa maneira, o grau de correlação entre centralidades e a distribuição de atividades econômicas processado nessa pesquisa através do coeficiente de correlação Pearson (r)²⁷ foi normalizado pela extensão ou superfície de domínio de cada entidade espacial.**

Quando se normaliza a quantidade de atividades econômicas pela extensão de sua superfície, obtém-se – para cada entidade espacial – um valor muito particular, haja vista que, muitíssimo raramente, haverá entidades espaciais com superfícies com a mesma extensão e a mesma quantidade de atividades econômicas, simultaneamente. Quando não se realiza essa normalização, muitas entidades espaciais apresentam quantidades idênticas de atividades econômicas. Sendo essas quantidades iguais, os valores de correlação Pearson (r) oriundos da comparação da quantidade de atividades econômicas com os valores de centralidade por entidade espacial podem ser minimizados, já que medidas de diferenciação espacial hierarquizam cada unidade do espaço de forma muito peculiar. Portanto, se ao mesmo tempo as quantidades de

²⁶ De acordo com o dicionário Houaiss, o termo “Normalizar” pode ser definido como “estabelecer norma(s) para; normatizar, **padronizar, uniformizar**” (Houaiss et al., 2009). Assim, essa pesquisa assume o termo com base na idéia de padronização dos valores oriundos da quantidade de atividades econômicas bruta por entidade espacial de acordo com suas respectivas extensões. Essas entidades espaciais são definidas em função do tipo de representação espacial empregada.

²⁷ O coeficiente de correlação Pearson (r) será apresentado mais adiante, nesse capítulo.

atividades econômicas forem iguais, as correlações com as medidas de diferenciação espacial tornam-se menos expressivas. Assim, quando se comparam as quantidades de atividades econômicas por entidade espacial normalizadas pelas suas respectivas extensões/superfície de domínio, obtêm-se correlações com as centralidades mais representativas do que se fossem utilizadas, apenas, a quantidade total bruta de atividades econômicas por entidade espacial.

Finalmente, é importante salientar que as localizações das atividades econômicas não foram ponderadas por quaisquer índices (como área, número de funcionários, faturamento, entre outros). Só interessa aqui estabelecer uma correlação entre a quantidade bruta de estabelecimentos por extensão/superfície de domínio da entidade espacial e seus respectivos valores de centralidade.

4.3 – Os Modelos de Centralidade Aplicados

A terceira etapa metodológica do trabalho consiste em realizar, sobre cada representação espacial, o processamento do conjunto de medidas de diferenciação espacial proposto nessa pesquisa. Os modelos utilizados baseiam-se em proposições teóricas apresentadas no capítulo 2 – referencial teórico. A definição, o funcionamento e a redução matemática de cada um desses modelos será apresentado nesse tópico. Com exceção do modelo de centralidade por *Intermediação Planar*, que foi processado no software Medidas Urbanas v1.1 (KRAFTA; POLIDORI; GRANERO, 2000), todos os outros modelos processados nessa pesquisa foram desenvolvidos no programa de geoprocessamento ArcGIS v. 10.2, utilizando-se o pacote de ferramentas oriundo da extensão UNA (Urban Network Analysis) (SEVTSUK; MEKONNEN, 2012).

4.3.1 – Modelo de Centralidade por Alcance

O modelo de Centralidade por *Alcance* é caracterizado por uma operação simples e direta. Ele é capaz de mostrar quantos espaços são alcançados, diretamente, a partir de um espaço dado, considerando-se um raio²⁸ de distância pré-definido (SEVTSUK; MEKONNEN, 2012). Topologicamente, o valor do alcance de um espaço para os outros é, inicialmente, igual ao seu grau (ou número de arestas nele incidentes) na rede espacial

²⁸ Raio da rede refere-se a um valor, menor do que o diâmetro da rede, que determina a quantidade de outros vértices que serão computados no processamento do modelo a partir de cada vértice da rede. Chama-se de diâmetro da rede o caminho mínimo com a maior extensão verificada entre todos os deslocamentos possíveis realizados entre os pares de vértices dentro de uma rede. Ambos podem ser dados em função da geometria (i.e., extensão euclidiana máxima do caminho mínimo entre dois vértices) ou da topologia da rede (i.e., número máximo de arestas no caminho mínimo entre dois vértices).

urbana (KRAFTA, 2014). Esse valor tende a aumentar de acordo com o aumento do raio de busca arbitrado no processamento do modelo. Assim, as células mais centrais são aquelas que apresentam maior somatório de espaços alcançáveis, a partir de cada uma delas, em função de raios pré-definidos.

Nessa pesquisa será utilizado o modelo de centralidade por *Alcance* apresentado em Sevtsuk (2010). Formalmente o modelo é capaz de “captures how many surrounding buildings each building reaches within a given search radius on the network”²⁹, (Sevtsuk; Mekonnen, 2012, p. 10). Inicialmente, o modelo avalia o grau de cada vértice da rede. Na sequência, considerando raios pré-definidos, o modelo computa quantos vértices são alcançáveis a partir de um dado vértice dentro do raio estabelecido inicialmente (utilizando a noção de caminho mínimo). Finalmente, a quantidade de outros vértices alcançados por cada vértice é hierarquizada, de forma que os elementos da rede são diferenciados de acordo com seu grau de alcance. Os mais centrais são os que conseguem alcançar o maior número de vértices, considerando-se o mesmo raio de busca para todos os vértices da rede. Portanto, se nenhum raio é especificado, o cálculo considera um raio máximo, refletindo um alcance global (que é igual ao número de vértices total da rede menos um). Por outro lado, se um raio é especificado, tem-se uma medida de alcance local.

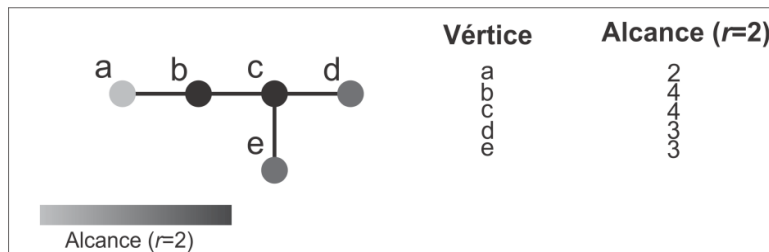


Figura 17 – Exemplo do processamento do modelo de centralidade por *Alcance*. Admita que cada conexão da rede possua comprimento igual a um. No caso, o raio de busca definido é igual a dois. Nessa situação, os vértices “B” e “C” são capazes de alcançar a maior quantidade de outros vértices (quatro), conforme a coluna alcance, à direita (Fonte: elaboração própria).

Matematicamente, a centralidade por *Alcance* $C_A^r[i]$ de um espaço i num grafo G é igual à quantidade de outros espaços em G que são alcançáveis a partir de i dentro de um raio máximo r definido pelo caminho mínimo:

²⁹ [...] “Capturar quantos prédios vizinhos cada prédio alcança num dado raio de busca sobre a rede” (Sevtsuk; Mekonnen, 2012, p.10, tradução nossa). No original o autor utiliza uma descrição espacial onde cada unidade construída (edificação) é uma unidade espacial e, portanto, um vértice na rede espacial. Nessa pesquisa, as unidades espaciais consideradas serão linhas axiais, esquinas e, finalmente, trechos de rua.

Equação 9 – Centralidade por *Alcance* (Fonte: adaptado de Sevtsuk; Mekonnen, 2012, p. 10).

$$C_A^r[i] = \|\{j \in G - \{i\} : d[i, j] \leq r\}\|$$

Sendo que $d[i, j]$ é o caminho mínimo entre os nós i e j no grafo G , e $\|S\|$ é a quantidade de elementos do conjunto S .

É importante salientar que, admitindo-se que serviços e comércios se localizam em pontos que tendem a minimizar distâncias para os consumidores e que a distância máxima que uma criança é capaz de percorrer com certa facilidade gira em torno de 800 metros (ALLAIRE, 1960), foi arbitrado nessa pesquisa que o modelo de centralidade por *Alcance* (geométrico) e os demais modelos utilizados serão aplicados com raios que seguem uma progressão aritmética de razão igual a 300 metros. Também foi estipulado que o valor de raio inicial a ser testado é igual a 200 metros. Dessa forma, são calculadas centralidades considerando raios iguais a 200, 500, 800, 1.100 metros, etc, até que seja alcançado o limite do diâmetro da rede. Da mesma maneira, considerando-se que de certa forma as quadras de uma cidade possuem extensão de (aproximadamente) 100 metros, os processamentos topológicos utilizados considerarão, na aplicação dos modelos, raios que respeitam uma progressão aritmética de razão igual a três e valor inicial igual a dois passos topológicos (i.e., os experimentos serão efetuados de forma topológica com raios iguais a 2, 5, 8, 11... passos topológicos).

4.3.2 – Modelo de Centralidade por *Excentricidade*

O modelo de centralidade por *Excentricidade* captura a relação entre a menor distância existente entre um par de nós numa rede sem nenhum tipo de restrição imposta por sua configuração; ou seja, uma distância euclidiana virtual (em linha reta), e a extensão do seu respectivo caminho mínimo na rede, isto é, considerando-se as distâncias influenciadas por mudanças de direção ocasionadas por barreiras impostas por sua configuração (SEVTSUK; MEKONNEN, 2012). Segundo Porta et al. (2006b) “This measure captures how much the connecting routes from node “i” to all other nodes in the graph deviate from the virtual straight routes”³⁰ (Porta et al., 2006b, p. 710).

O modelo utilizado nessa pesquisa foi extraído de Sevtsuk e Mekonnen (2012) e seu processamento implica, inicialmente, no cômputo de dois tipos de distância que um nó

³⁰ “Esta medida reflete o quanto os deslocamentos que ligam o nó “i” a todos os outros nós do grafo são desviados de linhas retas virtuais que os conectam” (Porta et al., 2006b, p. 710, tradução nossa).

na rede possa ter para todos os outros: uma distância virtual, ou em linha reta (euclidiana), e uma distância definida pelo caminho mínimo, isto é, considerando-se as barreiras impostas pela rede (distância real). Semelhante à centralidade por *Alcance*, a centralidade por *Excentricidade* pode ser medida de forma global ou local, em que valores de raio de busca pré-estabelecidos geram medidas locais e, de forma contrária, a não especificação de um raio admite uma medida global (obtida em função das distâncias consideradas entre todos os pares de vértices possíveis da rede). Depois de calculadas as distâncias virtual e real, cada nó passa a ter um índice, mostrando a relação de sua distância em linha reta virtual com a distância gerada pela extensão de seu caminho mínimo para todos os outros nós do sistema espacial. De acordo com esse índice, cada nó é hierarquizado e aqueles que apresentam menor desvio, ou *excentricidade*, são os menos centrais, e os que apresentam os maiores desvios, ou maiores valores de *excentricidade*, são os mais centrais.

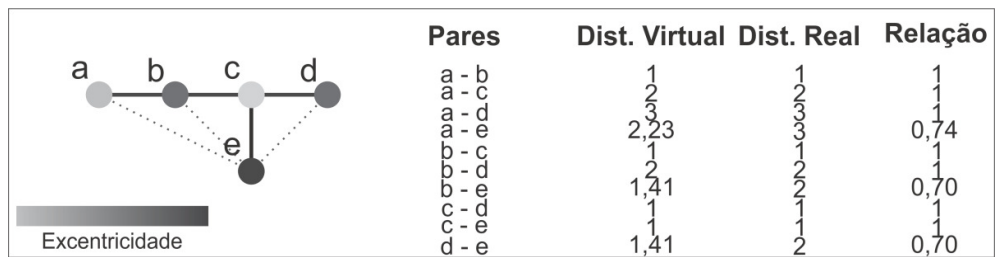


Figura 18 – Exemplo do processamento do modelo de centralidade por *Excentricidade*. Admita que cada conexão da rede possua comprimento igual a um. As linhas pontilhadas indicam as distâncias virtuais entre os pares de vértices (não são demonstradas aquelas linhas que apresentam relação entre a distância real e a distância virtual igual a um, como os pares A-B, A-C, etc). O vértice “C” apresenta somatório de relações entre a distância virtual (linha reta, euclidiana) e a distância real (imposta pelas restrições da rede) nos deslocamentos possíveis na rede igual a quatro (1 + 1 + 1 + 1). Já o vértice “E” possui valor de excentricidade igual a 3,14 (0,74 + 0,70 + 1 + 0,70). Portanto, o vértice “E” é mais excêntrico do que “A” (Fonte: elaboração própria).

A definição matemática de centralidade por *Excentricidade*³¹ é dada por:

Equação 10 – Centralidade por *Excentricidade* (Fonte: adaptado de Sevtsuk; Mekonnen, 2012, p. 14).

$$C_E[i]^r = \sum_{j \in G - \{i\}, d[i,j] \leq r} \frac{\delta[i,j]}{d[i,j]}$$

Onde $C_E[i]^r$ é a centralidade por *Excentricidade* do espaço i dentro de um raio de busca r , $\delta[i,j]$ é a distância em linha reta (euclidiana) entre os espaços i e j , e $d[i,j]$ é o

³¹ No modelo originalmente proposto por Sevtsuk e Mekonnen (2012), a excentricidade de um nó pode ser ponderada por atributos espaciais como população, área do espaço, entre outros. Essa ponderação inclui um valor W na equação 10. Nessa pesquisa, a utilização do modelo não considerará nenhum tipo de valor ponderado, e por isso esse valor foi suprimido da equação original.

caminho mínimo (distância real) entre estes espaços, considerando as restrições impostas pela rede.

4.3.3 – Modelo de Centralidade por *Intermediação*

O modelo de centralidade por *Intermediação* tem origem na sociologia (FREEMAN, 1977). Descreve, basicamente, a quantidade de vezes que um determinado vértice da rede espacial intermedia relações entre outros pares de espaços quaisquer, estando no caminho mínimo entre eles. Assim, indica onde estão os elementos do espaço que possuem maior probabilidade de concentrar fluxos e informação. Inicialmente, esse modelo calcula os caminhos mais curtos entre cada par de espaços possíveis na rede espacial que não são diretamente conectados³². Depois, computa-se a quantidade de vezes que cada entidade espacial aparece intermediando relações entre outros pares quaisquer. Finalmente, é feita a hierarquização dos elementos espaciais em função da quantidade de vezes que eles aparecem nos caminhos mínimos de todos os deslocamentos possíveis realizados entre os vértices da rede. A centralidade por *Intermediação* e a sua variação, que será apresentada na sequência (centralidade por *Intermediação Planar*), podem ser calculadas de forma local (com raio estipulado) ou global (considerando toda a rede). Essencialmente, esse modelo diz que a importância de um espaço é definida pela fração de caminhos mais curtos entre pares de outros espaços na rede que passam por ele (KRAFTA, 1994). Além disso, se mais de um caminho mínimo é encontrado entre um par de nós (como acontece frequentemente em redes espaciais urbanas), então, a cada um dos caminhos equidistantes é dado o mesmo peso, de tal forma que a soma das parcelas seja igual ao valor total (SEVTSUK; MEKONNEN, 2012). O modelo é matematicamente definido por³³:

Equação 11 – Centralidade por *Intermediação* (Fonte: adaptado de Sevtsuk; Mekonnen, 2012, p. 12).

$$C_I[i]^r = \sum_{j,k \in G - \{i\}, d[j,k] \leq r} \frac{n_{jk}[i]}{n_{jk}}$$

Onde $C_I[i]^r$ é a centralidade por *Intermediação* de um espaço i , num dado raio de busca r , $n_{jk}[i]$ é a quantidade de caminhos mínimos do nó j até o nó k que são intermediados

³² Se dois nós na rede estão diretamente conectados, então, não existe centralidade entre eles.

³³ No modelo originalmente proposto por Sevtsuk e Mekonnen (2012), a intermediação de um nó pode ser ponderada por atributos espaciais como população, área do espaço, entre outros. Essa ponderação inclui um valor W , multiplicando a divisão da equação 11. Nessa pesquisa, a utilização do modelo não considerará nenhum tipo de valor ponderado e, por isso, esse valor foi suprimido da equação original.

pelo nó i ; e n_{jk} é a quantidade total de caminhos mínimos do nó j até o nó k (inclusive os que passam por i). A intermediação de um espaço i é computada considerando todos os pares de espaços j, k que estão dentro de um raio de distância r um do outro.

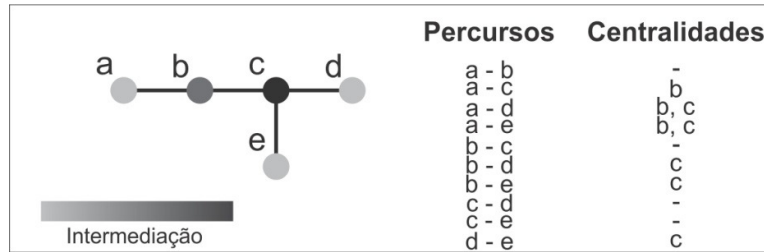


Figura 19 – Exemplo do processamento do modelo de centralidade por *Intermediação*. Admita que cada conexão da rede possua comprimento igual a um. Perceba que o vértice “C” aparece intermediando cinco percursos, entre todos os possíveis deslocamentos realizados na rede. O vértice “B” aparece em três desses. Os demais vértices, que são extremidades da rede, não intermediam nenhuma relação. Portanto, o vértice “C” é o mais central (Fonte: elaboração própria).

4.3.4 – Modelo de Centralidade por *Intermediação Planar*

Krafta (1994), a fim de capturar nuances da realidade urbana, modifica o modelo de centralidade por *Intermediação*, originalmente proposto por Freeman (1977), acrescentando a noção de tensão entre cada par de elementos da rede espacial. Assim, seu modelo leva em consideração aspectos como o peso e a distância que cada entidade espacial apresenta em relação as outras que com ela compõem um sistema espacial. Além disso, o modelo admite que existem tensões ocorrendo entre cada par de vértices numa rede espacial urbana, sendo essa tensão igual ao produto de seus respectivos pesos. Esses aspectos se relacionam a particularidades urbanas não presentes na idéia original de Freeman (1977).

Dessa alteração, surgem variações do modelo original, chamadas de centralidade por *intermediação planar* e centralidade por *intermediação ponderada*. Nessa pesquisa, aplica-se apenas a primeira.

De acordo com esses modelos, os elementos que intermediam os deslocamentos mínimos entre cada um dos pares possíveis da rede recebem um valor proporcional às tensões que por eles são intemediadas, ou seja, os elementos mais centrais são os que possuem maior somatório de tensões distribuídas entre todos os deslocamentos dos pares de nós possíveis na rede (KRAFTA, 2009). No caso da centralidade por *Intermediação Planar*, todos os elementos possuem carga igual a 1. Num hipotético deslocamento “a-b”, com “n” elementos intermediando o caminho mais curto, cada

elemento intermediador (que se localiza no caminho mínimo entre a-b) receberá uma fração de tensão igual a $1/n$ (tensão refere-se ao produto das cargas dos dois espaços de origem e destino). Para todos os deslocamentos realizados entre todos pares possíveis da rede espacial, cada elemento terá um somatório de frações de tensão que por ele são intermediadas. Esses somatórios são então hierarquizados, sendo que os elementos da rede que apresentam maiores somatórios são os mais centrais, e os com menores somatórios, os menos centrais.

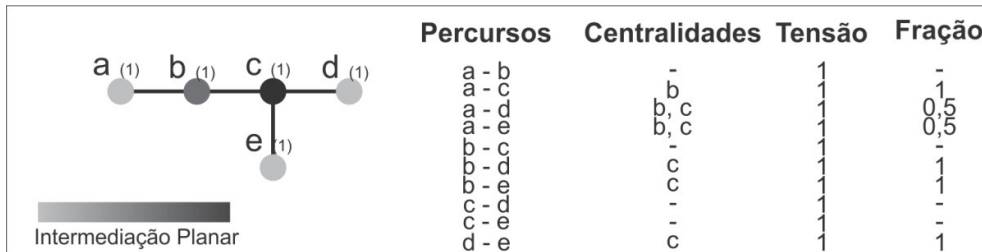


Figura 20 – Exemplo do processamento do modelo de centralidade por *Intermediação Planar*. Admita que cada conexão da rede possua comprimento igual a um. Entre *parêntesis* são demonstrados os valores de cargas em cada vértice. A tabela à direita exibe a quantidade de vezes que cada vértice intermedia percursos, os valores de tensão entre os pares de vértices possíveis na rede e a fração que cada vértice intermediador recebe dessa tensão (respectivamente). O vértice “C” aparece intermediando cinco percursos, sendo que seu somatório de frações é igual a quatro ($0,5 + 0,5 + 1 + 1 + 1$). Já o vértice “B” aparece intermediando três percursos. Seu somatório de frações é igual a dois ($1 + 0,5 + 0,5$). Portanto, o vértice “C” é o mais central (Fonte: elaboração própria).

Matematicamente, define-se a centralidade por *Intermediação Planar* de cada entidade espacial por:

Equação 12 – Centralidade por *Intermediação Planar* (Fonte: adaptado de Polidori; Granero; Krafta, 2001).

$$C_{Pla}[i]^r = \sum_{i=1}^{ij} C_{Ii} \cdot 1/n$$

Onde $C_{Pla}[i]^r$ é a centralidade por *Intermediação Planar* de um espaço i , num dado raio r , C_{Ii} é a quantidade de vezes que o espaço i aparece no percurso j e n é o número de espaços intermediando o percurso j , inclusive o espaço i . Desse somatório, é possível gerar uma classificação de espaços mais ou menos centrais, de acordo com o modelo de centralidade por *Intermediação Planar*.

4.3.5 – Modelo de Centralidade por *Proximidade*

O modelo de centralidade por *Proximidade*, ou modelo de acessibilidade, é processado com a finalidade de gerar diferenciação e hierarquia espacial, em função da distância que

cada elemento do sistema espacial possui para os demais, definida em função dos seus caminhos mínimos.

O modelo de centralidade por *Proximidade* é executado, inicialmente, calculando-se todos os caminhos mínimos entre cada par de vértices possíveis no sistema espacial. Depois, é extraída uma média da distância que cada entidade espacial possui para as demais. Finalmente, hierarquizam-se as entidades espaciais em função de seus valores de distância mínima média, de forma que os elementos espaciais com os valores médios mais baixos são os mais acessíveis e os elementos espaciais com os valores médios mais elevados são os menos acessíveis. Formalmente, define-se esse modelo como o somatório do inverso da distância que cada elemento do sistema espacial possui para todos os demais.

Como as demais centralidades apresentadas até aqui, a centralidade por *Proximidade* pode ser calculada de forma local, ou seja, admitindo-se a existência de um raio dentro do qual serão computadas as distâncias mínimas de cada elemento do sistema espacial, ou de forma global, onde todos os elementos, independente de um raio pré-estabelecido, são considerados. Após o cálculo, cada entidade espacial passa a ter um valor de proximidade (ou acessibilidade), sendo possível gerar uma hierarquia espacial.

A medida de centralidade por *Proximidade* indica o quão próximo um dado espaço está de todos os outros ao redor de um determinado limite de distância, sugerindo o grau de facilidade com que esse espaço é alcançado no sistema espacial. Hillier et al. (1993) sugerem que os elementos mais acessíveis numa rede espacial são os que apresentam maior quantidade de circulação de pedestres e, conseqüentemente, maiores valores de renda do solo (BARRA, 1979).

O modelo de centralidade por *Proximidade*, ou acessibilidade, é matematicamente descrito pela equação:

Equação 13 – Centralidade por *Proximidade* (Fonte: adaptado de Sevtsuk; Mekonnen, 2012, p.13).

$$C_p[i]^r = \sum_{i=0}^n 1/d_{ij}$$

Onde $C_p[i]^r$ é a centralidade por *Proximidade* de um espaço i , num dado raio de busca r e d é a distância mínima entre os espaços i e j .

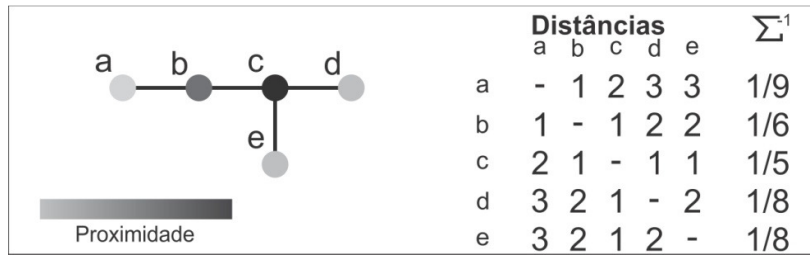


Figura 21 – Exemplo do processamento do modelo de centralidade por *Proximidade*. Admita que cada conexão da rede possua comprimento igual a um. A tabela à direita exibe a extensão dos caminhos mínimos entre cada par de vértices possível na rede e o inverso do somatório dessas distâncias. Assim, tem-se que o vértice “C” possui a menor distância para todos os outros vértices da rede (inverso do somatório igual a 0,20). Já o vértice “A” é o que está mais distante de todos os outros vértices da rede, ao apresentar o valor inverso do somatório igual a 0,11 (Fonte: elaboração própria).

4.4 – Coeficiente de Correlação Pearson (*r*)

O quarto e último passo metodológico consiste na obtenção de um índice capaz de associar a ocorrência de atividades econômicas e valores de centralidade espacial urbana. Esse índice é obtido, nessa pesquisa, pela aplicação do coeficiente de correlação Pearson (*r*).

O coeficiente de correlação Pearson (*r*) é uma ferramenta estatística desenvolvida pelo estatístico inglês Karl Pearson (1857-1936). Esse coeficiente é capaz de avaliar o grau em que dois fenômenos quantificáveis distintos estão associados. Parece que, inicialmente, foi aplicado a estudos relacionados às ciências da saúde (biologia, medicina, biometria, entre outros) para o estudo de relações causais. Matematicamente, a fórmula do coeficiente de correlação Pearson (*r*) é dada por:

Equação 14 – Coeficiente de correlação Pearson (*r*) (Fonte: elaboração própria).

$$r = \frac{n \cdot \sum(x \cdot y) - \sum(x) \cdot \sum(y)}{\sqrt{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

Onde *r* é o coeficiente de correlação Pearson entre duas variáveis (“A” e “B”), *n* é o número de elementos avaliados na amostra, *x* representa os valores individuais da variável “A” e *y* representa os valores individuais da variável “B”³⁴.

Basicamente, o resultado consiste numa escala adimensional que varia de -1 a +1 (PEARSON, 1904). Se dois fenômenos são lineares, porém inversamente

³⁴ Nessa pesquisa, os valores das variáveis “A” e “B” são, respectivamente: (A) a quantidade de atividades econômicas normalizadas pela extensão ou superfície de domínio de cada entidade espacial e (B) os resultados da aplicação de cada um dos modelos de centralidade apresentados, de forma geométrica e topológica, processados sobre as representações espaciais (axial, nodal e trechos de rua) das cidades dos estudos de caso.

correlacionados, tem-se $r = -1$. Por outro lado, se dois fenômenos são lineares e diretamente correlacionados tem-se $r = +1$. Quanto mais próximo de zero, menor a linearidade entre os fenômenos e, portanto, menos correlacionados eles são. Na literatura, encontra-se referência à seguinte escala de grau do coeficiente de correlação Pearson (r): se $-1 < r < -0,7$ tem-se dois fenômenos inversamente proporcionais e **fortemente** correlacionados. Se $-0,7 < r < -0,3$, observam-se dois fenômenos inversamente proporcionais e **moderadamente** correlacionados. Se o valor está numa faixa $-0,3 < r < 0,3$, os fenômenos são completamente **desassociados**. Por outro lado, uma correlação é **moderada** e diretamente proporcional se $0,3 < r < 0,7$. Finalmente, se $0,7 < r < 1$, os fenômenos são **fortemente** correlacionados e diretamente proporcionais.

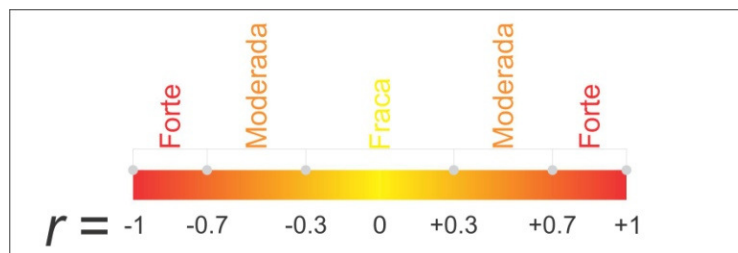


Figura 22 – Gradiente e escala de valores do coeficiente de correlação Pearson (r) (Fonte: elaboração própria).

Atualmente, por causa de sua rápida execução, visualização, fácil entendimento e capacidade de associar variáveis distintas, o coeficiente de correlação Pearson (r) é muito utilizado em pesquisas do tipo *data mining*³⁵.

É importante ressaltar que, a fim de otimizar os valores dos resultados, aquelas entidades espaciais que não apresentam atividades econômicas associadas são suprimidas do processo de aplicação do coeficiente de correlação Pearson (r) com centralidades urbanas. **Portanto, os resultados de correlação obtidos nessa pesquisa só levam em consideração aquelas entidades espaciais que possuem valores de atividades econômicas diferentes de zero, sendo essas normalizadas pela respectiva extensão de cada entidade espacial considerada.**

4.5 – Fluxograma Metodológico

Inicialmente, as cidades dos estudos de caso são convertidas em redes espaciais urbanas (axial, nodal e trechos de rua). Simultaneamente, as atividades econômicas são espacializadas em visitas realizadas, *in loco*, nas cidades analisadas. Com as

³⁵ Também conhecido como mineração de dados. Tipo de pesquisas que investigam grandes bancos de dados e procuram padrões capazes de associar variáveis, aparentemente, distintas.

representações espaciais concluídas, são realizados os carregamentos com as atividades econômicas espacializadas nas cidades em função de sua proximidade para cada entidade espacial das representações. É nesse passo metodológico que, visando otimizar os valores correlacionais entre as centralidades e a distribuição de atividades econômicas, as quantidades de atividades econômicas são normalizadas pelas dimensões das linhas axiais, dos trechos de rua e do somatório da metade do comprimento de conexões incidentes sobre cada nó de uma representação nodal. Então, sobre as representações espaciais do tipo axial, nodal e de trechos de rua, são processados os modelos de centralidade propostos, de forma geométrica e topológica, local e globalmente. Na sequência, excluem-se aquelas entidades espaciais que não estão vinculadas a nenhuma atividade econômica e, finalmente (sobre as entidades espaciais remanescentes), aplica-se o coeficiente de correlação Pearson (r) para verificar o grau de linearidade entre os resultados obtidos após a aplicação dos modelos de centralidade processados (associadas a distintas maneiras de se representar o espaço como uma rede) e a quantidade de atividades econômicas por entidade espacial (normalizado pela sua respectiva extensão).

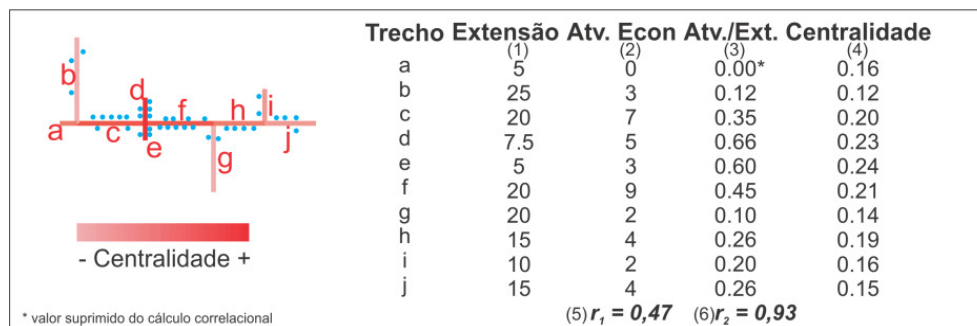


Figura 23 – Procedimento correlacional. À esquerda, uma representação espacial definida por trechos de rua, processada com um modelo de centralidade geométrica de forma global. Cada entidade espacial é identificada por uma letra. O gradiente de cores indica os trechos mais e menos centrais conforme o modelo de centralidade empregado. Os círculos azuis representam localizações de atividades econômicas. À direita, a matriz informa (1) a extensão de cada trecho; (2) a quantidade de atividades econômicas associadas, por proximidade, a cada um dos trechos; (3) a relação entre a quantidade de atividades econômicas por extensão da entidade espacial e, finalmente, (4) os valores de centralidade de cada entidade espacial. Na parte inferior, são apresentados o valor de correlação Pearson (r) (5) entre as centralidades e a quantidade bruta de atividades econômicas por trecho de rua ($r_1 = 0,47$) e (6) as centralidades e a quantidade de atividades econômicas normalizadas pela extensão dos trechos de rua ($r_2 = 0,93$). Nessa pesquisa, os experimentos são realizados de forma análoga à maneira como o segundo valor de correlação Pearson (r) foi obtido. Note que, visando maximizar o valor correlacional, a entidade com valor nulo de atividades econômicas (a) foi excluída do cálculo correlacional (Fonte: elaboração própria).

Assim, pode-se concluir o nível de correlação entre distintas maneiras de se diferenciar o espaço urbano e o fenômeno da distribuição de atividades econômicas nas cidades avaliadas nos estudos de caso.

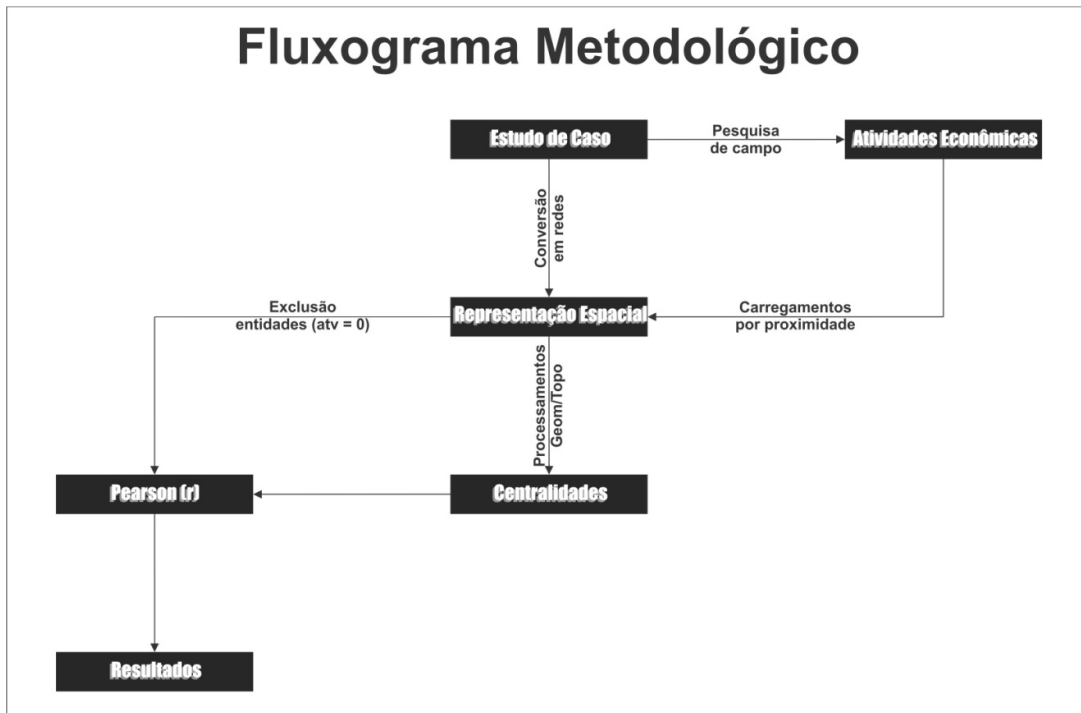


Figura 24 – Percurso metodológico da pesquisa (Fonte: elaboração própria).

5 – Experimentos e Resultados

Esse capítulo contém os experimentos e os resultados obtidos pela aplicação da metodologia proposta nessa pesquisa. Ele está estruturado de forma a apresentar, inicialmente, as cidades que serviram como base para os estudos de caso. Na sequência, são apresentadas suas respectivas representações espaciais (mapa axial, mapa nodal e mapa de trechos) e a distribuição de atividades econômicas em cada uma delas. Prossegue-se com a demonstração dos valores do coeficiente de correlação Pearson (r) oriundos da comparação dos resultados do conjunto de medidas de diferenciação espacial propostos (*Alcance*, *Excentricidade*, *Intermediação*, *Intermediação Planar* e *Proximidade*) processados de forma local e global, aplicados a cada tipo de representação espacial das cidades analisadas (axial, nodal e trechos) e as quantidades de atividades econômicas distribuídas nas suas respectivas redes. Finalmente, os resultados obtidos pela aplicação do coeficiente de correlação Pearson (r) que indicam as maiores correlações entre as medidas de centralidade e a distribuição de atividades

econômicas normalizadas pela extensão das respectivas entidades espaciais são ilustrados e discutidos.

Os estudos de caso foram realizados sobre três cidades brasileiras, definidas em função da maior facilidade de obtenção de dados e do menor tempo necessário para a montagem da base cartográfica. Essas cidades foram definidas com o único intuito de servirem como cenário para a aplicação da metodologia proposta na pesquisa. Assim, visando preservar a identidade das cidades analisadas e partindo-se da premissa de que o método científico não faz distinção entre diferentes estudos de caso, i.e., o método científico é capaz de reproduzir resultados similares independentemente da amostra selecionada, serão revelados somente dados estritamente necessários para a compreensão de aspectos vinculados a essa pesquisa. As três cidades analisadas serão designadas pelas letras *L*, *P* e *T*.

5.1 – Estudo de Caso 1: *L*

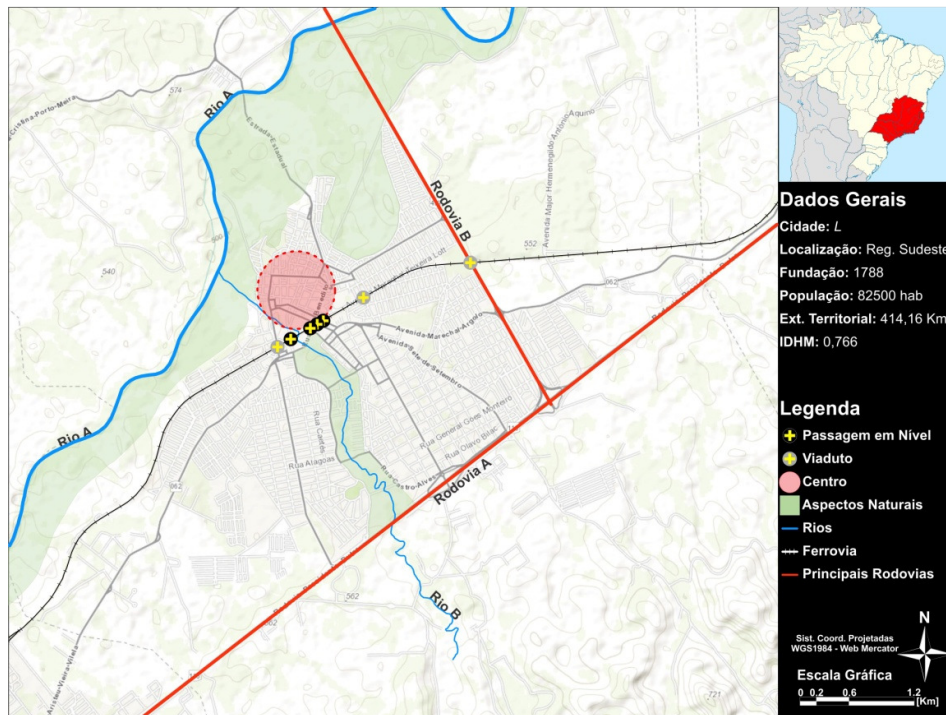


Figura 25 – Área urbana de *L*: Principais acessos, aspectos naturais, centro e entroncamentos ferroviária/traçado viário (Fonte: elaboração própria).

L é uma cidade com cerca de 80.000 habitantes e a área de seu município possui, aproximadamente, 400 Km² (IBGE, 2014). A cidade posiciona-se no entroncamento de três grandes centros urbanos e beneficia-se economicamente da proximidade com uma rodovia, extremamente relevante para a produção industrial e o comércio desses centros

e da região onde se insere (Rodovia “A” na imagem da figura 25). Além dessa rodovia, que se posiciona na porção sul da cidade, existe outra importante maneira de se acessar a cidade: através de uma rodovia que está localizada na parte leste da zona urbana (Rodovia “B” na imagem da figura 25).

L é um centro universitário de relevância para a região onde se insere e, segundo IBGE (2014), 63,5% da participação do PIB vem do setor terciário (comércios e serviços). Atualmente, a cidade apresenta Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) igual a 0,766 (IBGE, 2014).

O relevo de *L* é praticamente plano, tornando-se mais acidentado e íngreme à medida que a cidade se aproxima de uma serra, localizada próxima à extremidade norte do município. Outro fator relevante na conformação da cidade reside no fato de o município ser cortado por um rio, fundamental para a origem das cidades da região onde *L* se insere (Rio “A” na imagem da figura 25), que flui no sentido oeste-leste.

A zona urbana de *L* está quase que em sua totalidade localizada na área entre o rio “A” e as rodovias citadas anteriormente. Além disso, a área urbana da cidade também é dividida em duas porções (leste e oeste) por um grande maço vegetal, formado por uma mata ciliar que cobre um rio (Rio “B” na imagem da figura 25) que flui no sentido sul/norte.

A forma urbana de *L* é claramente influenciada pelo desenho das duas rodovias que se encontram perpendicularmente na porção sudeste da cidade. Esse encontro define um desenho que, de certa forma, norteia o traçado viário dos bairros da periferia adjacente. Ao norte, a forma urbana da cidade é limitada por uma grande área de extravaso do rio “A” que, em função das cheias, eventualmente alaga. A maior parte do desenho da cidade segue um traçado de inspiração hipodâmica, indicando algum rigor projetual. Outro fator relevante da cidade é o fato de sua zona urbana ser cortada por uma ferrovia que a divide no sentido norte/sul. Existem sete pontos onde o traçado viário é interceptado pela ferrovia: três são viadutos e quatro são passagens em nível, conforme as cruzes indicadas na imagem da figura 25.

L vem sofrendo nos últimos anos um processo de expansão urbana em direção a Rodovia “A” que age como um vetor de atração econômica das cidades da região, fato

este que é otimizado pela pouca área disponível nas franjas norte e oeste da cidade, ambas limitadas pelo rio “A”.

5.1.1 – Experimentos: Representação Axial

O primeiro experimento descreveu L na forma de uma representação espacial composta por 1.020 linhas axiais que, na média, tem dimensão próxima a $\bar{x} = 328$ metros. No entanto, a variação de comprimento das unidades espaciais é sensível, o que é demonstrado pelo alto valor do desvio padrão, próximo a $\sigma = 503$ metros.

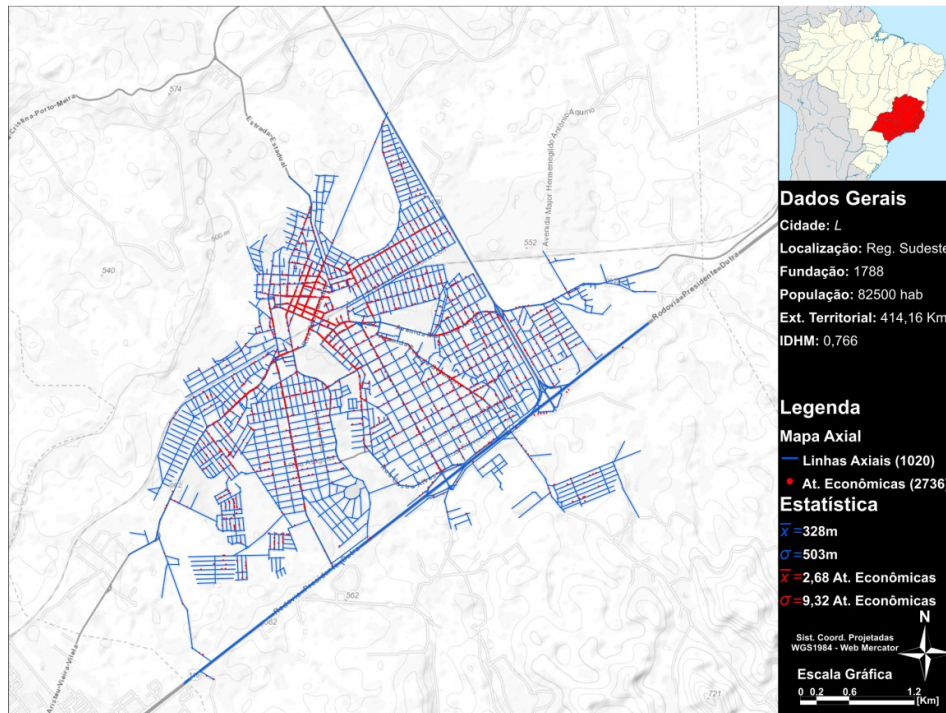


Figura 26 – Atividades econômicas e representação espacial por linhas axiais de L (Fonte: elaboração própria).

Ao todo, foram catalogadas 2.736 localizações referentes às atividades econômicas na cidade que, por proximidade, foram associadas às linhas axiais. Na média, cada entidade espacial apresenta 2,68 atividades econômicas. Do total de atividades econômicas registradas, 47% concentram-se em apenas 25 linhas axiais (ou 2,45%). A variância da quantidade de atividades econômicas por linhas axiais é $var = 113$.

Como um efeito cascata, em função da variação do tamanho médio das linhas axiais, o desvio padrão da quantidade de atividades econômicas por entidade espacial também foi significativo: $\sigma = 9,32$. Esses valores sugerem que as atividades econômicas da cidade

estão sujeitas a uma rigorosa hierarquia espacial que ocorre, claramente, na região central e em vias que conectam a periferia ao centro da cidade.

Como se pretende nessa pesquisa realizar uma comparação que associa um tipo de representação espacial e uma medida de centralidade com o fenômeno da distribuição espacial de atividades econômicas, normalizou-se a quantidade de atividades econômicas pelo comprimento de cada linha axial. Pretende-se assim, realizar uma comparação com maior similitude com as outras representações espaciais empregadas nessa pesquisa (representações nodal e por trechos de rua), já que a linha axial e sua variação de tamanho tende a concentrar uma quantidade significativamente maior de atividades econômicas do que as unidades espaciais obtidas numa representação nodal ou por trechos de rua (ver capítulo 4 – Metodologia).

Na primeira parte do experimento foi realizado o processamento do conjunto de medidas de diferenciação espacial proposto nessa pesquisa sobre a rede espacial composta por linhas axiais de L de forma geométrica e topológica.

Geometricamente, foram realizados 169 testes com a rede espacial axial de L . Os processamentos foram efetuados de forma global e local, ou seja, com raios pré-estabelecidos. Esses raios variaram de 200 a 9.800 metros (respeitando uma progressão aritmética de razão igual a 300 metros). Na sequência, foram excluídas aquelas linhas axiais que apresentavam relação entre a quantidade de atividades econômicas e seu comprimento igual a zero. Depois, foi aplicado o coeficiente de correlação Pearson (r) sobre cada uma das medidas de diferenciação espacial testadas nessa pesquisa a fim de se obter o grau de correlação entre os valores de centralidade e a quantidade de atividades econômicas normalizadas pelas extensões de cada entidade espacial presentes na representação axial. Os valores obtidos podem ser verificados na tabela 4³⁶ e no gráfico da figura 27, abaixo.

O comportamento do gráfico da figura 27 sugere que nenhum dos resultados apresentou coeficiente de correlação Pearson $r > 0,5$, que indicaria correlações mais do que moderadas. Os valores mais elevados apontam para correlações com alguma tendência a moderação, localizados na faixa correlacional $0,3 < r < 0,5$ (observe a linha pontilhada no gráfico da figura 27 que aponta o limite entre as zonas de correlação fraca e moderada). As curvas que descrevem os testes realizados com os modelos de

³⁶ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

centralidade por *Alcance* (linha amarela) e centralidade por *Excentricidade* (linha vermelha) alcançam, muito rapidamente, um pico que é obtido após seus processamentos com raio igual a 1.400 metros ($r = 0,400$ e $r = 0,396$, respectivamente).

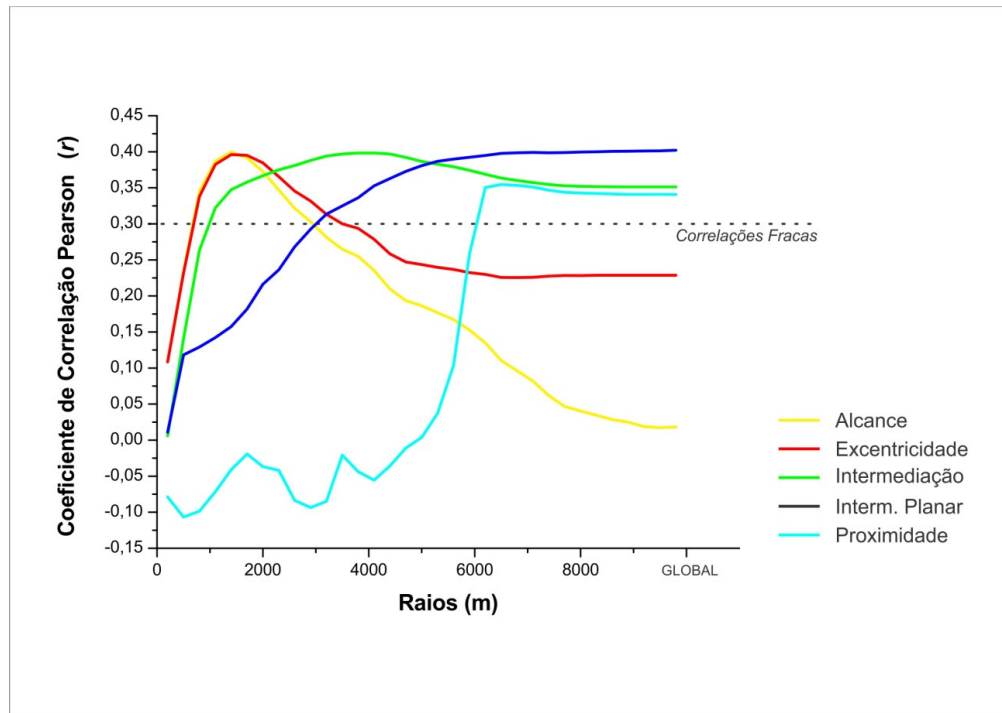


Figura 27 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede axial de L (Fonte: elaboração própria).

Na sequência, esses modelos apresentam tendência de queda, sendo que a curva referente à aplicação do modelo de centralidade por *Excentricidade* parece estabilizar-se na faixa do gráfico com valores de correlação Pearson próximos a $r = 0,25$ (ou seja, correlação fraca), enquanto que a curva equivalente ao modelo de centralidade por *Alcance* cai mais bruscamente e parece estabilizar-se na região do gráfico com correlações Pearson próximas a $r = 0,02$ (correlações extremamente fracas). Os resultados de correlação Pearson (r) obtidos após a aplicação dos modelos de centralidade por *Intermediação* (linha verde) e centralidade por *Intermediação Planar* (linha azul marinho) apontam para comportamentos similares. Os valores apresentam tendência de crescimento, sendo que a curva oriunda da aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação* atinge seu pico após o teste realizado considerando-se raio igual à 4.100 metros ($r = 0,398$). Após alcançar o pico, a curva equivalente ao modelo de centralidade por *Intermediação* sofre uma ligeira queda, parecendo ficar estável na zona do gráfico que apresenta coeficientes de correlação Pearson $r = 0,35$

(correlação moderada tendendo a fraca). Já a curva equivalente ao modelo de centralidade por *Intermediação Planar* apresenta forte tendência ao crescimento nos primeiros testes (até raio igual a 5.600 metros) e, a seguir, parece estabilizar-se, apresentando um comportamento praticamente estável, atingindo o valor mais alto quando se testa o modelo com raio igual a 9.800 metros ($r = 0,402$). Naquela zona do gráfico, localizam-se os valores que refletem correlações com alguma tendência à moderação. Finalmente, a curva azul ciano descreve o comportamento dos resultados de correlação Pearson (r) obtidos após a aplicação do modelo de centralidade por *Proximidade*. Essa curva indica que o modelo parece ser muito pouco suscetível à correlações Pearson (r) mais do que fracas, especialmente na primeira metade dos testes desenvolvidos. No entanto, os resultados de correlação obtidos com o modelo, após a utilização de raios maiores do que 5.900 metros, sugere uma forte tendência ao crescimento, que atinge seu pico em 6.500 metros (gerando uma correlação Pearson $r = 0,355$). A partir daí, a curva sofre uma ligeira queda e estabiliza-se na faixa do gráfico que apresenta coeficientes de correlação Pearson $r = 0,35$ (correlações fragilmente moderadas).

A interpretação desses resultados permite inferir que, geometricamente, a medida de centralidade por *Intermediação Planar*, aplicada sobre a rede espacial axial de L , é a que melhor descreve, ainda que de forma frágil, a distribuição de atividades econômicas na cidade. O valor de correlação Pearson $r = 0,402$ obtido pode ser interpretado como uma correlação moderada, tendendo a fraca.

Também sobre a representação espacial axial de L , foram realizados testes considerando-se a topologia da rede. Neles, os modelos de centralidade foram aplicados com raios que variavam entre dois e 26 passos topológicos (respeitando uma progressão aritmética de razão igual a três). Também foram executados testes globais, totalizando 49 procedimentos. A tabela 5³⁷ e o gráfico da figura 28 sintetizam esses experimentos.

Desse gráfico é possível perceber que, com exceção do modelo de centralidade por *Intermediação Planar*, todos os outros modelos de centralidade testados apresentaram, ao menos, uma correlação Pearson com valor $r > 0,3$ (indicando correlações mais do que fracas, conforme apontado pela linha pontilhada no gráfico da figura 28). Para os testes topológicos executados sobre a rede espacial axial de L , o valor mais relevante foi

³⁷ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

obtido após a aplicação do modelo de centralidade por *Alcance* (linha amarela) com raio igual a cinco passos topológicos ($r = 0,379$). A linha que descreve os resultados de correlação Pearson (r) obtidos após a utilização desse modelo de centralidade apresenta um comportamento caracterizado por uma forte tendência de crescimento até atingir seu pico. Depois, entra em vertiginosa queda que tende a se acentuar conforme se aumenta o raio de busca processado. De maneira muito similar, a curva que descreve os resultados de correlação Pearson (r) obtidos pela aplicação do modelo de centralidade por *Excentricidade* também apresenta tal comportamento. A aplicação do modelo aponta para um pico que é verificado após o teste, considerando-se raio igual a cinco passos topológicos ($r = 0,326$ – correlação fragilmente moderada) e, na sequência, uma sensível queda que parece se estabilizar na faixa do gráfico próxima a $r = 0,073$ (correlação extremamente fraca).

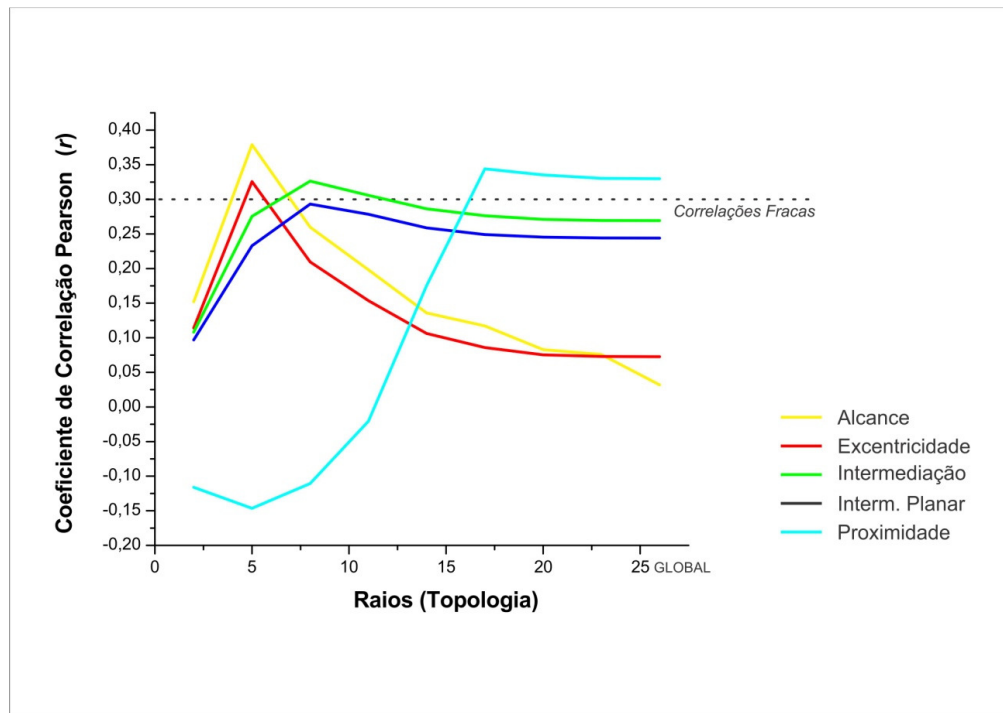


Figura 28 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede axial de L (Fonte: elaboração própria).

As curvas equivalentes aos resultados de correlação Pearson (r), derivados da aplicação dos modelos de centralidade por *Intermediação* (linha verde) e centralidade por *Intermediação Planar* (linha azul marinho), apresentam comportamentos estritamente similares, diferenciando-se apenas, nos valores de pico e de tendência à estabilização. Ambas apresentam, inicialmente, uma tendência ao crescimento (de forma não tão

aguda quanto às curvas oriundas dos modelos de centralidade por *Alcance* e centralidade por *Excentricidade*) e, posteriormente, uma sutil tendência à queda. A curva equivalente ao modelo de centralidade por *Intermediação* alcança o valor mais elevado de correlação Pearson (r) quando é processada com raio igual a oito passos topológicos ($r = 0,326$ – ou uma correlação fragilmente moderada). Já a curva equivalente ao modelo de centralidade por *Intermediação Planar* também alcança o pico quando é processada utilizando-se esse raio. Porém, verifica-se uma correlação Pearson $r = 0,293$, i.e., uma correlação fraca. Após esses picos, ambas curvas sofrem uma suave tendência de queda até estabilizarem-se na região do gráfico próxima ao limiar entre correlações moderadas e fracas, respectivamente iguais a $r = 0,269$ (centralidade por *Intermediação*) e $r = 0,244$ (centralidade por *Intermediação Planar*). A única curva que se comporta de forma completamente adversa das demais é a oriunda da aplicação do modelo de centralidade por *Proximidade* (linha azul ciano). A curva apresenta, inicialmente, uma tendência de queda. Na sequência, no intervalo de testes com raios iguais a cinco e 17 passos topológicos, apresenta um conjunto de valores com tendência ao crescimento. Verifica-se, no resultado obtido pela aplicação do modelo de centralidade por *Proximidade* com raio igual a 17 passos topológicos, o pico dessa curva ($r = 0,344$). Finalmente, os valores caem suavemente, parecendo estabilizarem-se, ocupando a área do gráfico que descreve correlações do tipo fragilmente moderadas ($r = 0,330$).

Portanto, entre todos os testes topológicos realizados sobre a rede axial de L , destaca-se o resultado obtido após a aplicação do modelo de centralidade por *Alcance* com raio igual a cinco passos topológicos. Sua aplicação apresenta o maior valor de correlação Pearson (r) derivado do cruzamento das quantidades de atividades econômicas por comprimento de linha axial com as centralidades ($r = 0,379$). Porém, essa é uma correlação Person (r) que pode ser considerada, apenas, moderada tendendo a fraca.

Comparando-se os gráficos exibidos nas figuras 27 e 28 percebe-se, claramente, que o comportamento das curvas de centralidade em ambos os casos são similares. No entanto, o gráfico definido pelo conjunto de correlações Pearson (r) obtidos sobre a geometria da rede axial de L apresenta uma quantidade considerável de valores $r > 0,3$, induzindo a concluir que esse tipo de processamento parece ser mais sensível ao fenômeno estudado do que aquele realizado de forma topológica.

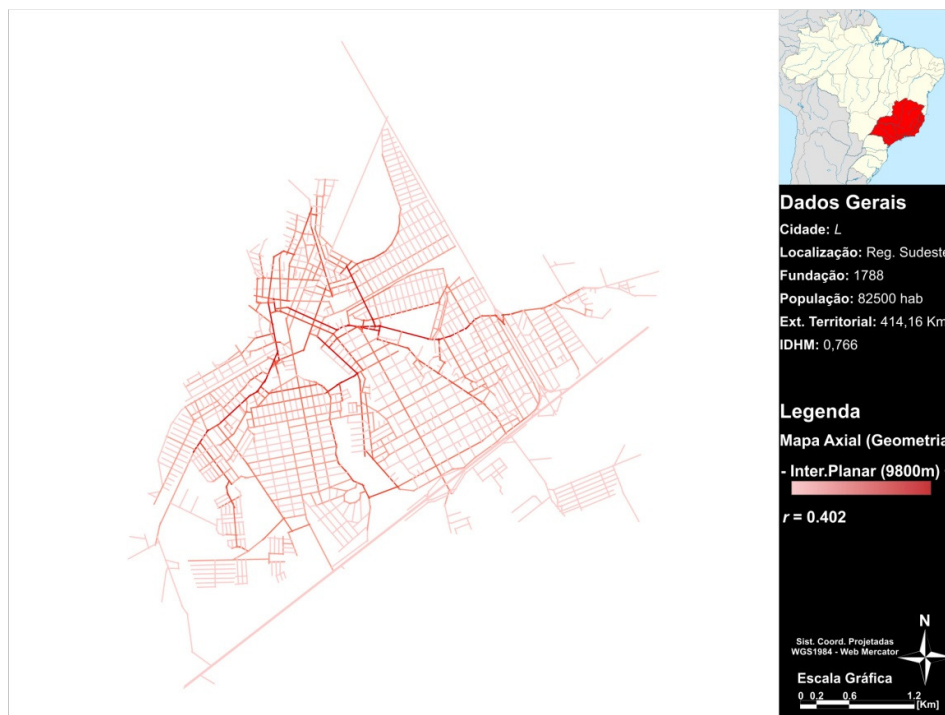


Figura 29 – Centralidade por *Intermediação Planar* geométrica com raio igual a 9.800 metros em L. A correlação da medida de diferenciação espacial com ocorrência de atividades econômicas é moderada/fraca ($r = 0,402$) (Fonte: elaboração própria).

Destarte, entre todos os valores de correlação obtidos nos testes sobre a representação espacial axial de L (tanto de forma geométrica quanto de forma topológica), é possível constatar que o modelo de centralidade por *Intermediação Planar* geométrica, com raio igual a 9.800 metros, é o que parece melhor descrever o fenômeno da distribuição de atividades econômicas na cidade, apresentando coeficiente de correlação Pearson $r = 0,402$.

5.1.2 – Experimentos: Representação Nodal

Na sequência, L foi representada na forma de um mapa nodal, composto por 1.701 vértices e 2.618 conexões. Utilizando a proximidade que cada uma das 2.736 atividades econômicas catalogadas na cidade possuem para os vértices da rede, obteve-se uma relação média $\bar{x} = 1,60$ atividades econômicas por entidade espacial. A variação da quantidade de atividades econômicas por vértice foi de 46 (para os vértices mais carregados) a zero (vértices que não abrigam nenhuma atividade). O valor do desvio padrão oriundo da quantidade de atividades econômicas por vértice da rede apresentou um valor notoriamente maior do que a média: $\sigma = 3,58$. Do total de atividades econômicas espacializadas, 28% localizam-se em apenas 2,52% dos vértices, apontando

para uma relação hierárquica exercida pelo espaço sobre as atividades econômicas extremamente severa.

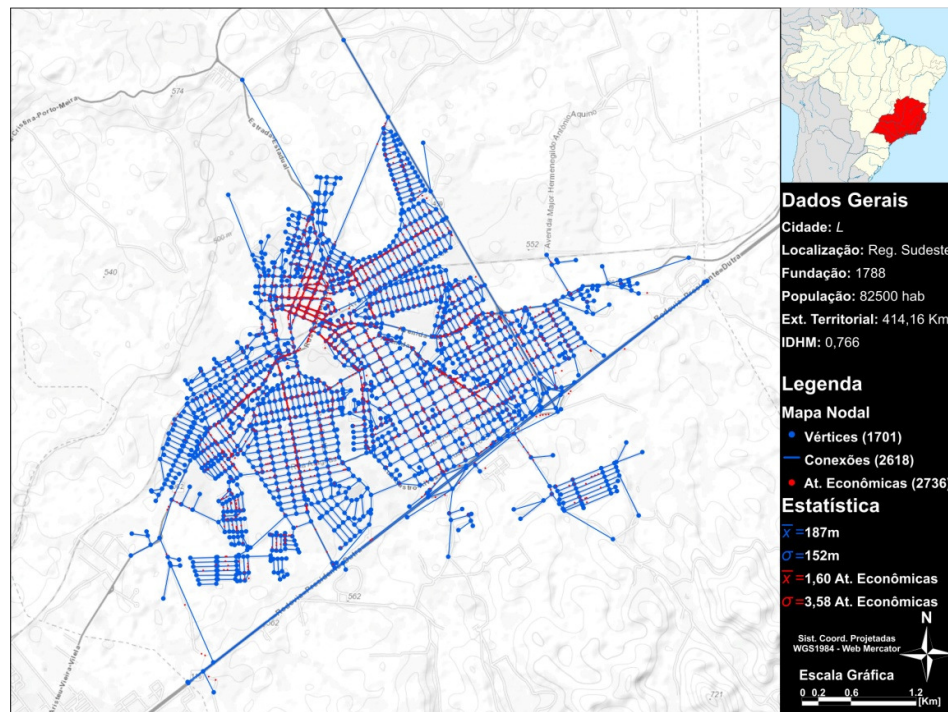


Figura 30 – Distribuição de atividades econômicas em L e sua representação espacial nodal (Fonte: elaboração própria).

A quantidade de atividades econômicas foi normalizada pela extensão da superfície de domínio de cada nó da representação espacial. Assim, a extensão das superfícies de domínio de cada nó (ou seja, a metade do somatório da extensão de cada conexão incidente sobre as entidades espaciais) apresentou comprimento médio $\bar{x} = 187$ metros e variância $var = 1.937$ metros. O desvio padrão do comprimento de cada superfície de domínio é $\sigma = 152$ metros e indica que os nós variam grandemente suas superfícies de domínio, sugerindo uma rede espacial com conexões de tamanhos desuniformes. Prosseguindo com o experimento, foram processados os modelos de centralidade propostos nessa pesquisa de forma geométrica e topológica. Depois de processados, foram excluídos do cálculo do coeficiente de correlação Pearson (r) aqueles vértices da rede que apresentavam valor de atividades econômicas nulo.

Geometricamente, 164 testes foram efetuados com a rede espacial nodal de L. Os processamentos foram executados considerando-se a rede global e local (i.e, com raios pré-estabelecidos). Como definido anteriormente, esses raios variaram de acordo com

uma progressão aritmética de razão igual a 300 metros, sendo que o primeiro teste foi efetuado com raio igual a 200 metros (200, 500, 800 metros... global).

Com cada nó da rede espacial nodal diferenciado em função de seu valor de centralidade, excluíram-se aqueles vértices que apresentavam valores de atividades econômicas iguais a zero. Sobre os vértices remanescentes foi realizada a comparação dos valores de centralidade e quantidade de atividades econômicas por extensão de suas respectivas superfícies de domínio com o coeficiente de correlação Pearson (r). Os valores de correlação Pearson (r) obtidos entre cada modelo de centralidade processado de forma geométrica sobre a rede espacial nodal de L e a quantidade de atividades econômicas normalizadas pela superfície de domínio de cada entidade espacial pode ser verificado na tabela 6³⁸ e no gráfico da figura 31, a seguir.

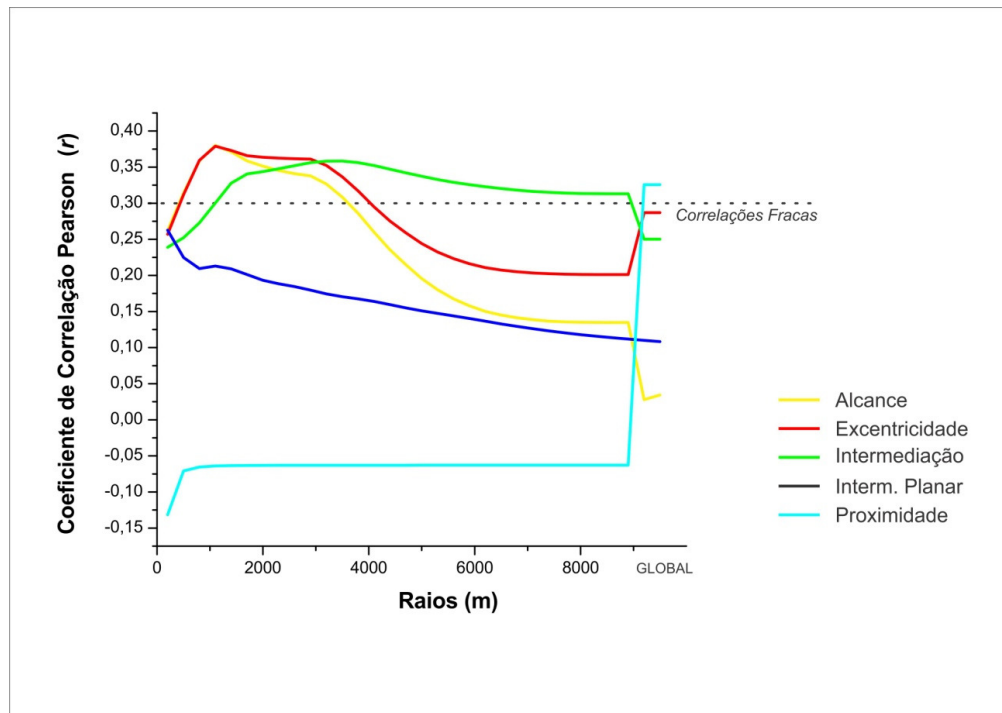


Figura 31 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede nodal de L (Fonte: elaboração própria).

Os dados apontam que poucos valores obtidos nessa etapa dos experimentos excedem o limiar que aponta para correlações Pearson mais do que fracas ou minimamente moderadas ($r > 0,3$). Dentre esses valores, destacam-se os resultados oriundos da aplicação dos modelos de centralidade por *Alcance* (linha amarela) e centralidade por

³⁸ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

Excentricidade (linha vermelha), ambos com raio igual a 1.100 metros. Respectivamente, cada um dos testes apresentou valores de correlação Pearson $r = 0,380$ e $r = 0,379$, sendo esses os dois mais altos valores verificados após todos os processamentos geométricos realizados sobre a rede espacial nodal de *L*.

Conforme o gráfico da figura 31, fica evidente que as curvas que apresentam os resultados de correlação Pearson (r) oriundas da aplicação dos modelos de centralidade por *Alcance* e centralidade por *Excentricidade* com a distribuição de atividades econômicas, possuem comportamentos similares. Ambas apresentam, inicialmente, tendência aguda de crescimento atingindo seus picos quando testadas com raios iguais a 1.100 metros. Na sequência, entram em tendência de queda, sendo que o modelo de centralidade por *Excentricidade* torna a ter uma brusca tendência de crescimento próximo ao raio igual a 9.200 metros, até estabilizar-se numa faixa de valores de correlação Pearson $r = 0,287$ (ou seja, correlação fraca, próxima ao limiar com correlações moderadas). Enquanto isso, o modelo de centralidade por *Alcance*, que vinha em decadência suave, sofre acentuada queda próximo ao raio igual a 9.200 metros, tendendo a estabilizar-se na zona do gráfico equivalente à correlações extremamente pouco representativas ($r = 0,034$). Já a curva que apresenta o comportamento dos resultados de correlação Pearson (r) obtidos após a aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação* (linha verde) apresenta um comportamento que, se comparado às anteriores, parece ser mais estável. A curva atinge, suavemente, um pico quando o teste é realizado utilizando-se raio igual a 3.200 e 3.500 metros ($r = 0,358$ – correlação fracamente moderada). Depois, percebe-se uma tendência de queda que se acentua fortemente quando aplica-se o modelo com raio igual a 8.900 metros ($r = 0,313$), a partir do qual parece ocorrer uma estabilização em torno de $r = 0,250$. Já o modelo de centralidade por *Intermediação Planar* (linha azul marinho) não parece, em nenhum momento quando aplicado sobre a rede espacial nodal de *L*, ser capaz de descrever, com algum rigor, o fenômeno da distribuição de atividades econômicas urbanas ($r > 0,3$). A curva que descreve o último modelo testado, ou o modelo de centralidade por *Proximidade* (linha azul ciano), indicou correlações com algum resquício de moderação quando processado com raios iguais ou superiores à 9.200 metros ($r = 0,326$). Assim, sobre a representação nodal de *L*, parece que os modelos de centralidade por *Intermediação Planar* e centralidade por *Proximidade* (processados de

maneira geométrica) são muito pouco suscetíveis à compreensão do fenômeno urbano estudado.

Também foram realizados 89 testes considerando a topologia da rede espacial nodal de *L*. Como realizado nos experimentos de forma geométrica, os modelos foram aplicados considerando-se diversos raios, i.e., de maneira local e global. Além dos testes globais, os testes locais foram efetuados partindo-se de um raio igual a dois passos topológicos e encerrando-se com raio igual a 50 passos topológicos, sempre respeitando uma progressão aritmética de razão igual a três. A tabela 7³⁹ e o gráfico da figura 32, demonstram esses resultados.

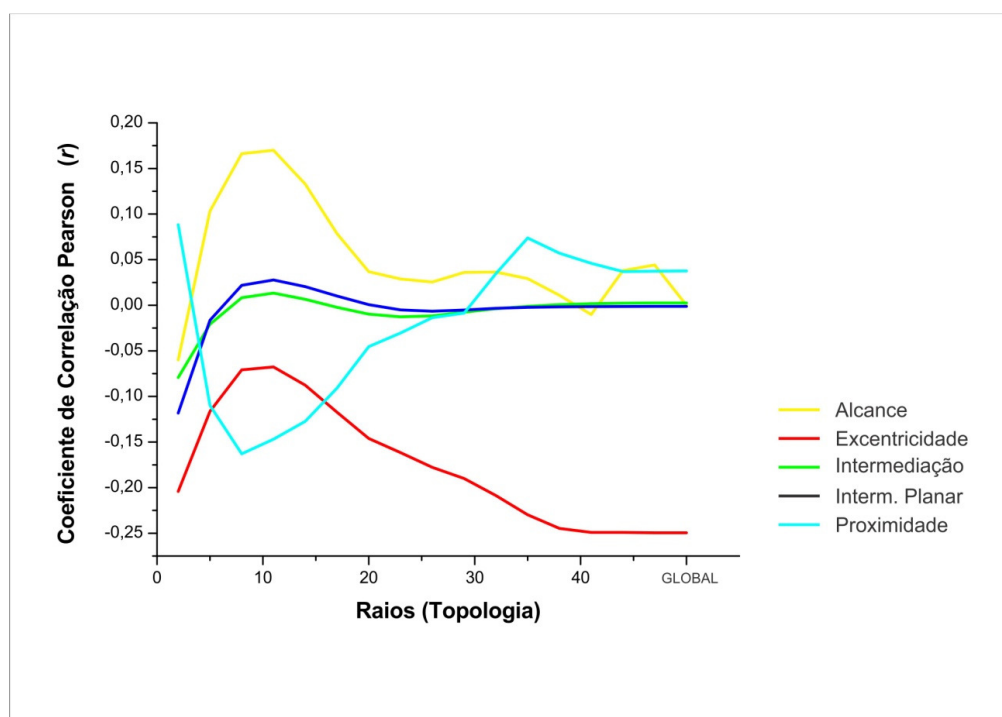


Figura 32 – Coeficientes de correlação Pearson (*r*) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede nodal de *L* (Fonte: elaboração própria).

Os valores de correção Pearson (*r*), verificados após a aplicação dos modelos de centralidade de forma topológica sobre a rede nodal de *L*, são, visivelmente, irrisórios. Nenhum deles excede os limites do intervalo $-0,3 > r > 0,3$ que denotam algum tipo de correlação, minimamente, moderada. Isso indica, fortemente, que o processamento topológico dos modelos de centralidade propostos nessa pesquisa sobre a representação

³⁹ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

nodal da cidade, tem pouca ou nenhuma relação com a maneira como as atividades econômicas tendem a se distribuir espacialmente sobre a zona urbana de *L*.

Portanto, comparando-se todos os resultados verificados após a aplicação dos modelos de centralidade propostos na pesquisa sobre a rede nodal de *L*, percebe-se que o modelo de centralidade que parece melhor capturar a distribuição de atividades econômicas urbanas na cidade é o modelo de centralidade por *Alcance* geométrica com raio igual a 1.100 metros ($r = 0,380$).

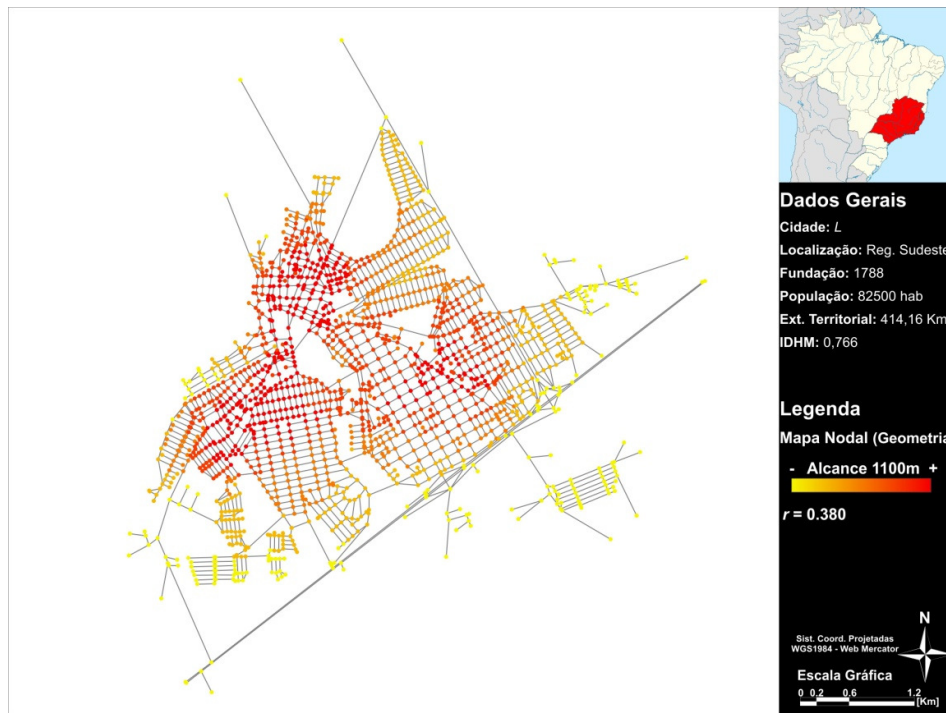


Figura 33 – Centralidade por *Alcance* geométrica com raio igual a 1.100 metros em *L*. A correlação da medida de diferenciação espacial com ocorrência de atividades econômicas é moderada/fraca ($r = 0,380$) (Fonte: elaboração própria).

5.1.3 – Experimentos: Representação por Trechos de Rua

O último experimento realizado com a cidade *L* transformou sua rede de ruas num mapa de trechos composto por 2.618 entidades espaciais, com comprimento médio $\bar{x} = 121$ metros. A variação no comprimento dos trechos foi de 2.476 a 10 metros ($var = 2.466$ metros), gerando um desvio padrão $\sigma = 140$ metros, o que indica uma sensível variabilidade no padrão de comprimento das entidades espaciais.

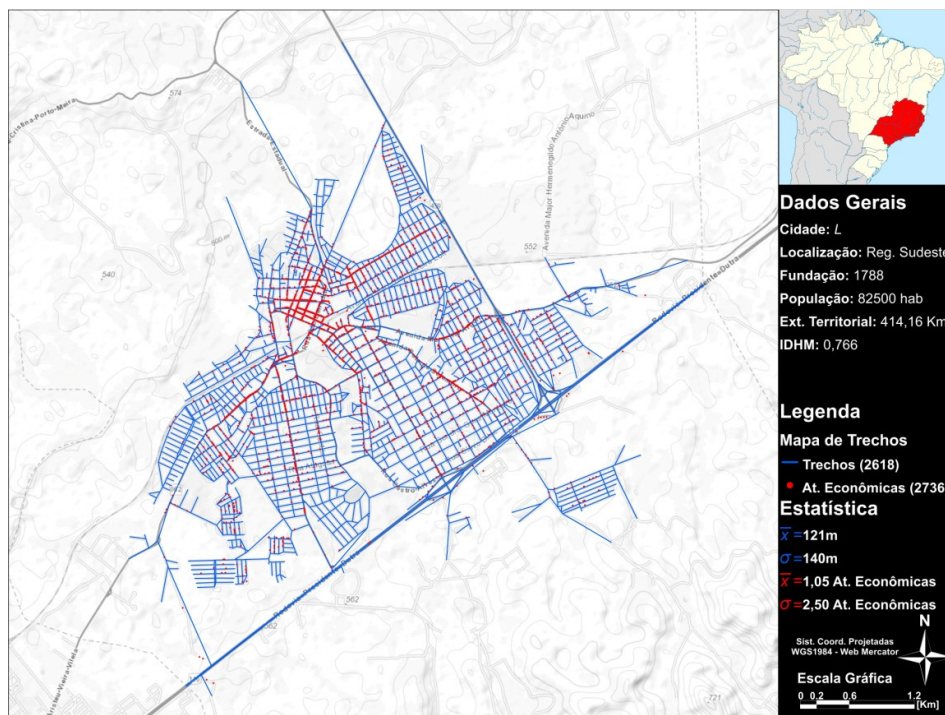


Figura 34 – Distribuição de atividades econômicas em L e sua representação espacial por trechos de rua (Fonte: elaboração própria).

As 2.736 atividades econômicas especializadas na cidade foram distribuídas, por proximidade, nos trechos de rua. Essa distribuição atribuiu, em média, $\bar{x} = 1,05$ atividades econômicas por entidade espacial. O desvio padrão da quantidade de atividades econômicas por trecho de rua é $\sigma = 2,50$, demonstrando que existem unidades espaciais com quantidades de atividades econômicas maiores do que o dobro da média. Isso está associado à variância entre os trechos de ruas com maior e o menor número de atividades econômicas: $var = 35$ estabelecimentos. Observa-se que cerca de 24% das atividades econômicas especializadas na cidade localizam-se em apenas 1,52% dos trechos de rua, o que implica uma hierarquia espacial extramamente rígida, que é verificada através da aplicação desse tipo de representação espacial.

Para o restante do procedimento metodológico, a quantidade de atividades econômicas foi normalizada pelo comprimento de cada trecho de rua, de forma que (no final do experimento) aqueles trechos de ruas que apresentavam valores de atividades econômicas nulos foram suprimidos dos cálculos correlacionais entre valor de centralidade e quantidade de atividades econômicas.

Os processamentos geométricos dos modelos propostos sobre a representação espacial por trechos de rua da cidade de L indicam que o modelo de centralidade por *Intermediação Planar* geométrica com raio igual a 2.600 metros apresenta a maior correlação Pearson ($r = 0,411$). Essa constatação se deu após a realização de 164 testes, aplicando-se os cinco modelos sugeridos na pesquisa e considerando-se processamentos globais e locais, i.e., com raios de busca pré-estabelecidos que variavam entre 200 e 9.500 metros, que foram se sucedendo conforme uma progressão aritmética de razão igual a 300 metros. A tabela 8⁴⁰ e o gráfico da figura 35, abaixo, ilustram esses testes.

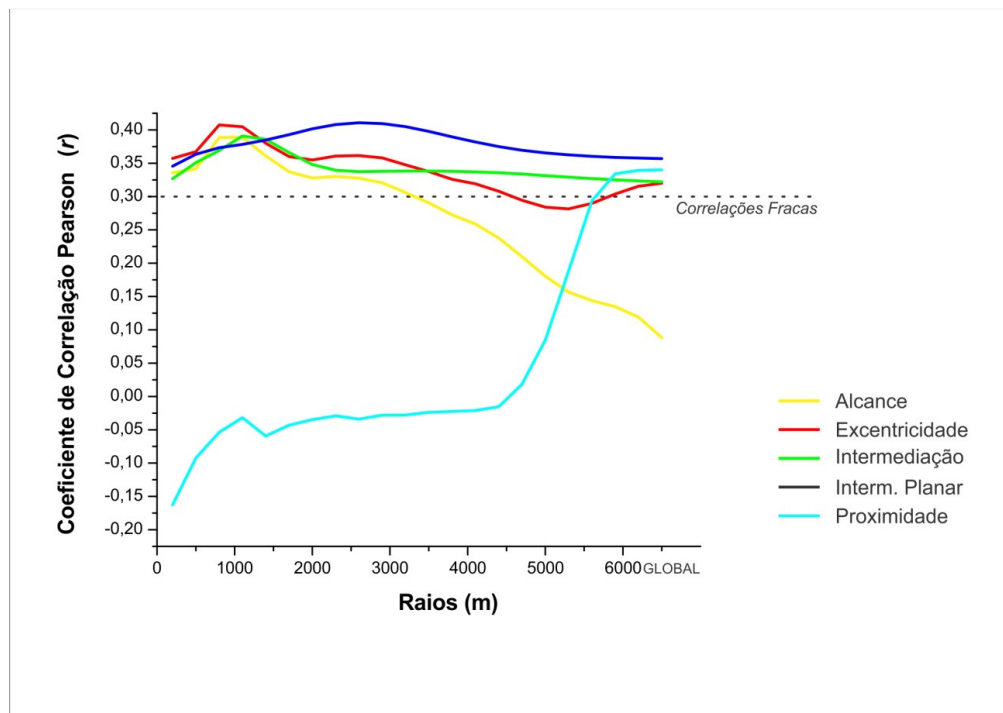


Figura 35 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede de trechos de rua de L (Fonte: elaboração própria).

Analisando-se o comportamento das curvas apresentadas acima e que descrevem os resultados de correlação Pearson (r) entre a quantidade de atividades econômicas alocadas por entidade espacial normalizadas por suas extensões e os valores de centralidade oriundos do processamento geométrico dos modelos de centralidade sobre a rede espacial definida pelos trechos de rua de L , percebe-se que parte substancial dos valores localizam-se acima da linha que indica correlações minimamente moderadas (linha pontilhada no gráfico da figura 35). Isso parece sugerir que a representação

⁴⁰ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

especial por trechos de rua consegue, com maior rigor do que a representação espacial axial e do que a representação espacial nodal, melhor descrever o fenômeno da distribuição de atividades econômicas na cidade *L*.

Nos primeiros experimentos com essa representação espacial sendo processada de forma geométrica, pode-se notar que os modelos de centralidade por *Alcance* (linha amarela), centralidade por *Excentricidade* (linha vermelha) e centralidade por *Intermediação* (linha verde) se comportam de maneira parecida. Os três modelos apresentam uma forte tendência de crescimento, atingindo seus picos, respectivamente, com raios iguais a 800 metros (para os dois primeiros – $r = 0,389$ e $r = 0,407$) e 1.100 metros para o último ($r = 0,391$). Na sequência, os modelos de centralidade por *Excentricidade* e centralidade por *Intermediação* entram em ligeira queda, estabilizando-se na faixa do gráfico que sugere correlações sutilmente moderadas ($r = 0,338$ e $r = 320$, respectivamente). Enquanto isso, a curva equivalente aos valores de correlação Pearson (r), obtidos com a aplicação do modelo de centralidade por *Alcance*, entra em franca tendência de queda, parecendo se estabilizar na zona do gráfico que indica ausência de correlações ($r = 0,02$). Já os resultados verificados após a aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação Planar* parecem estar estáveis ao longo de todos os testes (curva azul marinho). A curva atinge seu pico quando o modelo é processado considerando-se um raio igual a 2.600 metros ($r = 0,411$). Depois, apresenta leve tendência de queda e estabiliza-se na faixa correlacional que gira em torno de $r = 0,337$. Por sua vez, o modelo de centralidade por *Proximidade* (linha azul ciano) fica instável durante grande parte dos experimentos, apresentando forte tendência de crescimento, somente quando se alcança raio igual a 4.400 metros, estabilizando-se na faixa do gráfico com valor de $r = 0,337$. Assim, configura-se um cenário no qual o modelo de centralidade por *Intermediação Planar* geométrica com raio igual a 2.600 metros é o que gera o maior valor de correlação Pearson (r) com a distribuição de atividades econômicas da cidade *L*, descrita na forma de uma rede de trechos de rua.

Por outro lado, foram processados 89 testes considerando-se a topologia da rede espacial definida por trechos de rua de *L*. Nenhum desses apontou para correlações significativas entre a distribuição de atividades econômicas e os modelos de centralidade aplicados. Como ocorrido nos testes realizados de forma topológica sobre a rede nodal de *L*, novamente, nenhum dos valores conseguiu superar os limiares de $-0,3 > r > 0,3$, i.e., não foi detectado (com esse tipo de processamento de distâncias sobre a

rede espacial formada por trechos de rua de L) nenhum valor de correlação minimamente moderado, conforme pode ser observado na tabela 9⁴¹ e no gráfico da figura 36, na sequência.

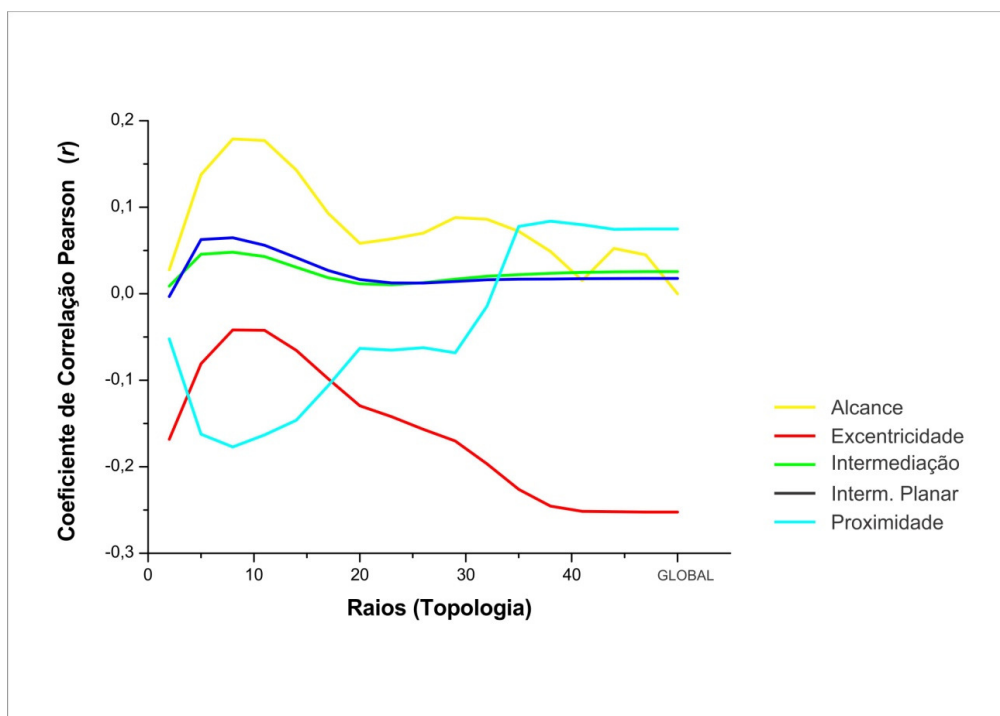


Figura 36 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede de trechos de rua de L (Fonte: elaboração própria).

Esses resultados permitem afirmar que entre todos os modelos processados sobre a rede espacial formada pelos trechos de rua da cidade L , parece que o mais adequado à compreensão do fenômeno da distribuição de atividades econômicas sobre a cidade é o modelo de centralidade por *Intermediação Planar* geométrica, com raio igual a 2.600 metros ($r = 0,411$).

Concluindo essa etapa dos experimentos, pode-se perceber que os testes realizados sobre as três redes espaciais de L indicam que o comportamento locacional dos agentes econômicos nessa cidade parece estar associado àqueles espaços que apresentam os maiores valores de centralidade por *Intermediação Planar*, quando esse modelo é processado de forma geométrica sobre uma rede espacial definida por trechos de rua com raio igual a 2.600 metros, pois de acordo com os testes efetuados sobre essa cidade, foi esse o cenário que apresentou o valor correlacional mais expressivo ($r = 0,411$).

⁴¹ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.



Figura 37 – Centralidade por *Intermediação Planar* geométrica com raio 2.600m em L. A correlação da medida de diferenciação espacial com as atividades econômicas é moderada tendendo a fraca ($r = 0,411$) (Fonte: elaboração própria).

5.2 – Estudo de Caso 2: P

P é um município costeiro com extensão territorial de, aproximadamente, 925,00Km². Sua população estimada, em 2014, era de cerca de 40.000 habitantes (IBGE, 2014). Seu acesso se dá, principalmente, por uma rodovia localizada na extremidade oeste da zona urbana (Rodovia na cor laranja, na imagem da figura 38, a seguir). O município é notoriamente conhecido por explorar economicamente seu caráter turístico e histórico. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é de 0,693 (IBGE, 2014).

O auge de P deu-se por volta do século XVIII, quando a cidade possuía um dos portos mais importantes para o escoamento de metais nobres para a Europa e a entrada de escravos na América. Atualmente, parte significativa da economia da cidade deriva da exploração desse passado histórico e das belezas naturais encontradas nas praias e ilhas que pertencem ao município. O antigo centro da cidade, com seu desenho de ruas e edificações inspiradas na arquitetura portuguesa, é um lugar muito procurado por turistas que costumam fazer visitas ao patrimônio histórico, artístico e cultural da localidade.

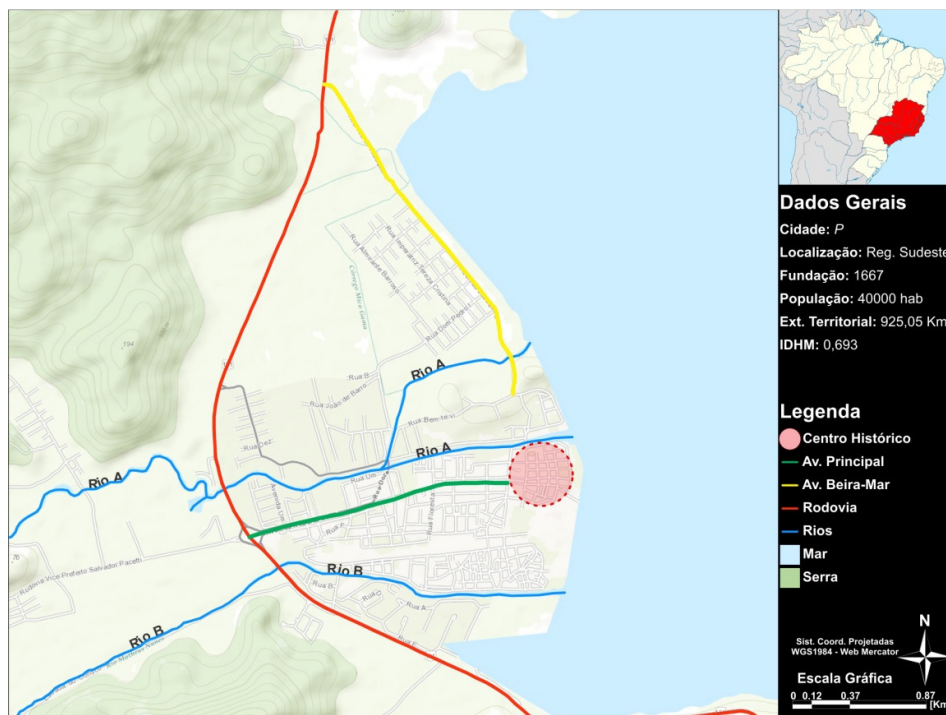


Figura 38 – Área urbana de P. Em destaque aspectos naturais, o centro histórico e as vias que estruturam a dinâmica espacial da cidade (Fonte: elaboração própria).

A cidade espreme-se numa faixa de relevo amigável, localizada entre uma serra e uma baía. Assim, a zona urbana localiza-se numa situação de relevo bastante plana, estando majoritariamente assentada entre o mar e o limite definido pela rodovia de acesso (na cor laranja na figura 38). A forma urbana da cidade apresenta, claramente, quatro núcleos distintos definidos pelo leito de dois rios (Rios “A” e “B” na imagem da figura 38) que deságuam no mar. O primeiro deles, ou centro histórico, localiza-se na extremidade leste da cidade, entre os rios e a faixa litorânea. O espaço público desse setor apresenta ruas estreitas, definidas por edificações construídas no alinhamento e um traçado que busca a ortogonalidade.

A oeste dessa porção ocorre um trecho de cidade estruturado por uma avenida (Avenida Principal, na cor verde, na imagem da figura 38) que liga o centro histórico ao acesso mais importante da cidade (Rodovia na cor laranja, na imagem da figura 38) e que, aparentemente, funciona como o centro de comércios e serviços, atualmente. Ao sul, no setor próximo à rodovia de acesso e adjacente à margem norte do rio “B”, ocorre um núcleo urbano com traçado irregular, fruto de uma partição fundiária desordenada, notoriamente ocupado por uma parcela da população mais carente. Finalmente, na porção norte, acima do rio “A”, surge um núcleo urbano com desenho ortogonal,

dirigido pelo traçado de uma avenida Beira-Mar (na cor amarela, na imagem da figura 38). Ultimamente, parece que a expansão urbana de *P* tende a ocorrer exatamente nesta direção, onde novos núcleos urbanos têm surgido, especialmente através de áreas com caráter residencial, voltadas ao público que veraneia na cidade no período de temporada.

5.2.1 – Experimentos: Representação Axial

P foi representada na forma de um mapa axial composto por 457 linhas. A extensão média de cada linha é de, aproximadamente, $\bar{x} = 188$ metros e o desvio padrão é de $\sigma = 186$ metros. A maior linha axial possui 1.822 metros e a menor 19.

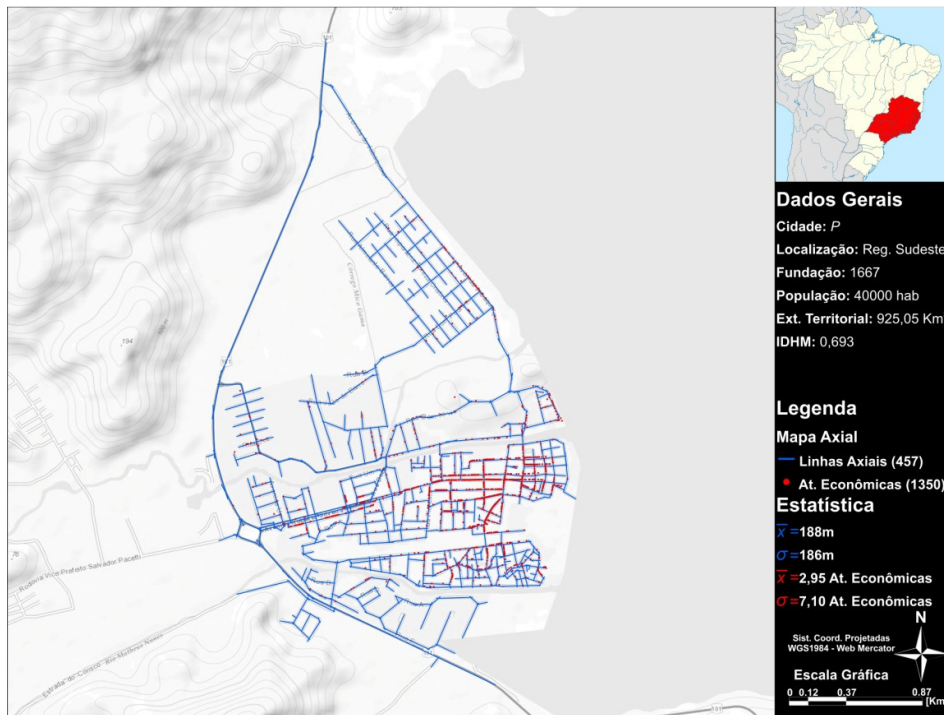


Figura 39 – Distribuição de atividades econômicas em *P* e sua representação espacial axial (Fonte: elaboração própria).

A contagem de atividades econômicas na zona urbana do município totalizou 1.350 estabelecimentos. Utilizando-se técnicas de geoprocessamento, cada uma das atividades econômicas computadas na cidade foi associada a uma linha axial por proximidade.

Na média, cada linha axial apresenta 2,95 atividades econômicas, sendo que a linha axial mais carregada com atividades econômicas possui 83 estabelecimentos. O desvio padrão da quantidade de atividades econômicas por linhas axiais é $\sigma = 7,09$, sugerindo uma grande variação entre a quantidade de atividades econômicas associadas pelas

linhas axiais. Na representação espacial por linhas axiais de P , 7,65% das entidades espaciais concentram 58% das atividades econômicas da cidade (ou 787 unidades).

Visando minimizar o efeito causado pela dimensão das linhas axiais, e repetindo o passo metodológico aplicado ao estudo de caso anterior, normalizou-se o valor da quantidade de atividades econômicas pelo comprimento de cada linha axial. Em seguida, foram processados os modelos de centralidade propostos nessa pesquisa, levando-se em consideração a geometria e a topologia da rede espacial urbana e, excetuando-se aquelas linhas axiais que possuíam valor de atividades econômicas igual a zero, foi realizada a comparação dos valores de centralidade com os valores derivados da quantidade de atividades econômicas por comprimento de cada linha axial, aplicando-se o coeficiente de correlação Pearson (r). Os modelos de centralidade propostos foram processados de forma local e global. Localmente, os raios pré-estabelecidos respeitavam uma progressão aritmética de razão igual a 300 metros (para os testes geométricos) e três passos topológicos (para os processamentos que consideravam a topologia da rede espacial axial). Como nos testes anteriores, o primeiro valor de raio testado geometricamente foi de 200 metros. Já para a topologia da rede foram testados, inicialmente, modelos com raio igual a dois passos topológicos.

De forma geométrica, foram levados a cabo um total de 104 testes sobre a rede espacial axial de P . Localmente, as dimensões da rede proporcionaram testes com raios que variaram entre 200 e 5.900 metros.

Após o processamento geométrico de cada modelo de centralidade proposto nessa pesquisa, local e globalmente, foram excluídas aquelas linhas axiais com quantidade de atividades econômicas associadas nula. No restante das linhas axiais (i.e., aquelas que possuíam alguma atividade econômica associada) foi aplicado o coeficiente de correlação Pearson (r), a fim de se verificar o grau correlacional entre as variáveis quantidade de atividades econômicas e centralidades obtidas pelo processamento geométrico da rede espacial axial da cidade. Tais valores podem ser visualizados na tabela 10⁴² e no gráfico da figura 40, adiante.

O gráfico da figura 40 indica, pela primeira vez nessa pesquisa, a ocorrência de valores de correlação Pearson $r > 0,5$. Isso aponta que ocorrem correlações mais do que moderadas (observe linha pontilhada superior no gráfico da figura 40).

⁴² A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

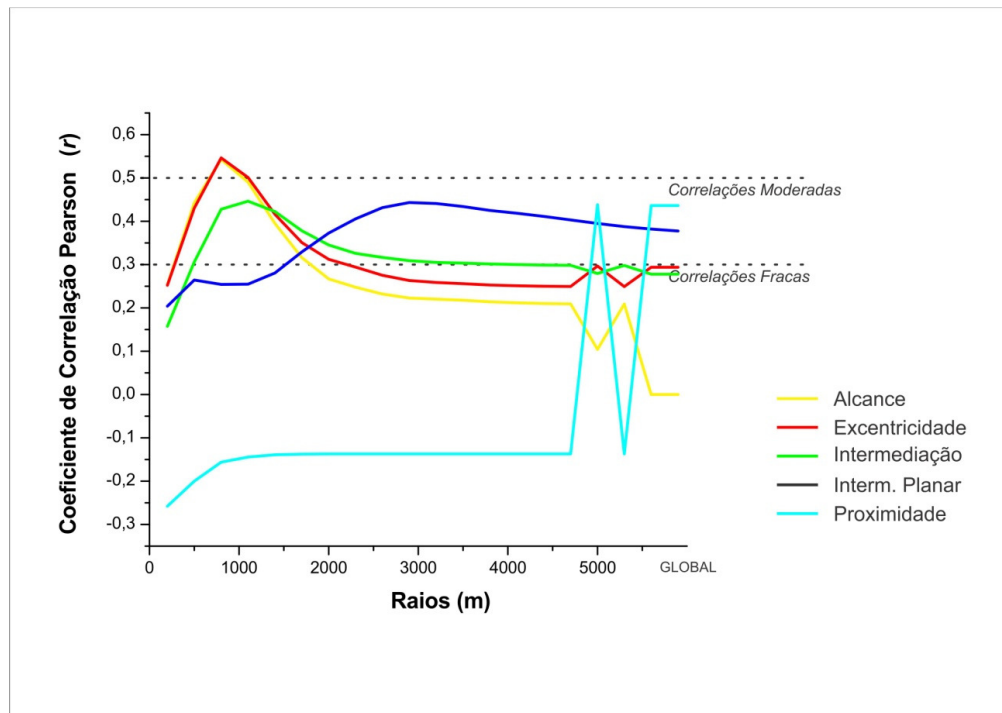


Figura 40 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede axial de P (Fonte: elaboração própria).

As curvas que descrevem os coeficientes de correlação Pearson (r), obtidas após a aplicação de cada modelo de centralidade, indicam que o valor mais representativo de correlação verificado sobre a rede espacial axial de P (processada de forma geométrica), é oriundo da aplicação do modelo de centralidade por *Excentricidade*, com raio igual a 800 metros ($r = 0,546$), conforme pode ser observado na linha vermelha do gráfico da figura 40. Muito próximo a esse valor, a aplicação do modelo de centralidade por *Alcance* com raio igual a 800 metros também apresenta um significativo valor de correlação Pearson $r = 0,543$ (pico da linha amarela no gráfico da figura 40). Ambas as curvas apresentam comportamento similar, sendo que inicialmente são caracterizadas por atingirem o pico de forma bastante aguda. Na sequência sofrem uma queda suave até diferenciarem-se nos resultados obtidos após a aplicação dos modelos com raio igual a 4.700 metros. Nesse setor, a curva que descreve os resultados obtidos pela aplicação do modelo de centralidade por *Alcance* apresenta franca tendência de queda, atingindo a faixa do gráfico que descreve correlações extremamente frágeis ($r = 0,00$). Ao mesmo tempo, a curva que descreve os resultados verificados depois da utilização do modelo de centralidade por *Excentricidade* tem pequena oscilação, mas estabiliza-se na zona próxima ao limiar de correlações fracas e moderadas ($r = 0,294$).

A curva que descreve o comportamento dos resultados de correlação Pearson (r), obtidos após a aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação* (linha verde), apresenta um perfil semelhante ao das duas curvas citadas anteriormente. Existe uma clara tendência de crescimento nos resultados obtidos após os primeiros testes, que culmina numa correlação Pearson $r = 0,446$ (com raio igual a 1.100 metros). Na sequência, existe uma tendência suave de queda, até que os resultados parecem se estabilizar próximos à zona do gráfico que indica o limite entre correlações fracas e moderadas ($r = 0,278$). A curva que descreve os resultados verificados após a aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação Planar* (azul marinho) está, praticamente, em toda sua extensão localizada na faixa correlacional $r > 0,3$. A curva, inicialmente, apresenta sutil tendência de crescimento, atingindo seu ápice quando o modelo é processado, utilizando-se raio igual a 2.900 metros ($r = 0,443$). Depois, a curva entra em tênue queda, até estabilizar-se em $r = 0,328$ (correlações fragilmente moderadas). Por sua vez, a curva que descreve a aplicação do modelo de centralidade por *Proximidade* (azul ciano) está, durante a maior parte dos testes, localizada abaixo da faixa correlacional que aponta para correlações minimamente moderadas ($r > 0,3$). Nos últimos experimentos existe uma clara oscilação, depois que a curva atinge seu pico ($r = 0,438$ para um raio de 5.000 metros) e cai na sequência, bruscamente, para um valor correlacional $r = -0,137$. Torna a ter uma tendência explícita de crescimento e estabiliza-se na faixa do gráfico com valores de correlação Pearson $r = 0,436$, sugerindo a existência de uma correlação moderada, tendendo a fraca.

Assim, observa-se que geometricamente, a rede espacial axial de P apresenta maior valor correlacional entre a distribuição de atividades econômicas e centralidades, quando processada com o modelo de centralidade por *Excentricidade* com raio igual a 800 metros ($r = 546$).

Considerando-se a topologia da rede espacial axial de P , foram realizados 54 testes. O diâmetro da rede axial de P é superado quando se processam os modelos de centralidade propostos com raio superior a 29 passos topológicos. Assim, foram testados modelos de forma local, considerando raios que variavam entre dois e 29 passos topológicos, além daquele executado de maneira global. A tabela 11⁴³ e o gráfico da figura 41, na sequência, exibem os resultados de correlação Pearson (r) entre a quantidade de

⁴³ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

atividades econômicas por extensão da linha axial e valores de centralidades processadas de maneira topológica.

O gráfico permite concluir que entre todos os testes processados de forma topológica sobre a rede axial de P , uma quantidade mínima apresenta correlações mais do que fracas, i.e., apresentam $r > 0,3$ (superior a linha pontilhada no gráfico da figura 41). Apenas os coeficientes de correlação Pearson (r), oriundos da aplicação dos modelos de centralidade por *Alcance* (linha amarela) e centralidade por *Proximidade* (linha azul ciano), apresentam valores $r > 0,3$. Isso sugere que esse tipo de processamento é menos sensível ao fenômeno estudado do que o processamento geométrico realizado sobre o mesmo tipo de representação espacial da cidade.

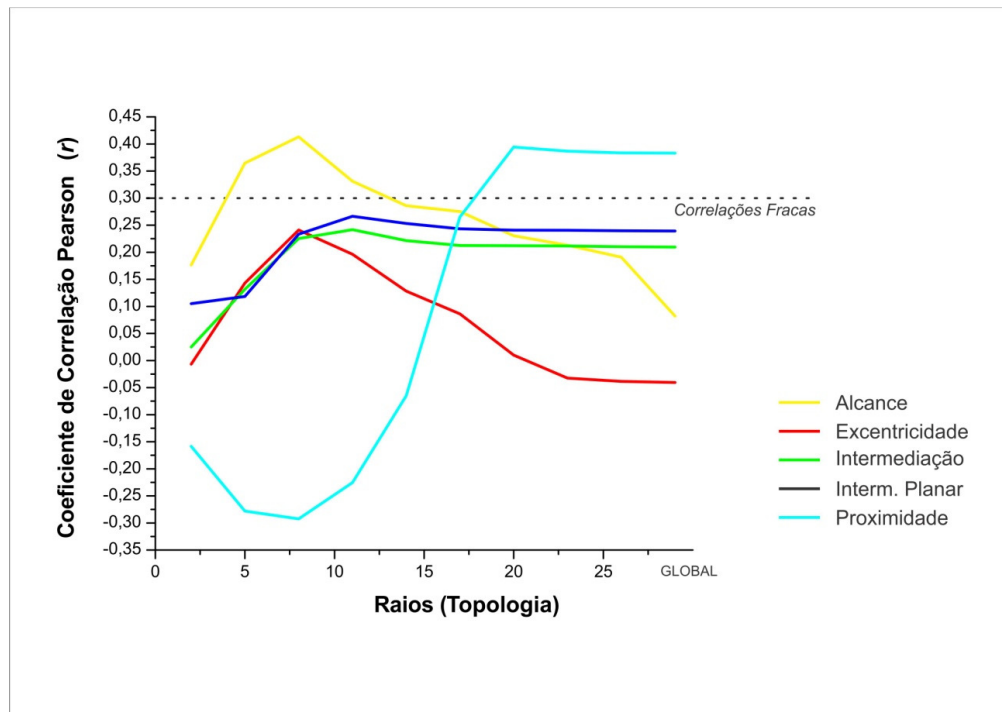


Figura 41 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede axial de P (Fonte: elaboração própria).

A curva equivalente aos valores de correlação Pearson (r) obtida após a aplicação do modelo de centralidade por *Alcance* (linha amarela), apresenta um comportamento caracterizado por uma brusca tendência de crescimento, originada nos primeiros testes e, logo após alcançar seu ápice (quando o modelo é testado utilizando-se raio igual a oito passos topológicos, $r = 0,413$), uma forte tendência de queda que apresenta valor de correlação Pearson $r = 0,082$, quando testado com raio igual a 29 passos topológicos. Já

a curva que descreve os valores de correlação Pearson (r), advindos da aplicação do modelo de centralidade por *Proximidade* (curva azul ciano), apresenta um perfil que consegue, muito fragilmente, superar os limites do intervalo $-0,3 > r > 0,3$ (correlações fracas). A curva praticamente tangencia o limite inferior desse intervalo quando o modelo é processado, considerando-se raio igual a oito passos topológicos ($r = -0,292$). Finalmente, consegue superá-lo, quando processado com raio igual a 20 passos topológicos ($r = 0,394$). Na sequência, os resultados obtidos pela aplicação desse modelo estabilizam-se na zona do gráfico que apresenta correlações fracamente moderadas ($r = 0,383$). Dessa maneira, fica claro que entre todos os testes realizados de forma topológica sobre a rede espacial axial de P , o modelo de centralidade por *Alcance* com raio igual a oito passos topológicos parece ser o mais capaz de indicar a maneira como as atividades econômicas urbanas se distribuem pela cidade ($r = 0,413$).

Ao fim dos experimentos com a rede espacial axial de P , percebe-se que existe alguma similaridade no perfil das curvas dos gráficos das figuras 40 e 41. Porém, nessa etapa dos experimentos, é notável que os valores mais expressivos são oriundos da aplicação dos modelos de centralidade processados de forma geométrica.



Figura 42 – Centralidade por *Excentricidade* geométrica com raio 800 metros em P . A correlação da medida de diferenciação espacial com as atividades econômicas é moderada tendendo a forte. ($r = 0,546$) (Fonte: elaboração própria).

Comparando-se os valores absolutos, percebe-se que, entre todos os testes realizados com a rede espacial axial da cidade, tanto de maneira geométrica quanto de maneira topológica, o modelo de centralidade por *Excentricidade* geométrica, com raio igual a 800 metros, é o que apresenta o maior valor de correlação Pearson (r) entre a quantidade de atividades econômicas normalizadas pela extensão de cada linha axial e suas respectivas centralidades ($r = 0,546$). Seu valor sugere, com algum rigor, que os espaços menos excêntricos da cidade são os que conseguem concentrar a maior quantidade de estabelecimentos que geram algum tipo de atividade econômica.

5.2.2 – Experimentos: Representação Nodal

Prosseguindo os experimentos realizados com a cidade P , foram realizados testes de centralidade sobre a representação espacial nodal da cidade. O mapa de nós de P é composto por 516 vértices e 709 conexões. Os 1.350 pontos com a localização de cada atividade econômica na cidade foram distribuídos, em função da proximidade, entre os nós da rede que, em média, possuem $\bar{x} = 2,61$ atividades econômicas. O desvio padrão da distribuição de atividades econômicas por nós é $\sigma = 4,99$, o que sugere uma significativa incidência de nós na rede que possuem, praticamente, mais do que o dobro de estabelecimentos do que a média. A extensão de cada superfície de domínio dos nós da rede (definida em função da metade do somatório das extensões das conexões incidentes sobre as respectivas entidades espaciais) tem, em média, $\bar{x} = 148$ metros e um desvio padrão de $\sigma = 147$ metros. De acordo com a distribuição das atividades econômicas, verifica-se que 48% delas estão alocadas em 7,5% dos nós da representação espacial.

Normalizou-se a quantidade de atividades econômicas por entidade espacial em função da extensão da superfície de domínio de cada nó da rede espacial nodal. Como citado anteriormente, esse procedimento consiste na divisão do número de atividades econômicas definidas em função da proximidade para cada nó da representação espacial pela metade do somatório da extensão das conexões incidentes sobre cada entidade espacial. Na sequência, foram processados os modelos de diferenciação espacial apresentados nessa pesquisa, geométrica e topologicamente. Finalmente, excluindo-se aqueles vértices que apresentam quantidade de atividades econômicas igual a zero, realizou-se a aplicação do coeficiente de correlação Pearson (r), comparando os

resultados obtidos pela aplicação dos modelos de centralidade com a quantidade de atividades econômicas alocadas em cada nó da rede.

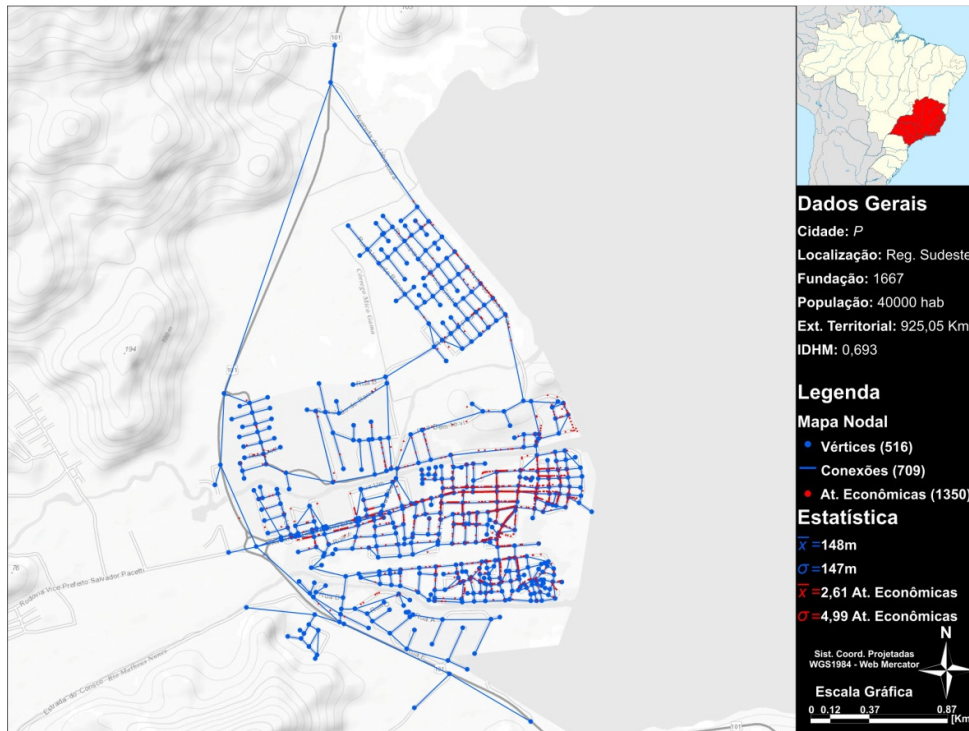


Figura 43 – Distribuição de atividades econômicas em P e sua representação espacial nodal (Fonte: elaboração própria).

Ao todo, foram realizados 99 experimentos que processaram a rede espacial nodal de P de forma geométrica. Os testes locais foram realizados com raios que variaram entre 200 e 5.600 metros, sempre respeitando uma progressão aritmética de razão igual a 300 metros.

Depois de preparar o experimento, associando a cada nó da representação espacial uma quantidade de atividades econômicas normalizada pela respectiva extensão de sua superfície de domínio, os modelos propostos nessa pesquisa foram aplicados. Excluídas aquelas entidades espaciais que não apresentavam nenhuma atividade econômica associada, partiu-se para a aplicação do coeficiente de correlação Pearson (r), a fim de se obter valores correlacionais entre a distribuição de atividades econômicas e os diversos modelos de centralidade propostos. Os resultados obtidos podem ser vistos na tabela 12⁴⁴ e no gráfico da figura 44, abaixo.

⁴⁴ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

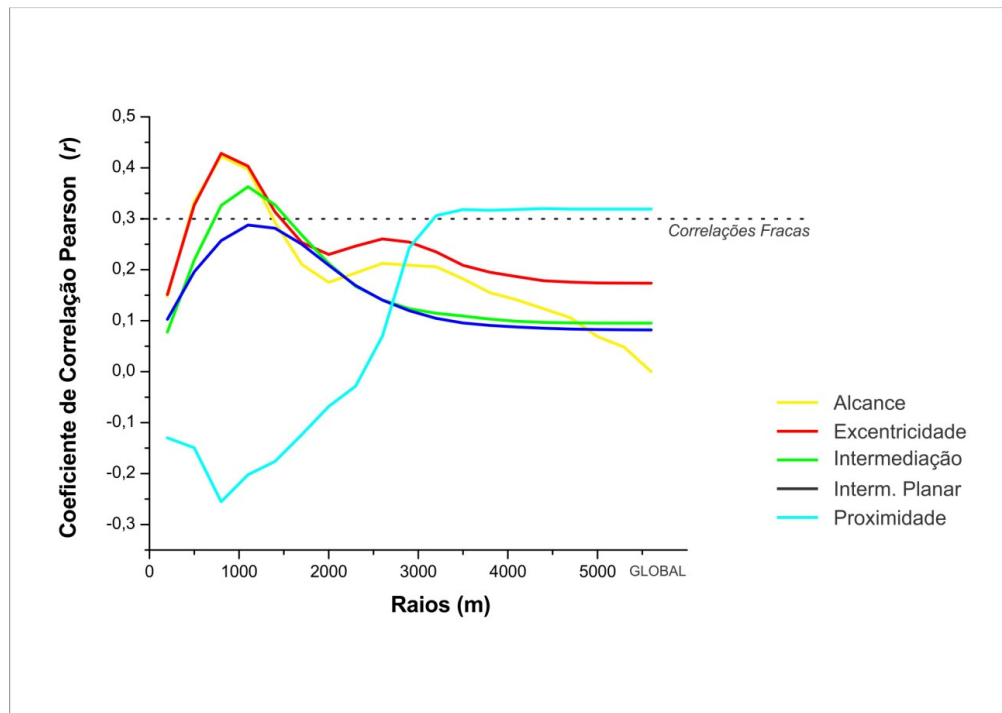


Figura 44 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede nodal de P (Fonte: elaboração própria).

Os resultados obtidos sugerem que, para os processamentos geométricos de medidas de diferenciação espacial sobre a representação espacial nodal de P , apenas o processamento do modelo de centralidade por *Intermediação Planar* (linha azul marinho) não conseguiu superar o limite $r > 0,3$, ou seja, não apresentou correlações minimamente moderadas.

Parece haver uma similaridade entre o gráfico de correlações Pearson (r) obtidas nos experimentos com a representação espacial axial de P (processada de maneira geométrica) e o gráfico que apresenta as curvas que descrevem os resultados correlacionais obtidos sobre a representação nodal processada de forma geométrica da cidade (figura 44), com exceção feita ao comportamento da curva que descreve a aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação Planar*. Percebe-se que, novamente, é notório que os modelos de centralidade por *Alcance* (linha amarela) e centralidade por *Excentricidade* (linha vermelha) se comportam de forma bastante semelhante. Ambas as curvas apresentam, nos primeiros testes, uma aguda tendência de crescimento. Quando os modelos são testados com raio igual a 800 metros, ambos atingem seus picos: para o modelo de centralidade por *Alcance*, obtém-se correlação Pearson $r = 0,423$ e, para o modelo de centralidade por *Excentricidade*, um valor de

correlação Pearson $r = 0,428$. Ambos os valores apontam para correlações com, no mínimo, tendência à moderação. Essas são as duas mais expressivas correlações obtidas nessa etapa dos experimentos. Depois, as duas curvas entram em tendência suave de queda, apresentando alguma oscilação no perfil, quando testadas com raios localizados entre, aproximadamente, 2.000 e 2.900 metros. O modelo de centralidade por *Excentricidade* torna-se estável na zona do gráfico que indica correlações fracas ($r = 0,174$), enquanto que o modelo de centralidade por *Alcance* tem queda até o coeficiente de correlação Pearson $r = 0,00$ (correlações extremamente fracas). O caso dos modelos de centralidade por *Intermediação* (linha verde) e centralidade por *Intermediação Planar* também é parecido. As curvas com os resultados de coeficiente de correlação Pearson (r), obtidas para esses modelos, são praticamente idênticas. Elas apresentam, nos primeiros experimentos, tendência de crescimento. Atingem seus respectivos picos com raio igual a 1.100 metros. Para o modelo de centralidade por *Intermediação*, esse pico equivale a um valor de correlação Pearson $r = 0,363$ (correlação minimamente moderada). Já para o modelo de centralidade por *Intermediação Planar*, a correlação tem valor Pearson $r = 0,288$ (correlação fraca tendendo à moderação). Na sequência, as curvas apresentam suave tendência de queda e estabilizam-se na faixa correlacional próxima a $r = 0,085$ (correlações muito fracas). Por sua vez, a curva que descreve os coeficientes de correlação Pearson (r), verificados após a utilização do modelo de centralidade por *Proximidade* (linha azul ciano), apresenta, aproximadamente até a metade dos experimentos, valores correlacionais $r < 0,3$. Somente quando se processa o modelo sobre a representação espacial nodal da cidade com raio igual a 3.200 metros é que se obtém um valor de correlação Pearson (r) que sugere algum tipo de correlação, ainda assim, fracamente moderada ($r = 0,306$). A curva que descreve os valores de correlação Pearson (r) desse modelo passa, então, a apresentar um comportamento estável, chegando a apresentar nos últimos experimentos, valores de correlação $r = 0,319$ (correlações minimamente moderadas).

Portanto, nos testes realizados sobre a rede espacial nodal de P , processada de forma geométrica, o valor mais expressivo de correlação Pearson (r) verificado foi obtido com a aplicação do modelo de centralidade por *Excentricidade* com raio igual a 800 metros ($r = 0,428$). Porém, é necessário ressaltar que esse valor foi seguido de perto pelo resultado da correlação Pearson (r) equivalente à aplicação do modelo de centralidade por *Alcance* geométrico, com raio também igual a 800 metros ($r = 0,423$), indicando

que tal modelo também parece se apresentar, com algum rigor, capaz de descrever o fenômeno urbano estudado nessa pesquisa.

Seguindo a mesma metodologia e considerando-se a topologia da rede espacial nodal de P , foram realizados 64 experimentos. Neles, os raios utilizados na aplicação dos modelos de centralidade propostos variaram entre dois e 35 passos topológicos (sempre respeitando uma progressão aritmética de razão igual a três). Além desses, também foram testados os modelos de centralidade de forma global. A tabela 13⁴⁵ e o gráfico da figura 45 condensam os valores de correlação Pearson (r) obtidos.

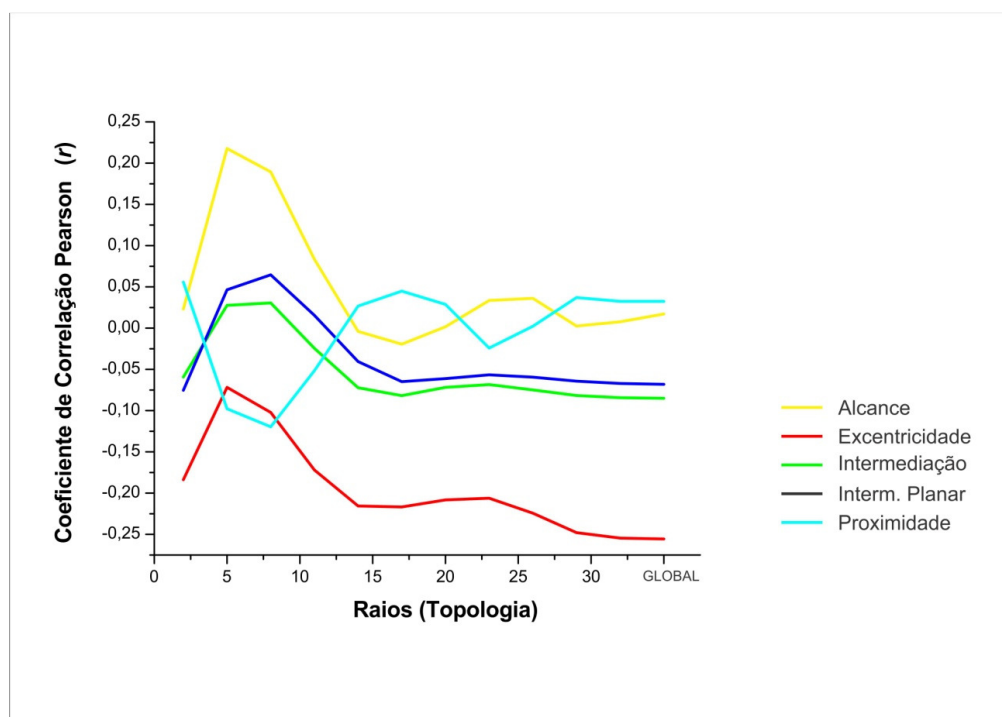


Figura 45 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede nodal de P (Fonte: elaboração própria).

Esses resultados permitem, facilmente, afirmar que nenhum dos modelos de centralidade aplicados de maneira topológica sobre a rede espacial nodal de P conseguiu indicar correlações mais do que fracas. Entre os 64 experimentos, nenhum conseguiu gerar valores de correlação Pearson (r) que superasse os limites $-0,3 > r > 0,3$. Portanto, essa representação espacial, associada a esse tipo de processamento de modelos de centralidade (topológico), parece ser claramente, inadequada para a compreensão do fenômeno da distribuição de atividades econômicas urbanas na cidade. Então, entre

⁴⁵ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

todos testes realizados com os modelos de centralidade sobre a representação espacial nodal de P (tanto de forma geométrica quanto topológica e considerando a rede de forma local e global), o que parece melhor descrever tal fenômeno é o modelo de centralidade por *Excentricidade* geométrica com raio igual a 800 metros ($r = 0,428$).

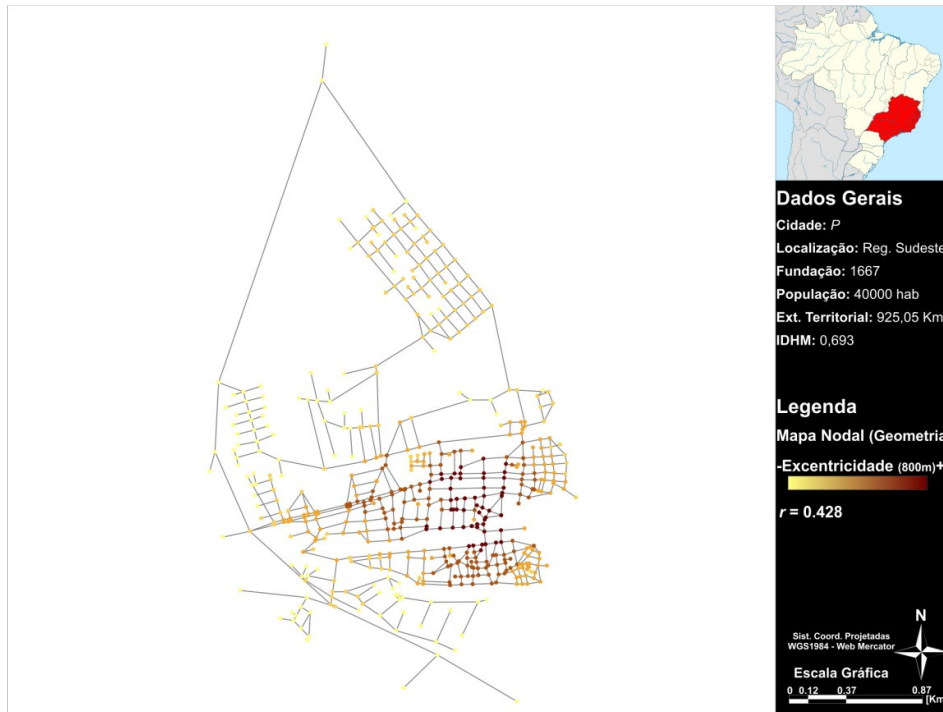


Figura 46 – Centralidade por *Excentricidade* geométrica com raio 800 metros em P . A correlação da medida de diferenciação espacial com as atividades econômicas é moderada tendendo a fraca ($r = 0,428$) (Fonte: elaboração própria).

5.2.3 – Experimentos: Representação por Trechos de Rua

Os últimos testes realizados sobre a cidade P transformaram o seu sistema de ruas numa rede formada por 709 trechos. Esses trechos de rua possuem, em média, extensão $\bar{x} = 107$ metros. O desvio padrão da dimensão dos trechos de ruas é de, aproximadamente, $\sigma = 131$ metros, apontando para um conjunto de trechos com grande variação dimensional, ou seja, uma rede de ruas que tende à irregularidade. O maior trecho apresenta 2.427 metros e o menor, apenas 12 metros.

Os 1.350 pontos de atividades econômicas catalogadas na cidade foram espacialmente distribuídos por proximidade entre as entidades espaciais. Na média, cada trecho de rua apresenta $\bar{x} = 1,90$ atividades econômicas. Apesar do trecho de rua mais carregado apresentar 41 unidades, o desvio padrão é $\sigma = 3,99$, apontando para uma variação que, de forma geral, é muito semelhante à observada no experimento nodal.

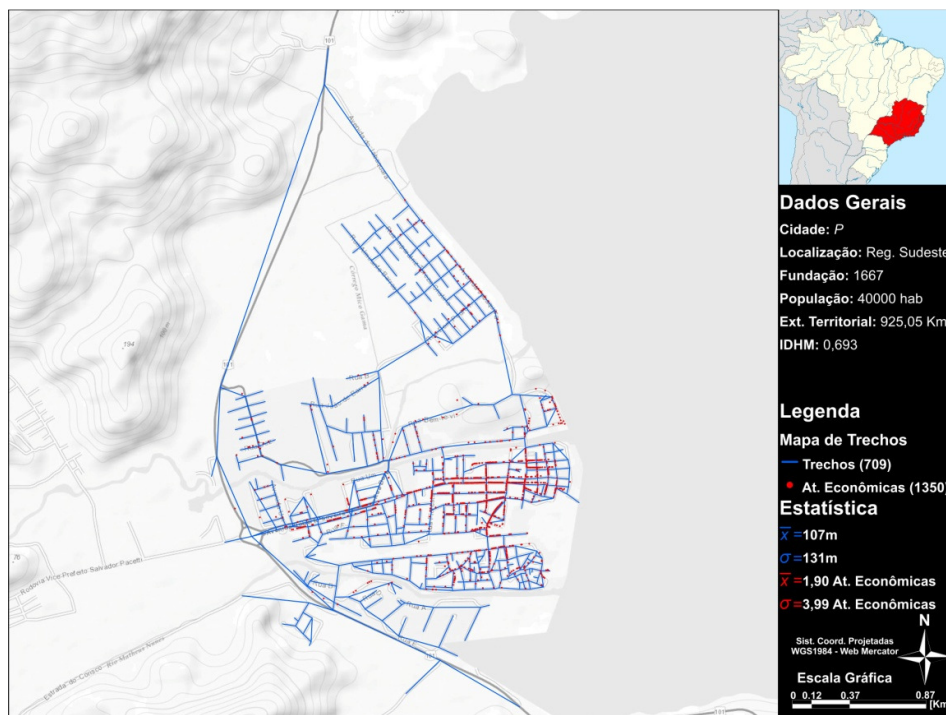


Figura 47 – Distribuição de atividades econômicas em P e sua representação espacial por trechos de rua (Fonte: elaboração própria).

No mapa de trechos de rua da cidade P, 4,5% das entidades espaciais encerram 38% das atividades econômicas. Comparado com as razões verificadas nos mapas axial e nodal apresentados anteriormente, parece que nesse tipo de representação ocorre uma distribuição de atividades econômicas similar.

Os testes foram iniciados com o cálculo das centralidades apresentadas nessa pesquisa de forma geométrica. Foram processados, dessa forma, 94 testes admitindo-se raios que variaram entre 200 e 5.300 metros (respeitando uma progressão aritmética de razão igual a 300 metros). Na sequência, normalizou-se a quantidade de atividades econômicas pelo comprimento de cada trecho de rua e excluíram-se aquelas entidades espaciais que apresentavam valor de atividades econômicas igual a zero. Utilizando o coeficiente de correlação Pearson (r), esses resultados foram comparados com os valores obtidos pela aplicação dos modelos de centralidade processados de forma geométrica e, então, obtiveram-se os valores que apontam o nível de correlação entre o fenômeno da distribuição de atividades econômicas e as centralidades da rede espacial definida por trechos de rua da cidade de P. A síntese desses experimentos pode ser verificada na tabela 14⁴⁶ e no gráfico da figura 48. É simples notar que o processamento

⁴⁶ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

geométrico da rede espacial definida por trechos de rua de P gera valores de correlação Pearson (r) entre a distribuição de atividades econômicas e centralidades que superam $r > 0,5$, ou seja, apresenta correlações mais do que moderadas (conforme linha pontilhada na parte superior do gráfico da figura 48).

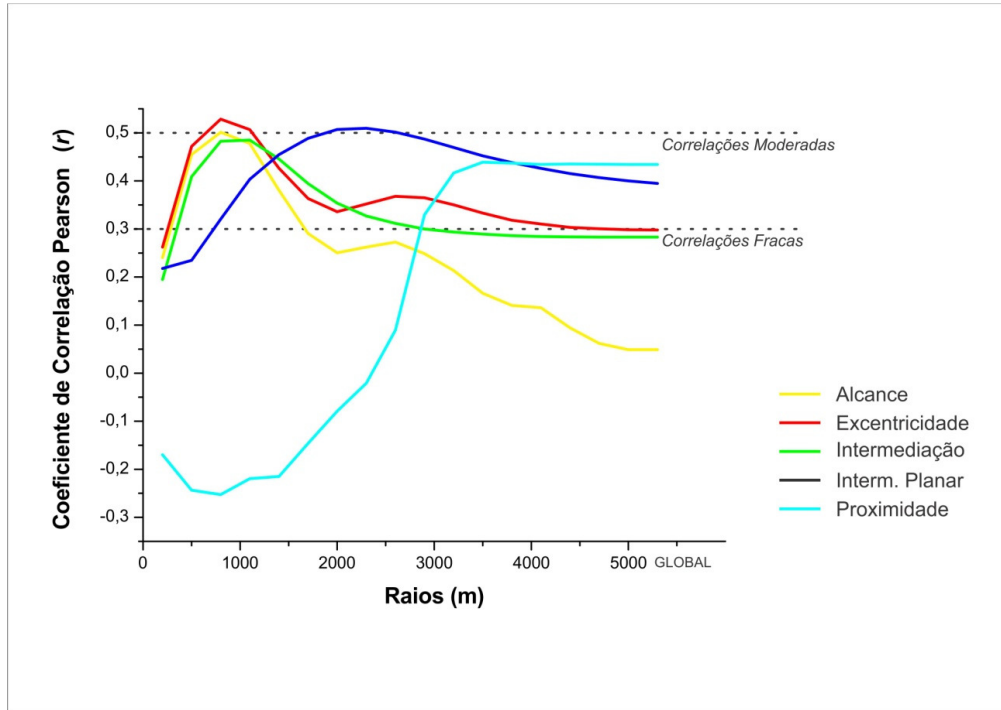


Figura 48 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede de trechos de rua de P (Fonte: elaboração própria).

Esses valores são verificados nas curvas que descrevem os resultados de correlação Pearson (r) oriundas da aplicação dos modelos de centralidade por *Excentricidade* (linha vermelha) e centralidade por *Intermediação Planar* (linha azul marinho). A linha referente ao modelo de centralidade por *Excentricidade* alcança, logo num dos primeiros testes, seu valor de correlação Pearson mais elevado ($r = 0,529$, com modelo testado com raio igual a 800 metros). Esse valor sugere, claramente, que a distribuição de atividades econômicas na cidade e a propriedade espacial da eficiência estão, ao menos, moderadamente correlacionadas. Na sequência, a curva entra em declínio e estabiliza-se na faixa correlacional que indica o limiar entre correlações fracas e minimamente moderadas ($r = 0,298$). Por sua vez, o modelo de centralidade por *Intermediação Planar* atinge o seu pico de forma mais suave. Esse ponto é alcançado quando o modelo é aplicado sobre a rede espacial urbana definida por trechos de rua da cidade P com raio igual a 2.300 metros. Ali, a curva apresenta valor correlacional $r =$

0,510 (correlação mais do que moderada). Depois disso, existe um sútil declínio que tende a se estabilizar na zona do gráfico que apresenta valores de correlação próximos a $r = 0,390$.

A curva que descreve o comportamento dos coeficientes de correlação Pearson (r) gerada pela aplicação do modelo de centralidade por *Alcance* (linha amarela) aparece, na sequência, como a que consegue gerar o valor de correlação mais elevado nessa etapa da pesquisa. De forma muito similar ao comportamento da curva que descreve os valores correlacionais obtidos pela aplicação do modelo de centralidade por *Excentricidade*, a curva referente à aplicação do modelo de centralidade por *Alcance* atinge seu pico logo quando o modelo é testado com raio igual a 800 metros ($r = 0,501$, i.e, correlação moderada). Porém, após atingir esse estágio, a curva entra em franca tendência de queda, apresentando no último teste realizado valor de correlação Pearson $r = 0,049$ (correlação extremamente fraca). Já a curva que apresenta os valores de correlação Pearson (r) derivados da aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação* (linha verde) apresenta um perfil similar. Porém, nenhum de seus resultados excede o limite $r > 0,5$. Em praticamente toda a sua extensão, a curva localiza-se numa faixa que indica correlações maiores ou muito próximas à zona de valores minimamente moderados ($r > 0,3$). A curva apresenta tendência de crescimento nos primeiros experimentos, atingindo seu ponto mais elevado quando o modelo é processado considerando-se raio igual a 1.100 metros ($r = 0,485$ – praticamente uma correlação moderada). Então ocorre uma tendência suave de queda, que se estabiliza com valores de correlação Pearson $r = 0,283$. Por fim, a curva que apresenta os valores de correlação Pearson (r) obtidos pela aplicação do modelo de centralidade por *Proximidade* (linha azul ciano) se comporta apresentando, durante a primeira metade dos testes, tendência de crescimento (exceção feita ao dois primeiros testes, onde a curva tem perfil de queda). Ali, nenhum dos valores testados consegue superar o limite $r > 0,3$ (correlações mais do que fracas). Somente quando o modelo é testado com raio igual 3.500 metros, a curva atinge seu pico ($r = 0,439$), apresentando tendência a se estabilizar na zona correlacional $r = 0,434$. Esse conjunto de experimentos aponta que, sobre a representação espacial definida por trechos de rua de P , processada de forma geométrica, o modelo de centralidade por *Excentricidade* com raio igual a 800 metros é o que atinge o valor de correlação Pearson mais elevado ($r = 0,529$), sugerindo que esse modelo é o que melhor descreve o fenômeno urbano aqui estudado.

A topologia da rede espacial formada por trechos de rua de *P* também foi processada. Foram realizados 64 testes, admitindo-se nos testes locais raios que variavam entre dois e 35 passos topológicos (conforme uma progressão aritmética de razão igual a 3). O gráfico 49 (abaixo) e a tabela 15⁴⁷ exibem os valores obtidos nesses testes.

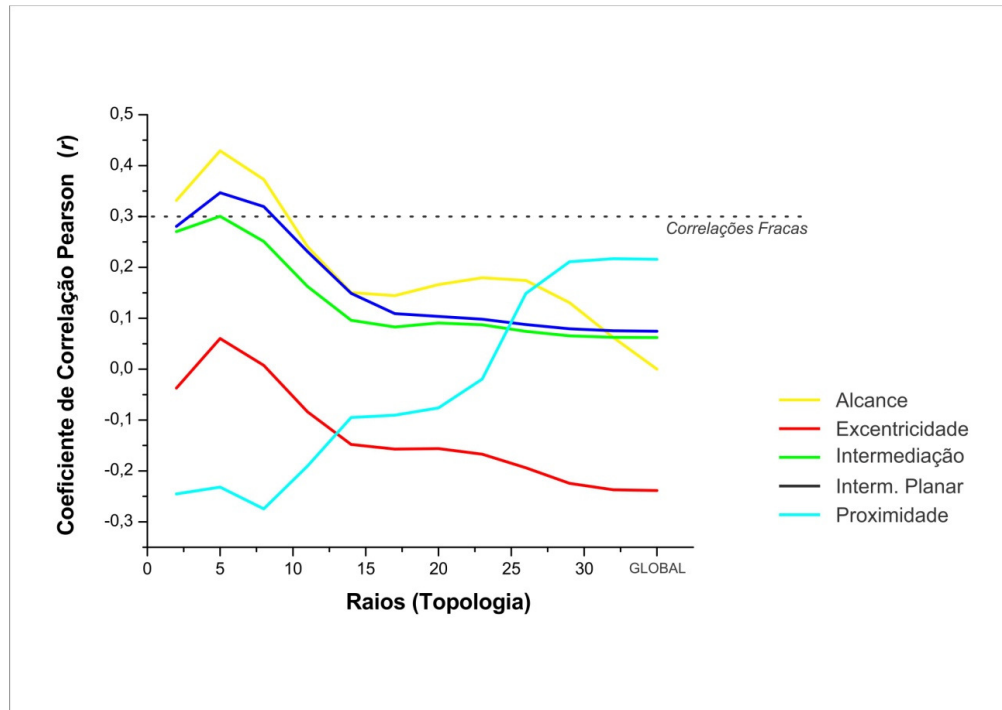


Figura 49 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede de trechos de rua de *P* (Fonte: elaboração própria).

Aqui, percebe-se facilmente que apenas a aplicação dos modelos de centralidade por *Alcance* (linha amarela) e centralidade por *Intermediação Planar* (linha azul marinho) conseguem superar, com alguma folga, o limite correlacional $r > 0,3$ (conforme linha pontilhada no gráfico da figura 49). A curva equivalente aos experimentos realizados com a utilização do modelo de centralidade por *Alcance* atinge, rapidamente, seu pico quando testado com raio igual a cinco passos topológicos ($r = 0,429$). Esse valor sugere correlações com algum grau de moderação. Porém, na sequência os valores caem vertiginosamente, atingindo grau correlacional $r = 0,00$ (correlação inexistente). Enquanto isso, o comportamento da curva equivalente ao outro modelo que consegue superar em algum momento o limite $r > 0,3$ (centralidade por *Intermediação Planar*) apresenta o mesmo perfil. Quando o modelo é testado com raio igual a cinco passos

⁴⁷ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

topológicos obtém-se correlação Pearson $r = 0,347$, i.e., uma correlação ao menos minimamente moderada. Na sequência, com o aumento dos raios processados nos modelos, a curva tende a cair, atingindo um valor correlacional final $r = 0,075$.

Assim sendo, os testes realizados de forma topológica sobre a rede espacial definida por trechos de rua da cidade P apontam que a aplicação do modelo de centralidade por *Alcance* com raio igual a cinco passos topológicos é o que melhor se associa à lógica da distribuição de atividades econômicas na cidade. Porém, parece ficar claro que entre os testes realizados de forma geométrica e topológica com a representação espacial definida por trechos de rua de P , o modelo de centralidade por *Excentricidade* com raio igual a 800 metros, processado de forma geométrica, é o que melhor se associa à maneira como os estabelecimentos que prestam qualquer tipo de transação econômica se localizam sobre a rede espacial de P ($r = 0,529$).



Figura 50 – Centralidade por *Excentricidade* geométrica com raio 800 metros em P . A correlação da medida de diferenciação espacial com as atividades econômicas é moderada tendendo a forte ($r = 0,529$) (Fonte: elaboração própria).

Entre todos os testes realizados com a cidade P , tem-se que as maiores correlações foram obtidas, invariavelmente, após a aplicação do modelo de centralidade por *Excentricidade* geométrica com raio igual a 800 metros, independentemente do tipo de representação espacial empregado. Isso sugere, claramente, que a distribuição espacial

das atividades econômicas nessa cidade está fortemente associada àqueles espaços que apresentam as menores excentricidades dentro de uma área limitada por um raio de 800 metros. Nesse estudo de caso fica evidente que as representações espaciais por linhas axiais e por trechos de rua geraram as correlações mais fortes ($r = 0,546$ para a representação axial e $r = 0,529$ para a representação por trechos de rua), indicando que ambas conseguem, de forma muito parecida, descrever com alguma precisão o fenômeno da distribuição de atividades econômicas em P .

5.3 – Estudo de Caso 3: T

T é uma cidade litorânea, localizada num município que possui cerca de 160 Km². Sua população estimada, em 2014, era de aproximadamente de 37.000 habitantes (IBGE, 2014). Seu acesso se dá, principalmente, por uma rodovia localizada na extremidade oeste da cidade, distante praticamente dois quilômetros do núcleo urbano principal (não apresentada na figura 51, abaixo). Além desse, existe um acesso secundário, propiciado por uma rodovia que é representada pela linha na cor laranja, na imagem da figura 51.

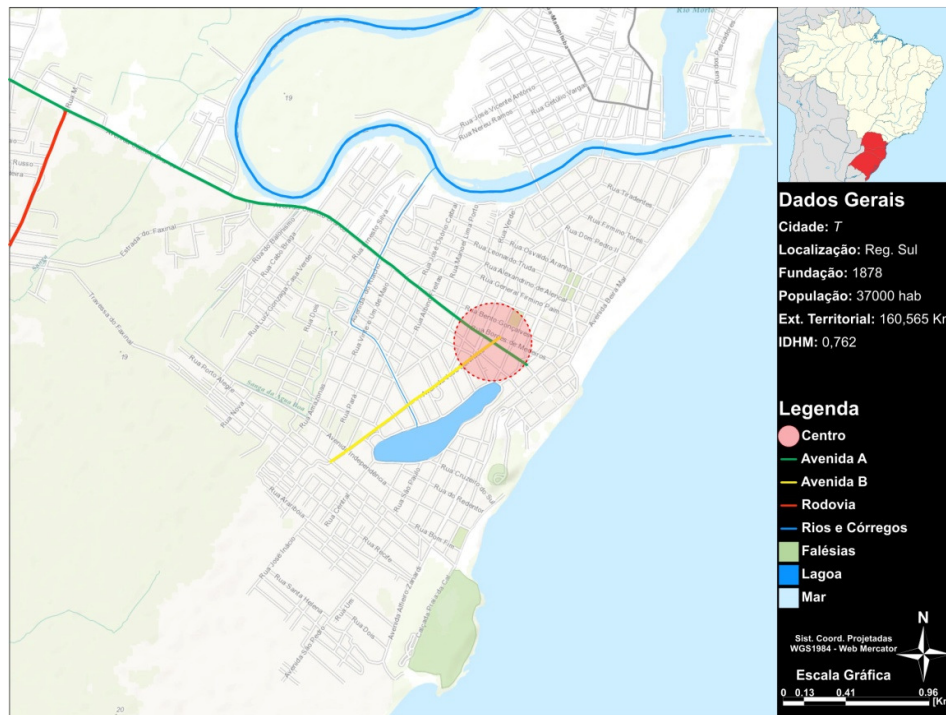


Figura 51 – Área urbana de T . Em destaque as principais vias, o centro e aspectos naturais relevantes (Fonte: elaboração própria).

T apresenta um fenômeno de sazonalidade populacional que chega a aumentar em, aproximadamente, 10 vezes no período de veraneio, sendo que o setor de comércio e serviços é responsável por mais de 80% do Produto Interno Bruto do município (IBGE,

2014). Seu Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é de 0,762 (IBGE, 2014).

Característica das cidades litôranas do extremo sul do Brasil, *T* apresenta uma situação de relevo bastante plana, exceto no entorno de um conjunto de formações rochosas conhecidas como *falésias*, que se elevam na área junto ao mar e servem como pontos turísticos da cidade (polígonos na cor verde, na imagem da figura 51). Além dessa situação de relevo, os aspectos naturais mais relevantes da cidade dizem respeito a uma lagoa que ocorre no meio da zona urbana e de um córrego que sai dessa lagoa e deságua num rio na porção norte da cidade que serve de limite com um município vizinho. Além disso, esse rio também age como barreira que bloqueia a expansão urbana na direção norte. A leste, a zona urbana é limitada pelo oceano e a oeste pela rodovia estadual que conecta o município à região onde ele se insere. *T* é uma cidade com pouco mais de 130 anos e o desenho da zona urbana evidencia um claro esforço de planejamento. Boa parte do município apresenta um traçado xadrez que sugere que a faixa de praia tenha sido utilizada, deliberadamente, como diretriz do desenho urbano.

A dinâmica espacial da cidade parece estar estruturada em função de uma avenida “A” (na cor verde, conforme a imagem da figura 51) que liga a entrada da cidade com as praias, ocorrendo no sentido oeste-leste. Praticamente paralela à faixa litorânea ocorre a avenida “B” (na cor amarela, na imagem da figura 51) que concentra, em menor quantidade do que a avenida “A”, facilidades urbanas e tem importância para os deslocamentos diários realizados na cidade. As avenidas “A” e “B” se cruzam, formando o que pode ser entendido como o centro da cidade. A região norte da cidade é marcada por um traçado bastante regular e partição fundiária que denota grandes terrenos, onde se concentra a área mais verticalizada e de renda alta. Na porção sul verifica-se uma intensa presença de imóveis residenciais térreos, com quadras aparentemente regulares e significativamente menores do que aquelas existentes na porção norte. A porção leste é notoriamente o setor turístico da cidade, que concentra as praias, as *falésias* e o centro comercial. A oeste, encontra-se uma zona com grande presença de vazios urbanos. Nesse sentido, a expansão urbana do município nos próximos anos deverá ser dirigida naquela direção. A área – se comparada a outras da cidade – carece de infraestrutura e parece apresentar os imóveis mais acessíveis às classes de renda inferior.

5.3.1 – Experimentos: Representação Axial

T foi descrita na forma de um mapa axial composto por 458 entidades espaciais. Em média, as linhas axiais apresentam $\bar{x} = 326$ metros de extensão e o desvio padrão é $\sigma = 334$ metros, apontando para um conjunto de linhas com dimensões bastante desuniformes na amostra.

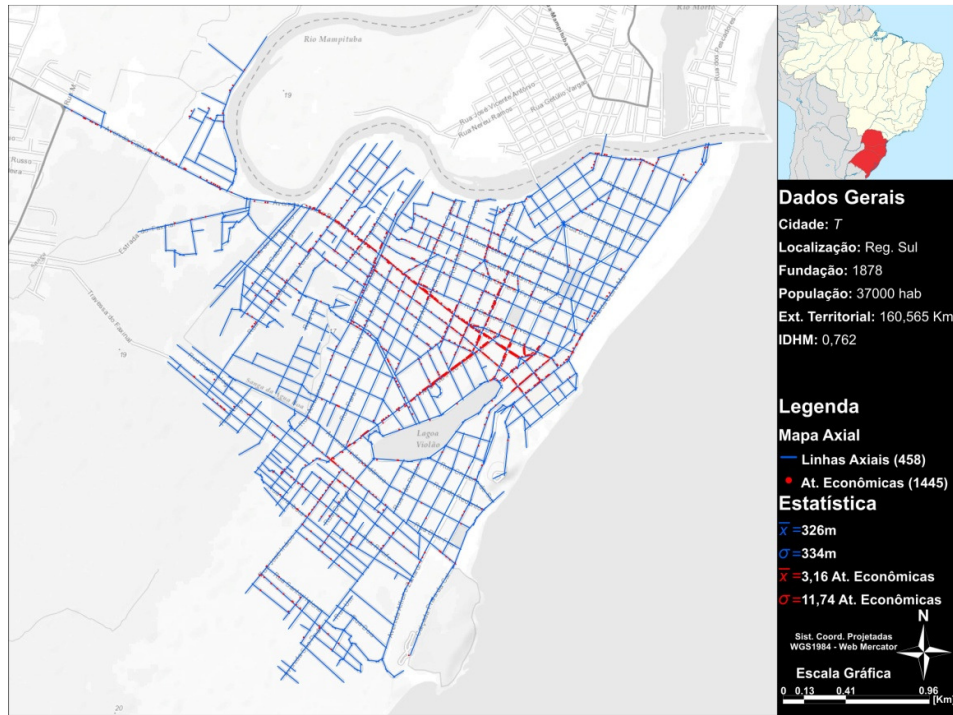


Figura 52 – Distribuição de atividades econômicas em T e sua representação espacial axial (Fonte: elaboração própria).

Foram catalogados 1.445 pontos com atividades econômicas desenvolvidas sobre a malha urbana de T que, por proximidade, foram atribuídas às linhas axiais. Cada linha axial apresentou, em média, $\bar{x} = 3,16$ atividades econômicas e o desvio padrão da quantidade de atividades econômicas distribuídas pelas linhas axiais foi de $\sigma = 11,74$, sugerindo uma grande quantidade de linhas axiais com poucas ou nenhuma atividade econômica associada e, por outro lado, poucas linhas axiais encerrando muitas atividades econômicas. Isso fica evidente quando se observa que, dos 1.445 pontos com atividades econômicas da cidade, 1.019 (ou 79,5%) concentram-se em apenas 6,7% das linhas axiais, apontando para uma relação hierárquica rigorosíssima que parece subjugar a distribuição espacial das atividades econômicas urbanas na cidade.

Buscando minimizar os efeitos da concentração de atividades econômicas em função da extensão das linhas axiais, normalizaram-se as quantidades de atividades econômicas atribuídas a cada linha axial pela sua respectiva extensão. De posse desses dados, foram feitas as análises de centralidade de forma geométrica e topológica da rede espacial axial da cidade. Com esses valores obtidos e excluindo-se aquelas linhas axiais que não estavam associadas a nenhuma atividade econômica, foram processados os coeficientes de correlação Pearson (r).

Foram executados 89 testes de maneira geométrica sobre a rede espacial formada por linhas axiais da cidade de T . Além dos testes globais, também foram processados testes de forma local. Esses testes possuíam variação dos raios empregados na faixa que vai de 200 a 5.000 metros (os valores são intercalados conforme uma progressão aritmética de razão igual a 300 metros). A quantidade de atividades econômicas alocadas em cada entidade espacial foi então normalizada por sua respectiva extensão. Excluindo-se aquelas entidades espaciais que apresentam valor de atividades econômicas nula e, com o auxílio do coeficiente de correlação Pearson (r), foi calculado o grau de correlação entre cada modelo de centralidade proposto e a distribuição de atividades econômicas sobre a cidade de T . Os resultados desses testes estão sumarizados na tabela 16⁴⁸ e no gráfico da figura 53, a seguir.

O processamento geométrico da rede espacial axial de T gera um conjunto de resultados pífios. Em nenhum momento, quaisquer dos testes realizados apresentaram valores de correlação Pearson (r) capazes de extravasar o limite $-0,3 > r > 0,3$, que sugeriria correlações minimamente moderadas. Entre os 89 testes executados, aquele que mais se destaca, ainda assim de forma extremamente discreta, é obtido após a aplicação do modelo de centralidade por *Excentricidade* com raio igual a 2.000 metros ($r = 0,229$). Esse valor está associado a uma correlação Pearson (r) pouco expressiva, entendido como fraca. O modelo de centralidade por *Excentricidade*, que apresentou a correlação mais alta obtida nos experimentos sobre a rede axial da cidade T , processada de forma geométrica, tem sua curva correlacional ilustrada pela cor vermelha no gráfico da figura 53, que pode ser verificado na sequência.

⁴⁸ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

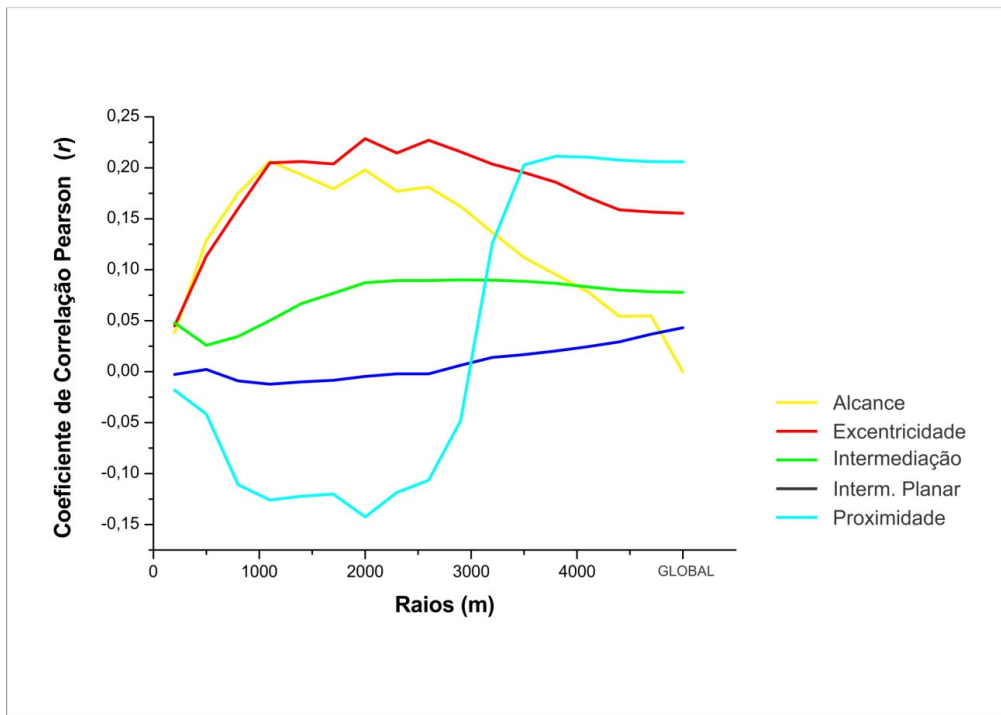


Figura 53 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede axial de T (Fonte: elaboração própria).

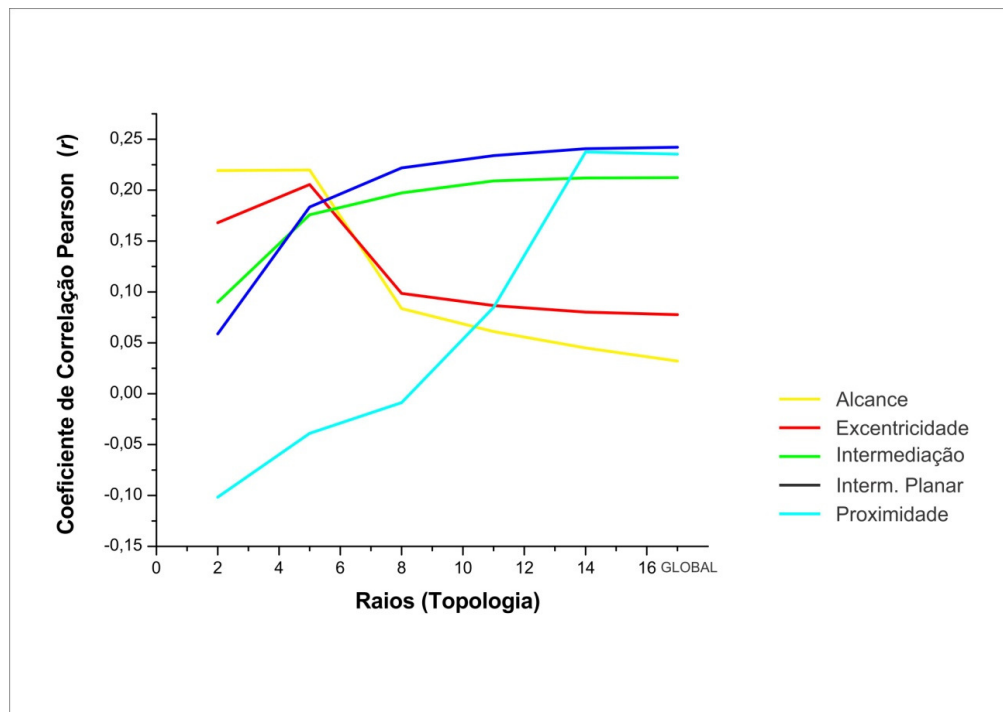


Figura 54 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede axial de T (Fonte: elaboração própria).

Esse cenário não é muito alterado quando se processa a representação espacial axial de *T* de maneira topológica. Dessa maneira, foram realizados 34 testes, de forma global e local (com raios pré-estabelecidos que variaram de dois a 17 passos topológicos, obedecendo uma progressão aritmética de razão igual a três passos topológicos). Dentre eles, novamente, nenhum apresentou resultados que atingissem valores de correlação Pearson (r) com a distribuição de atividades econômicas que superasse o limite que indica correlações, ao menos, minimamente moderadas ($-0,3 > r > 0,3$). Os valores obtidos são demonstrados na tabela 17⁴⁹ e no gráfico da figura 54, acima. Dentre esses resultados, o valor que chega mais próximo de sugerir uma correlação minimamente moderada é alcançado após a aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação Planar* global, cuja curva na cor azul marinho (no gráfico da figura 54) descreve seu comportamento. O pico dessa curva apresenta correlação Pearson $r = 0,242$, ou seja, um valor que indica uma correlação, apenas, fraca.

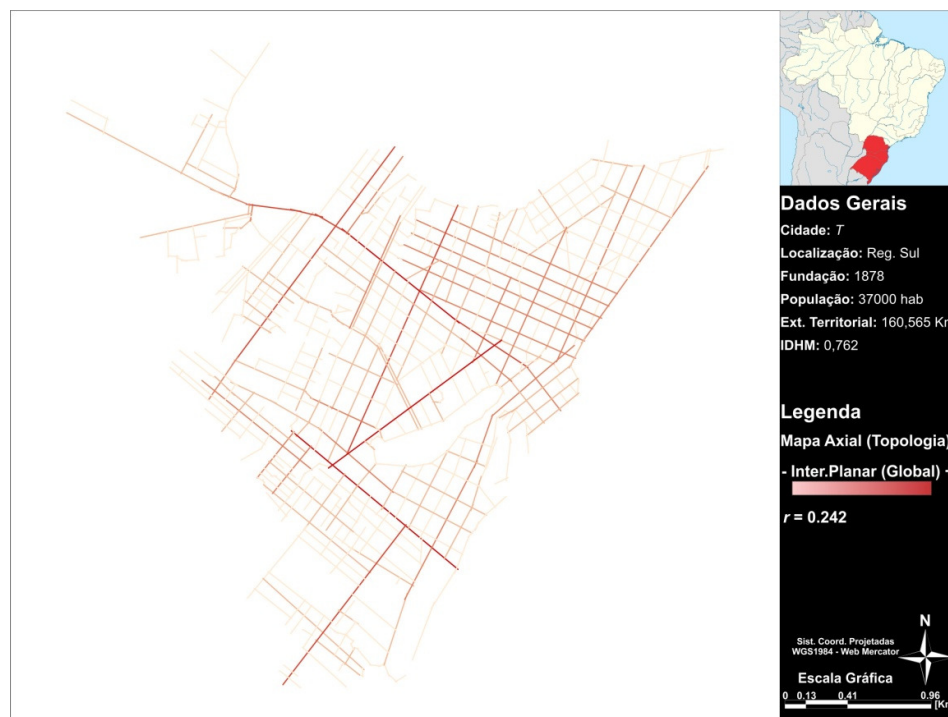


Figura 55 – Centralidade por *Intermediação Planar* topológica global em *T*. A correlação da medida de diferenciação espacial com as atividades econômicas é fraca ($r = 0,242$) (Fonte: elaboração própria).

Esse conjunto de dados torna evidente que o processamento dos modelos de centralidade aqui propostos sobre a representação espacial axial de *T*, tanto de forma geométrica quanto de forma global, são incapazes de apresentar correlações com

⁴⁹ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

alguma representatividade para a elucidação do fenômeno urbano estudado nessa pesquisa. Essa constatação torna-se ainda mais visível quando se nota que a correlação mais alta verificada nessa etapa dos experimentos indica que o modelo de centralidade por *Intermediação Planar* topológica global é o que sintetiza, de forma extremamente precária ($r = 0,242$), a correlação mais alta com a distribuição de atividades econômicas na cidade.

5.3.2 – Experimentos: Representação Nodal

A representação espacial nodal desenvolvida para a cidade de *T* é composta por 762 vértices e 1.178 arestas. As superfícies de domínio de cada nó da representação espacial apresentam, em média, $\bar{x} = 185$ metros e desvio padrão $\sigma = 101$ metros. Comparando esses valores com as outras representações espaciais do tipo nodal desenvolvidas nessa pesquisa, parece que a rede nodal de *T* é a que apresenta maior uniformidade. Com técnicas de geoprocessamento, as 1.445 localizações de atividades econômicas foram atribuídas aos vértices da rede, em função da menor distância. Assim, cada vértice da rede espacial (nó) apresenta, em média, $\bar{x} = 1,89$ atividades econômicas.

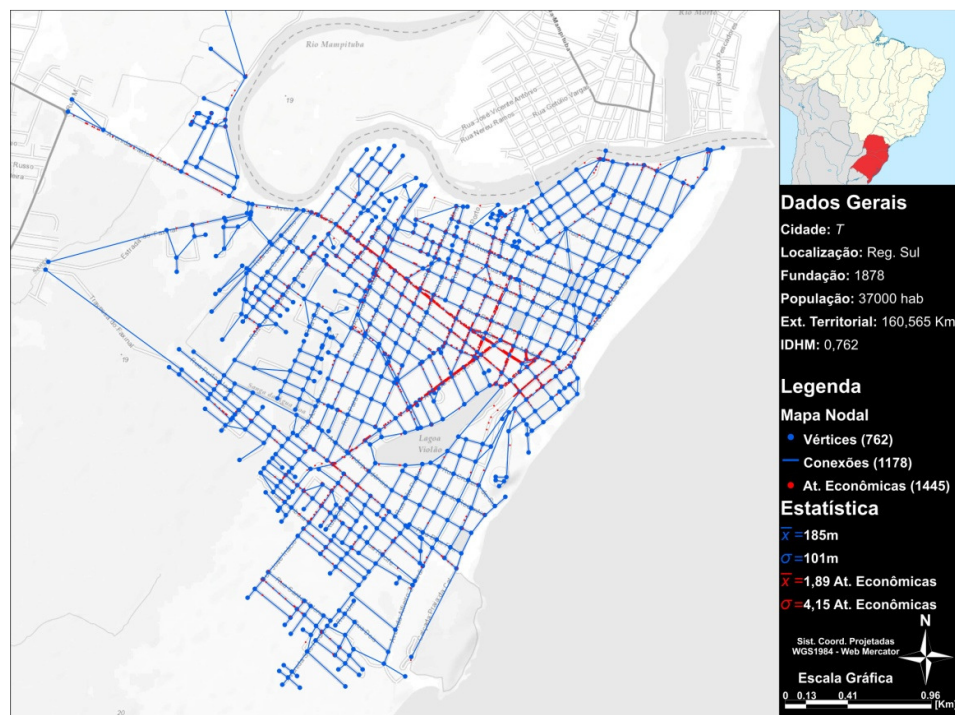


Figura 56 – Distribuição de atividades econômicas em *T* e sua representação espacial nodal (Fonte: elaboração própria).

O desvio padrão apresentou valor bastante distante da média ($\sigma = 4,15$), que aponta para uma variação acentuada de valores de atividades econômicas atribuídas a cada entidade espacial. O vértice da rede com a maior quantidade de atividades econômicas associadas possui 46 estabelecimentos. Dos 762 vértices da rede, cerca de 5% concentram 43,5% das atividades econômicas da zona urbana da cidade.

Para o prosseguimento dos experimentos, foi processado o conjunto de medidas de diferenciação espacial proposto na pesquisa, de forma geométrica e topológica, sobre a rede espacial nodal de T . Considerando que cada nó da representação espacial possuía uma superfície de domínio definida pela metade do somatório das extensões das conexões incidentes sobre si, normalizou-se a quantidade de atividades econômicas alocadas em cada entidade espacial. Na sequência, excluindo-se aqueles vértices que apresentavam quantidade de atividades econômicas associadas nula, aplicou-se o coeficiente de correlação Pearson (r) a fim de se verificar a relação entre as variáveis do fenômeno da distribuição de atividades econômicas e centralidades na rede de esquinas da cidade.

Geometricamente foram realizados 109 testes com a representação espacial nodal da cidade T . Os testes foram executados de forma local (com raios que variavam de 200 a 6.200 metros, intercalados conforme uma progressão aritmética de razão igual a 300 metros) e global. Utilizando o coeficiente de correlação Pearson (r), foram comparadas: a quantidade de atividades econômicas normalizadas pela extensão da superfície de domínio de cada nó da representação nodal e os índices de centralidade (excluindo-se aqueles nós que apresentavam quantidade de atividades econômicas associadas igual a zero). Os resultados obtidos estão discriminados na tabela 18⁵⁰ e no gráfico da figura 57, a seguir.

Os resultados desses experimentos indicam que em nenhum dos testes realizados foram obtidos valores de correlação mais do que fracos, i.e, nenhum dos valores localiza-se fora do intervalo $-0,3 < r < 0,3$. A curva correlacional que apresenta o teste com valor mais próximo desse limite é a que equivale aos experimentos utilizando o modelo de centralidade por *Proximidade*, com raio igual a 3.800 metros (curva azul ciano). A correlação Pearson indica um valor $r = 0,260$, sugerindo, apenas, uma correlação fraca tendendo à moderação.

⁵⁰ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

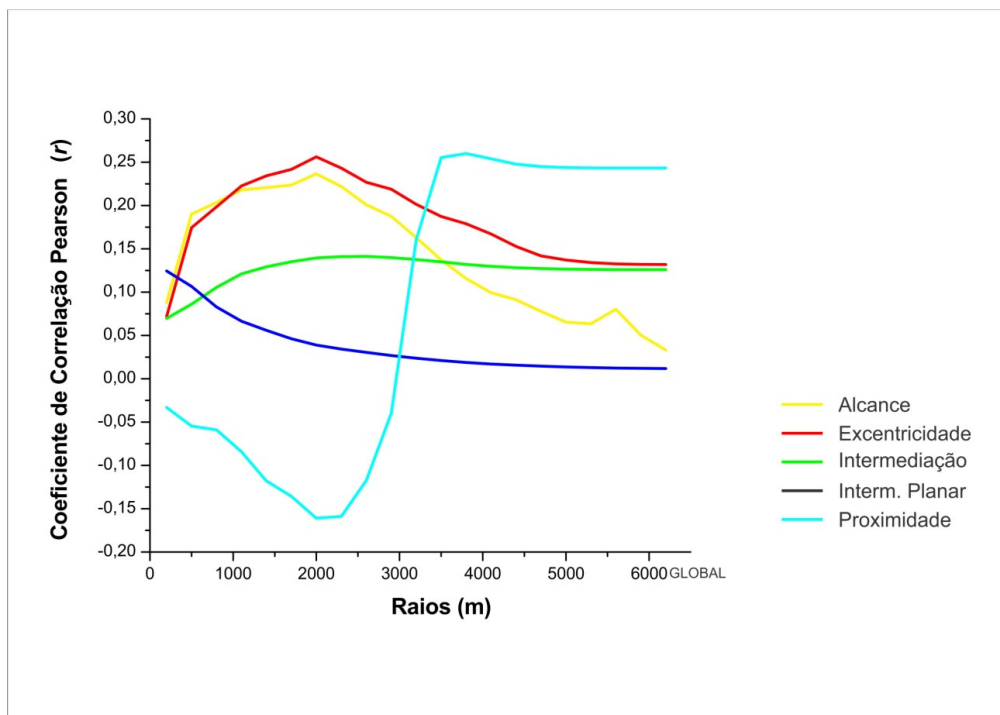


Figura 57 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede nodal de T (Fonte: elaboração própria).

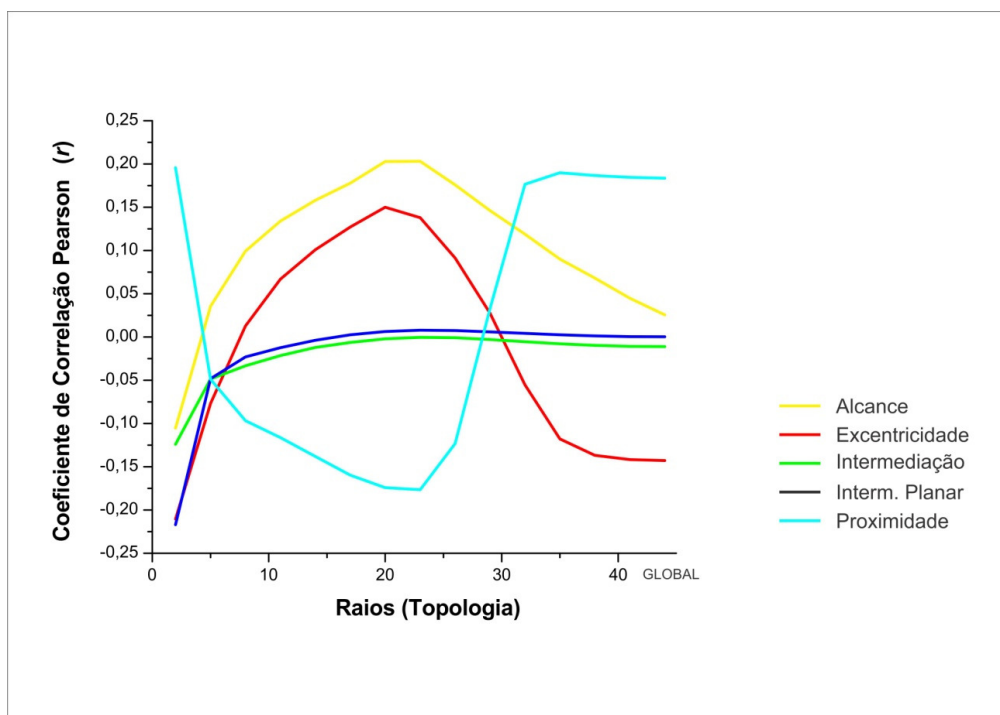


Figura 58 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede nodal de T (Fonte: elaboração própria).

Topologicamente, os resultados obtidos foram semelhantes. Dessa maneira foram realizados 79 testes, considerando-se a aplicação dos modelos de maneira local e global. Os experimentos locais foram processados, considerando-se raios que variavam entre dois e 44 passos topológicos. Nesse intervalo, foram testados raios que obedeciam a uma progressão aritmética de razão igual a três passos topológicos. Depois, como realizado no experimento anterior, os valores de centralidades foram comparados com os valores de quantidades de atividades econômicas normalizados pela extensão da superfície de domínio de cada nó da rede espacial nodal da cidade (excluindo-se aqueles nós com quantidade de atividades econômicas nula) utilizando o coeficiente de correlação Pearson (r). Os resultados obtidos nessa etapa dos experimentos estão elencados na tabela 19⁵¹ e no gráfico da figura 58, acima.

Novamente, como foi visto nos experimentos realizados de forma geométrica sobre a rede nodal de T , nenhum valor de correlação Pearson gerado superou os limites de $-0,3 < r < 0,3$. Dentre os valores observados, aquele que sugere uma correlação mais próxima do limiar, entre correlações fracas e correlações moderadas, é oriundo da aplicação do modelo de centralidade por *Alcance* com raio igual a 20 e 23 passos topológicos ($r = 0,203$). Apesar de ser o valor mais elevado obtido nessa parte dos experimentos, essa correlação é considerada fraca.

Portanto, como ocorreu no experimento anterior (representação nodal processada de forma geométrica) e com a representação axial processada de forma geométrica e topológica, os experimentos observados sobre a rede nodal de T , processada de forma topológica, também indicam que os modelos de centralidade aplicados nessa pesquisa sobre tal representação geram resultados de correlação Pearson (r) que conseguem descrever, de forma muito pouco eficaz, a ocorrência de atividades econômicas urbanas na cidade. Nessa etapa dos experimentos verificou-se que a correlação Pearson mais elevada foi a obtida após a aplicação do modelo de centralidade por *Proximidade* geométrica com raio igual a 3.800 metros ($r = 0,260$). Esse valor reforça a noção de que tal representação, processada tanto de maneira geométrica quanto topológica, é inadequada para a compreensão do fenômeno urbano estudado nessa pesquisa, sugerindo que centralidades estão associadas à escolha locacional de agentes econômicos urbanos de forma, apenas, fraca.

⁵¹ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

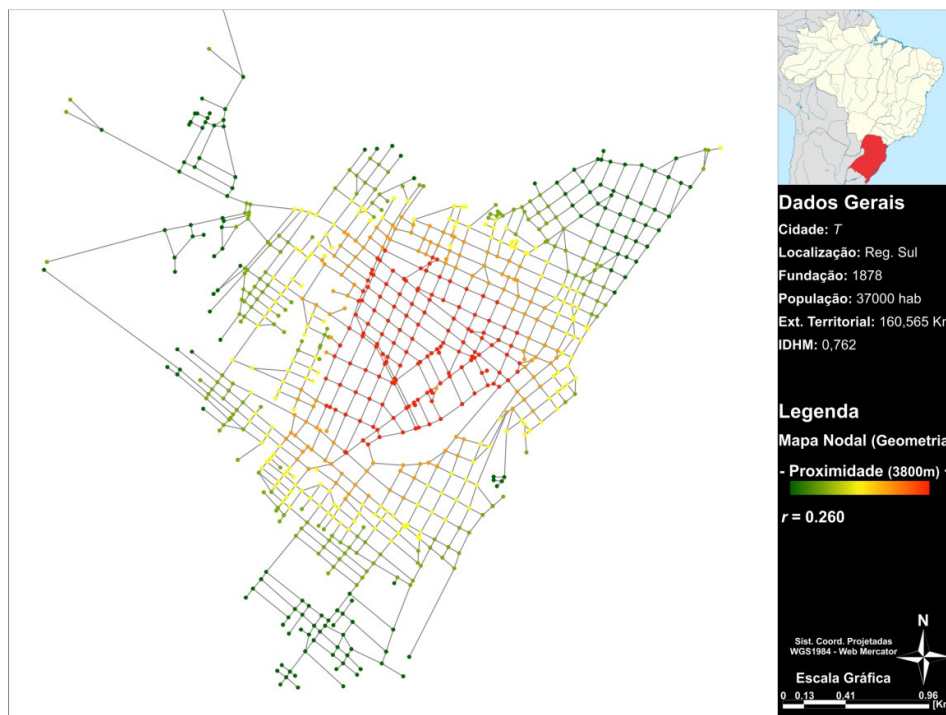


Figura 59 – Centralidade por *Proximidade* geométrica com raio 3.800 metros em *T*. A correlação da medida de diferenciação espacial com as atividades econômicas é fraca ($r = 0,260$) (Fonte: elaboração própria).

5.3.3 – Experimentos: Representação por Trechos de Rua

O último dos experimentos realizados nessa pesquisa transformou a rede de ruas da cidade *T* numa representação espacial definida por trechos, composta por 1.178 entidades espaciais.

Nessa cidade, em média, cada trecho possui $\bar{x} = 120$ metros de extensão. Evidenciando um traçado urbano com algumas irregularidades, o valor do desvio padrão do tamanho dos trechos de ruas $\sigma = 90$ metros, vai de encontro à variação dimensional das entidades espaciais (1.452 metros a maior e 12 metros a menor). Utilizando a distância mais curta entre cada uma das 1.445 atividades econômicas alocadas na cidade e os trechos, tem-se uma distribuição média $\bar{x} = 1,23$ estabelecimentos com atividades econômicas por entidade espacial. No entanto, como nem todos os trechos de ruas possuem atividades econômicas associadas, o desvio padrão da amostra foi de $\sigma = 3,13$. Das 1.178 entidades espaciais que compõem a rede de trechos de rua de *T*, aproximadamente 3% encerram 38% das atividades econômicas urbanas.

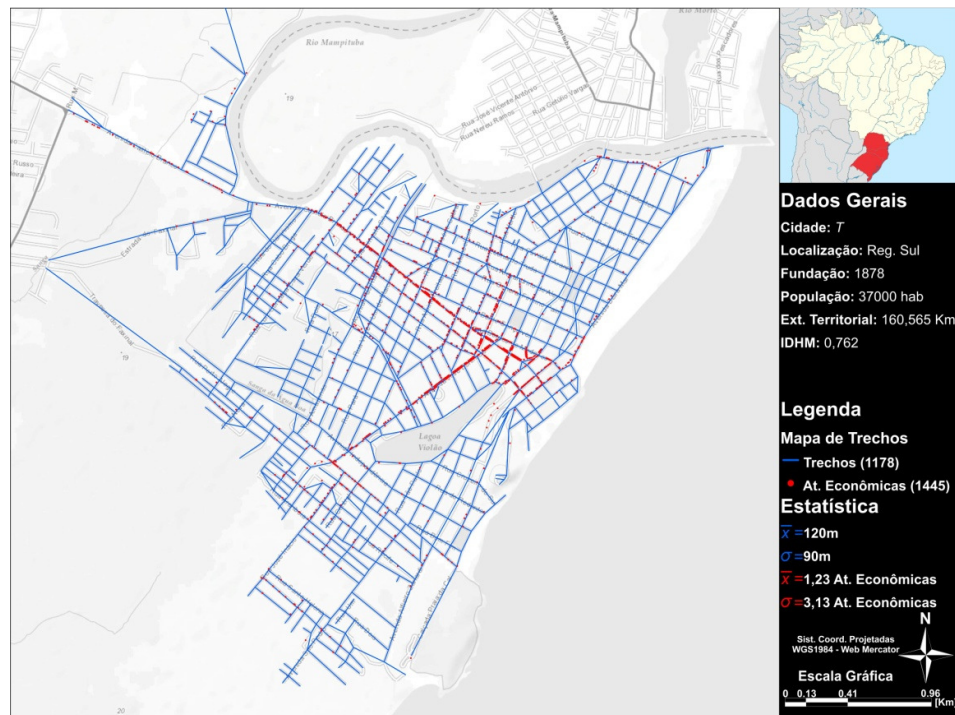


Figura 60 – Distribuição de atividades econômicas em *T* e sua representação espacial por trechos de rua (Fonte: elaboração própria).

O procedimento experimental foi realizado sobre a representação espacial por trechos de rua da cidade *T*, empregando-se os modelos apresentados anteriormente de forma geométrica e topológica. Com esses resultados processados, excluíram-se aqueles trechos de rua que apresentavam quantidade de atividades econômicas (normalizadas por suas respectivas extensões) associadas igual a zero e, então, foram calculados os coeficientes de correlação Pearson (r) indicando as maiores e menores correlações entre o fenômeno da distribuição de atividades econômicas urbanas e as propriedades espaciais oriundas da rede de ruas da cidade (centralidades).

Os testes executados de forma geométrica admitiram, além de processamentos globais, processamentos locais com raios que variaram entre 200 e 5.600 metros. Nesse intervalo, os demais raios testados obedeceram a uma progressão aritmética de razão igual a 300 metros. Geometricamente foram realizados 99 testes com a rede espacial definida por trechos de rua da cidade *T*. Os resultados obtidos após o processamento dos modelos de centralidade dessa bateria de testes são informados na tabela 20⁵² e no gráfico da figura 61, a seguir.

⁵² A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

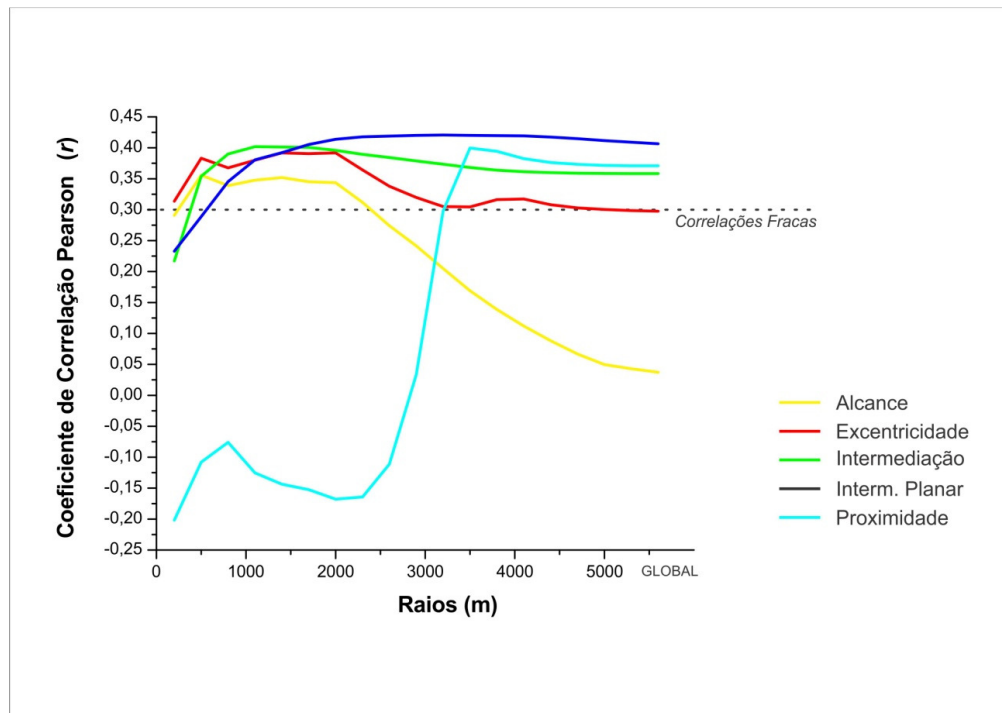


Figura 61 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede de trechos de rua de T (Fonte: elaboração própria).

Pela primeira vez os experimentos realizados com a cidade T apresentaram valores de correlação Pearson $r > 0,3$, i.e., resultados que indicam correlações, ao menos, minimamente moderadas (conforme a linha pontilhada no gráfico da figura 61). Nesses resultados, destaca-se a curva que descreve os valores de correlação Pearson (r) obtidos após a aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação Planar* (linha azul marinho). Essa curva é caracterizada por uma tendência inicial de crescimento que, depois de atingir seu pico, entra em estado de estabilidade próximo à faixa correlacional que indica correlações fracamente moderadas ($r = 0,371$). Essa curva é também a que apresenta o valor de correlação mais expressivo obtido nessa etapa dos experimentos. O valor de correlação Pearson $r = 0,421$ é fruto da aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação Planar* com raio igual a 3.200 metros.

A curva que descreve os resultados obtidos após a aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação* (linha verde) apresentou o segundo maior valor correlacional nessa etapa dos experimentos. A curva, que apresenta um perfil ligeiramente similar ao da curva que descreve as correlações oriundas da aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação Planar* apresenta, nos primeiros testes, uma franca tendência de crescimento. Seu pico é atingido quando o modelo de centralidade é processado com

raio igual a 1.100 metros ($r = 0,402$), apontando para uma correlação com alguma tendência à moderação. A seguir, a curva apresenta tendência suave de queda, estabilizando-se na faixa correlacional $r = 0,358$. As curvas obtidas após a aplicação dos modelos de centralidade por *Alcance* (linha amarela) e centralidade por *Excentricidade* (linha vermelha) apresentam comportamentos semelhantes e também possuem valores correlacionais $r > 0,3$. A curva que descreve os resultados de correlação Pearson (r) verificados pela aplicação do modelo de centralidade por *Alcance* atinge seu pico logo no segundo teste realizado, i.e., com raio igual a 500 metros ($r = 0,356$). No entanto, após esse teste, os valores entram em agudo declínio, conforme o raio considerado aumenta, chegando até um valor de correlação Pearson $r = 0,037$. Por sua vez, a curva que apresenta os resultados de correlação Pearson (r) verificados após a utilização do modelo de centralidade por *Excentricidade* localiza-se, quase que em praticamente toda sua extensão, dentro da área do gráfico que sugere correlações, ao menos, minimamente moderadas. A curva apresenta tendência de crescimento nos primeiros testes com certa oscilação. Após atingir seu pico, com raio igual a 2.000 metros ($r = 0,392$), os resultados começam a cair de forma suave e seus últimos resultados de correlação localizam-se na zona correlacional referente ao limiar entre correlações fracas e moderadas ($r = 0,297$). Por fim, a curva que descreve os resultados de correlação verificados após a aplicação do modelo de centralidade por *Proximidade* (azul ciano) apresenta, nos primeiros testes, somente valores de correlação $r < 0,3$ (ou seja, correlações fracas). Quando o modelo de centralidade por *Proximidade* é testado de forma geométrica com raio igual a 3.500 metros percebe-se o pico de correlação obtido com esse modelo ($r = 0,400$). Então, os valores correlacionais apresentam suave tendência de queda, até estabilizarem-se na zona do gráfico que indica correlações fracamente moderadas ($r = 0,371$).

A análise desses resultados indica que o modelo de centralidade por *Intermediação Planar* geométrica com raio igual a 3.200 metros é o que apresenta o valor mais correlacionado com a distribuição de atividades econômicas na cidade *T*. O valor de correlação $r = 0,402$, apesar de ser o mais alto verificado no experimento, sugere correlação, apenas, fracamente moderada.

Completando essa etapa dos experimentos, a rede espacial definida pelos trechos de rua de *T* foi processada de forma topológica. Nessa fase foram efetuados 79 testes comparando as centralidades e a quantidade de atividades econômicas normalizadas

pela extensão de cada entidade espacial (considerando, apenas, as entidades espaciais com alguma atividade econômica associada). Os testes locais processados de forma topológica sobre a rede espacial definida pelos trechos de rua de T apresentaram raios que variavam entre dois e 44 passos topológicos, sendo que os valores de raios intermediários obedeciam a uma progressão aritmética de razão igual a três. Esses resultados podem ser verificados na tabela 21⁵³ e no gráfico da figura 62.

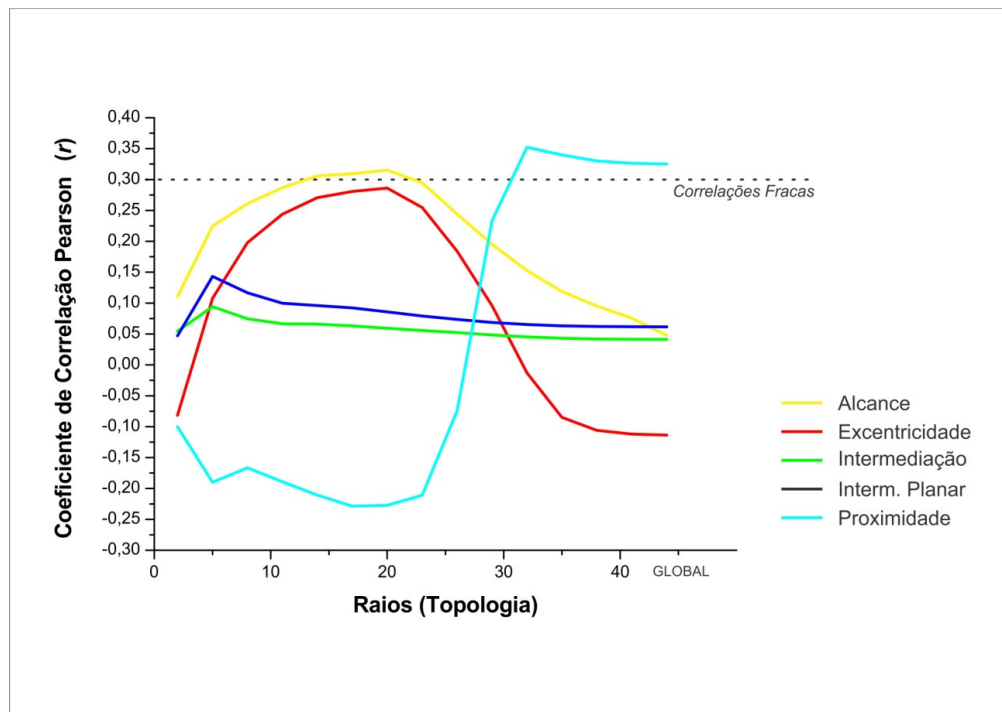


Figura 62 – Coeficientes de correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede de trechos de rua de T (Fonte: elaboração própria).

Os resultados demonstram que, entre os cinco modelos testados, apenas as curvas equivalentes aos coeficientes de correlação Pearson oriundas dos modelos de centralidade por *Alcance* (linha amarela) e centralidade por *Proximidade* (linha azul ciano) superam, em algum momento, o limiar $r > 0,3$ (correlações mais do que fracas – de acordo com a linha pontilhada no gráfico da figura 62). A curva que apresenta os valores equivalentes à aplicação do modelo de centralidade por *Alcance* localiza-se, em sua maior parte, na zona do gráfico inferior a correlações minimamente moderadas. Nos primeiros testes, ela apresenta tendência de crescimento, atingindo seu pico quando o modelo é processado com raio igual a 20 passos topológicos ($r = 0,315$). Depois, a

⁵³ A tabela pode ser consultada no apêndice dessa dissertação.

curva entra em queda, finalizando na zona correlacional $r = 0,048$. A curva que representa os valores de correlação Pearson (r) verificados após a aplicação do modelo de centralidade por *Proximidade* também possui grande extensão na zona correlacional $r < 0,3$. Quando o modelo é processado considerando-se raio igual a 32 passos topológicos, a curva atinge seu pico ($r = 0,352$) e entra em leve declínio estabilizando-se em $r = 0,325$. Dessa forma, entre os testes efetuados de forma topológica sobre a rede espacial configurada pelos trechos de rua da cidade de *T*, o modelo de centralidade por *Proximidade* com raio igual a 32 passos topológicos é o que apresenta a correlação Pearson (r) mais expressiva para o entendimento da maneira como as atividades econômicas se distribuem sobre a cidade.

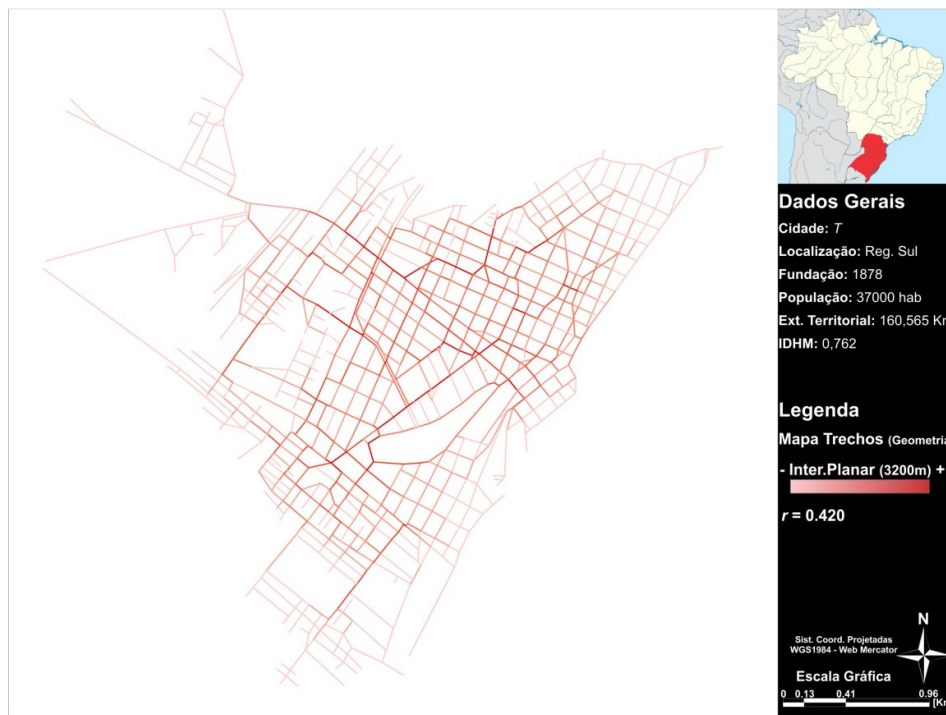


Figura 63 – Centralidade por *Intermediação Planar* geométrica com raio 3.200 metros em *T*. A correlação da medida de diferenciação espacial com as atividades econômicas é moderada tendendo a fraca ($r = 0,420$) (Fonte: elaboração própria).

Finalizando os testes com a comparação dos gráficos das figuras 61 e 62 (que descrevem os valores de correlação Pearson (r) entre a distribuição de atividades econômicas e as centralidades processadas de forma geométrica e topológica sobre a rede espacial definida por trechos de rua da cidade *T*) nota-se que o modelo de centralidade por *Intermediação Planar* geométrica com raio igual a 3.200 metros é o que melhor consegue, apesar do valor correlacional fracamente moderado, descrever o fenômeno estudado nessa pesquisa ($r = 0,420$).

Assim, tem-se que para todos os experimentos realizados sobre as redes espaciais de T , aqueles que apresentaram os melhores resultados são, sem dúvida, os realizados sobre a rede espacial que descreve a cidade com trechos de rua. Além disso, esses experimentos permitem dizer que o modelo de centralidade que aponta para a melhor correlação com a distribuição de atividades econômicas é o de centralidade por *Intermediação Planar* com raio igual a 3.200 metros processado de forma geométrica.

6 – Discussão dos Resultados

Baseado em recursos estatísticos, o universo de valores de correlação Pearson (r) obtidos no decorrer dessa pesquisa será avaliado a fim de se chegar a conclusões capazes de indicar qual representação espacial (1), qual tipo de processamento de distâncias internas em redes (2) e quais modelos de centralidade estariam melhor associados ao fenômeno da distribuição de atividades econômicas no espaço urbano (3). Assim, o capítulo demonstrará quais representações espaciais e quais métodos de processamento de distância predominam em cada um dos conjuntos de testes realizados e, na sequência, comparará as medidas de centralidade observadas no universo total da pesquisa, a fim de avaliar quais delas parecem estar mais associadas ao fenômeno urbano estudado.

O universo total de experimentos, i.e., considerando-se todos os testes realizados nas três cidades dos estudos de caso, é composto por 1.692 valores de correlação Pearson (r), obtidos após o cruzamento da quantidade de atividades econômicas atribuídas a cada tipo de entidade espacial experimentada e seus respectivos valores de centralidade, oriundos de processamentos de redes espaciais urbanas do tipo axial, nodal e de trechos de rua, tanto de forma topológica quanto de forma geométrica. Desses, 724 valores foram obtidos sobre as redes espaciais de L , 479 sobre as redes espaciais de P e 489 sobre as redes espaciais da cidade T . Esses valores variam, pois foram definidos em função do diâmetro das redes espaciais de cada uma das cidades. Assim, para algumas cidades foi possível processar um maior número de experimentos do que em outras, mantendo-se, basicamente, os mesmos raios de busca aplicados nos modelos de centralidade.

Nos 218 resultados de correlação Pearson (r) obtidos nos testes efetuados sobre a representação espacial axial de L , têm-se 95 valores que sugerem correlações mais do

que fracas. Isso indica que cerca de 44% dos testes processados sobre esse tipo de representação, para essa cidade, apontam para a ocorrência de algum tipo de correlação entre as centralidades em redes espaciais e o fenômeno da distribuição espacial de atividades econômicas urbanas. Desses 218 testes, 169 foram processados considerando-se a geometria da rede espacial axial de L , enquanto que os demais 49 referem-se aos processamentos topológicos do mapa axial. Considerando-se apenas os processamentos geométricos realizados sobre a rede espacial axial de L , percebe-se que 86 testes (ou 51%) apresentaram correlação Pearson $r > 0,3$, sugerindo correlações, no mínimo, moderadas. Enquanto isso, a representação espacial axial de L , processada de forma topológica apontou, apenas, nove valores de correlação Pearson $r > 0,3$, num total de 49 testes. Isso significa que os modelos de centralidade propostos nessa pesquisa aplicados de forma topológica sobre a rede espacial axial de L foram capazes, em apenas 18% dos testes, de gerar correlações minimamente moderadas.

Para os testes realizados sobre a representação axial de P , foram gerados 158 resultados de correlação Pearson (r). Nesse universo, verifica-se que 51 testes, ou cerca de 32%, apresentaram correlações Pearson $r > 0,3$. É notório que, a maior parte desses 51 testes é oriunda da aplicação dos modelos de centralidade sobre a rede axial processada de forma geométrica. Entre os 104 testes realizados dessa forma (geometria), 41% (ou 43 procedimentos) apresentaram correlações $r > 0,3$. Mais do que isso, esse tipo de processamento sobre a rede axial da cidade apresentou três valores com $r > 0,5$, i.e., correlações moderadas tendendo à tornarem-se fortes. Por outro lado, somente oito dos 54 testes realizados com os modelos processados de forma topológica sobre a rede axial de P sugeriram correlações Pearson $r > 0,3$. Isso representa que, em comparação com os valores de correlação Pearson (r) obtidos de forma geométrica, apenas 15% dos testes conseguiram correlações minimamente moderadas.

Sobre a rede axial de T foram processados, ao todo, 123 testes. Desses, nenhum apresentou valores de correlação Pearson (r) que superasse os limites $-0,3 > r > 0,3$, capazes de indicar correlações fragilmente moderadas. Esse cenário insinua que esse tipo de representação espacial é completamente inadequado para o estudo da maneira como a distribuição espacial de atividades econômicas se vincula aos modelos centralidades aplicados sobre essa cidade.

O gráfico da figura 64, abaixo, compara a quantidade de testes realizados sobre a rede espacial axial de cada cidade e o percentual deles que apresentaram valores de correlação Pearson (r) que sugerem correlações mais do que fracas.

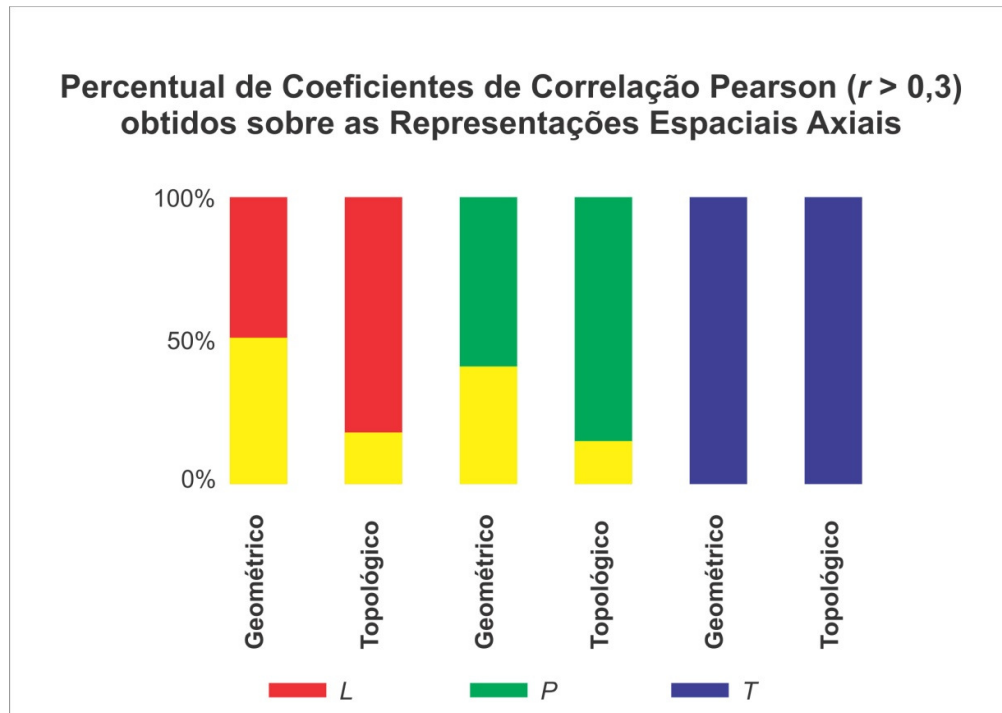


Figura 64 – Percentual de resultados de correlação Pearson (r) obtidos nos estudos de caso sobre as representações espaciais do tipo axial que apresentaram valores $r > 0,3$ (correlações minimamente moderadas) (Fonte: elaboração própria).

Sobre todas as representações espaciais do tipo axial processadas nessa pesquisa (L , P e T), parece haver uma predominância de resultados de correlação Pearson $r > 0,3$ quando se aplicam os modelos de centralidade de forma geométrica. Exceto no estudo de caso três (T), as outras duas cidades testadas apresentaram maior quantidade de valores de correlação Pearson (r) mais do que fracas quando as suas respectivas redes espaciais axiais foram processadas aplicando-se modelos que consideravam as distâncias internas da rede dessa forma.

Considerando-se todos os resultados de correlação Pearson (r) obtidos sobre as representações espaciais axiais das três cidades testadas, nota-se, claramente, uma grande frequência de valores de correlação Pearson com $0,2 < r < 0,3$, i.e., existe uma predominância de valores que se referem a correlações fracas, conforme pode ser observado no gráfico da figura 65, abaixo. Porém, a segunda maior quantidade de correlações Pearson (r) encontradas nesses experimentos é observada no intervalo de

0,3 < r < 0,4, i.e., indicando correlações minimamente moderadas. Esses valores sugerem que os modelos propostos nessa pesquisa, aplicados sobre a representação espacial axial são capazes, com algum rigor, de descrever o fenômeno da distribuição de atividades econômicas urbanas. No intervalo de correlações 0,4 < r < 0,5 ocorre uma quantidade significativamente menor: apenas cinco experimentos apresentaram correlações nesse intervalo. Somente a aplicação de três modelos de centralidade sobre as redes espaciais axiais de L , P e T geraram correlações Pearson com $r > 0,5$.

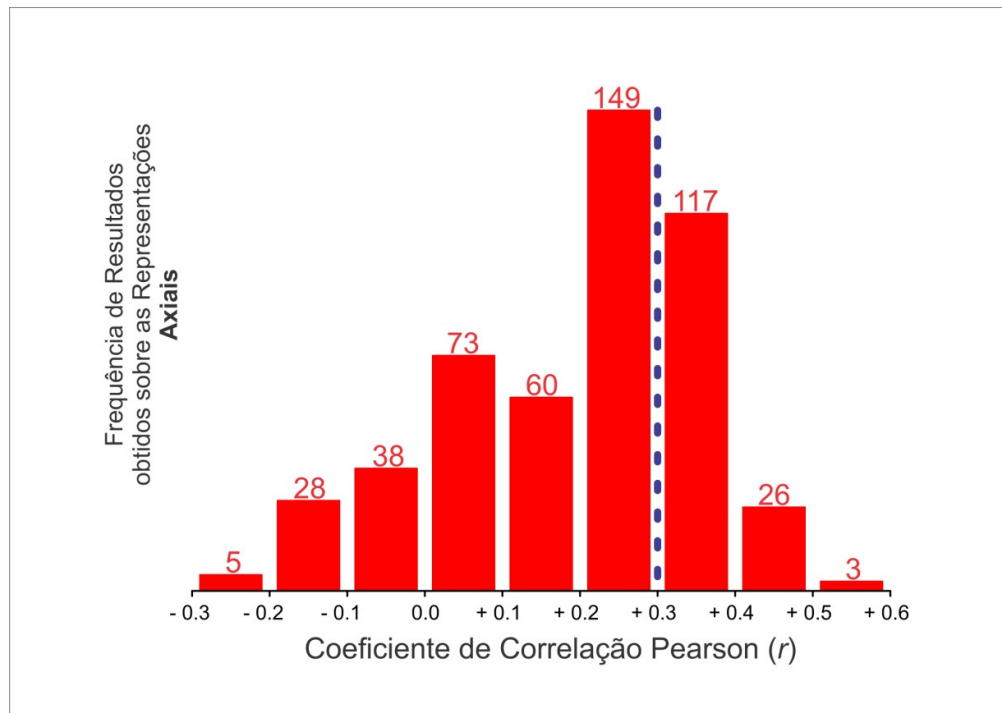


Figura 65 – Frequência de resultados de correlação Pearson (r) obtidos nos experimentos realizados sobre as redes espaciais axiais de L , P e T . A linha azul tracejada indica o limiar entre correlações fracas e minimamente moderadas. (Fonte: elaboração própria).

Os valores de correlação que excedem o limite $r > 0,5$ foram obtidos após os modelos de centralidade serem aplicados, de forma geométrica, sobre a rede espacial do tipo axial da cidade P . São eles: modelo de centralidade por *Alcance* geométrica com raio igual a 800 metros ($r = 0,543$), modelo de centralidade por *Excentricidade* geométrica com raio igual a 800 metros ($r = 0,546$) e modelo de centralidade por *Excentricidade* geométrica com raio igual a 1.100 metros ($r = 0,501$). Esses resultados indicam que os modelos de centralidade seriam, de certa forma, ajustáveis a cada cidade em função do raio de processamento pré-estabelecido. Em P , como fica claro, parece que as atividades econômicas tendem a se concentrar naqueles vértices da rede que mais alcançam outros espaços, a uma distância de cerca de 800 metros e naqueles espaços que possuem as

menores excentricidades quando essas são calculadas admitindo-se distâncias máximas em torno de 800 e 1.100 metros.

Assim, os resultados observados depois dos processamentos dos modelos de centralidade propostos sobre as redes axiais de L , P e T parecem invalidar, completamente, a primeira hipótese apresentada nessa pesquisa. Segundo Hillier et al. (1993) era de se esperar uma predominância de valores de correlação Pearson (r) mais expressivos, oriundos da aplicação do modelo de centralidade por *Proximidade*, processado de forma topológica, sobre as redes axiais. Porém, como ficou evidente, esse cenário não se confirmou.

Quando se observa o universo de resultados obtidos pela aplicação do coeficiente de correlação Pearson (r) oriundo da distribuição de atividades econômicas normalizadas pelas extensões das superfícies de domínio dos respectivos vértices da rede espacial nodal com os valores de centralidade gerados pela aplicação dos modelos de diferenciação espacial propostos nessa pesquisa, tem-se um cenário composto por uma quantidade ainda menor de correlações Pearson $r > 0,3$. Em L , o total de testes realizados aplicando-se os modelos de centralidade propostos nessa pesquisa sobre tal tipo de rede espacial é igual a 253 testes. Entre eles, 52 apresentaram valores de correlação Pearson $r > 0,3$, i.e., valores de correlação minimamente moderados. Nesse universo, 164 testes foram realizados considerando-se a geometria da rede espacial de L , sendo que dentro desses estão os 52 resultados correlacionais citados anteriormente (ou 32% dos experimentos geométricos). Por outro lado, a rede espacial nodal de L , processada de forma topológica, não apresentou, sequer, um valor de correlação Pearson $r > 0,3$ ou $r < -0,3$. Esse fato indica que a representação espacial nodal de L , processada com modelos de centralidade de forma topológica, parece não ser capaz de apresentar resultados que descrevam, minimamente, a maneira como se distribuem as atividades econômicas na cidade.

Sobre a rede espacial nodal de P , no total, foram realizados 163 testes. Desses, apenas 20 apresentaram valores de correlação Pearson $r > 0,3$ (cerca de 12%). Dividindo-se os testes conforme o método de processamento de distâncias, tem-se que 99 deles foram realizados de forma geométrica e os demais 64 de forma topológica. Os 20 valores de correlação Pearson $r > 0,3$ foram, todos, obtidos quando se processa a rede nodal de P de forma geométrica. Assim, como visto nos resultados obtidos sobre a representação

especial nodal de *L*, parece que a rede espacial nodal de *P*, quando processada de forma topológica, também é muito pouco suscetível a apresentar valores de correlação Pearson (*r*) capazes de descrever, com um mínimo de rigor, a maneira como as atividades econômicas urbanas se distribuem sobre a cidade.

Na cidade *T*, os testes realizados com a representação espacial do tipo nodal totalizaram 188 experimentações. Entre essas, nenhuma atingiu valores de correlação Pearson que superasse o limite $-0,3 > r > 0,3$. Esses resultados apontam, claramente, que o tipo de descrição espacial nodal é completamente ineficiente para a compreensão da lógica de como as atividades econômicas urbanas se distribuem pela cidade.

É visível no gráfico da figura 66 (abaixo) que a quantidade de valores de correlação Pearson (*r*) que superaram o limite que indica correlações mais do que fracas ($r > 0,3$) é mínimo nos testes obtidos sobre as redes espaciais do tipo nodal das cidades analisadas.

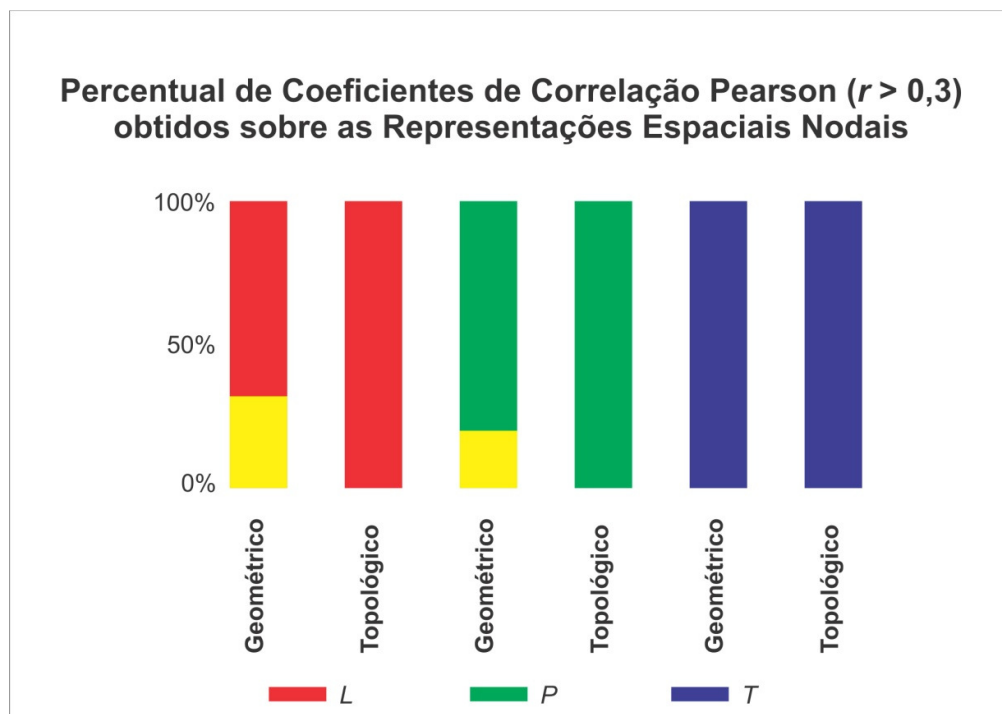


Figura 66 – Percentual de resultados de correlação Pearson (*r*) obtidos nos estudos de caso sobre as representações espaciais do tipo nodal que apresentaram valores $r > 0,3$ (correlações minimamente moderadas) (Fonte: elaboração própria).

Topologicamente, nenhum deles apresentou sequer uma correlação Pearson $r > 0,3$. Uma pequena parte dos testes realizados com as redes espaciais de *L* e *P*, processadas de forma geométrica, conseguiram obter tais correlações, sugerindo que esse tipo de representação espacial é extremamente frágil para a aplicação de modelos de

centralidade que pretendem descrever a distribuição espacial de atividades econômicas urbanas. Portanto, nesse cenário, parece claro que o processamento topológico das representações espaciais do tipo nodal é ineficiente para o estudo da maneira como as atividades econômicas tendem a se distribuir espacialmente numa cidade. Esse tipo de representação espacial, mesmo quando processada de forma geométrica, não apresentou (conforme a metodologia apresentada nessa pesquisa) uma quantidade expressiva de valores de correlação Pearson $r > 0,3$, implicando resultados que são muito pouco significativos.

Quando se agrupam todos os resultados de correlação Pearson (r), obtidos através da aplicação dos modelos de centralidade processados sobre as redes espaciais nodais das três cidades dos estudos de caso, verifica-se uma ampla concentração de valores no intervalo que varia de $-0,1 < r < 0,3$. Essa faixa aponta que predominam resultados de correlação Pearson (r) muito fracas, que não são capazes de descrever o fenômeno da distribuição de atividades econômicas nas cidades, nem ao menos de forma minimamente moderada.

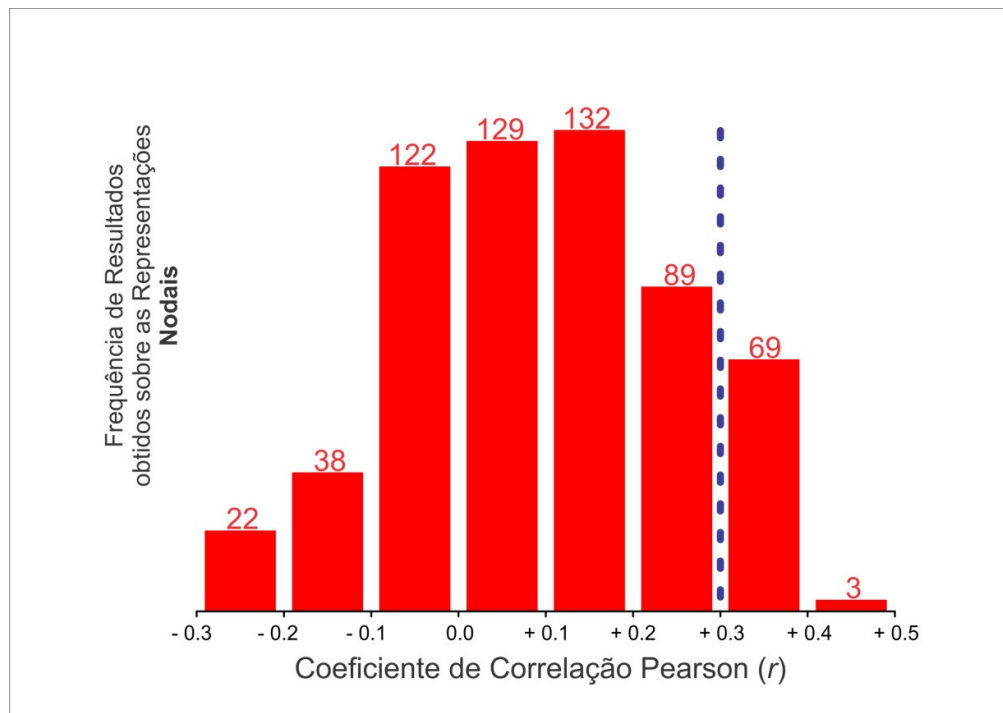


Figura 67 – Frequência de resultados de correlação Pearson (r) obtidos nos experimentos realizados sobre as redes espaciais nodais de L , P e T . A linha azul tracejada indica o limiar entre correlações fracas e minimamente moderadas (Fonte: elaboração própria).

Existem apenas três correlações Pearson no intervalo $0,4 < r < 0,5$ que foram obtidas após o processamento dos modelos de centralidade sobre as redes nodais das cidades dos estudos de caso. Esses resultados geram correlações que tendem à moderação plena ($r = 0,5$) e são obtidos após a aplicação dos modelos de centralidade por *Alcance* geométrica, com raio igual a 800 metros ($r = 0,423$), modelo de centralidade por *Excentricidade* geométrica com raio igual a 800 metros ($r = 0,428$) e modelo de centralidade por *Excentricidade* geométrica com raio igual a 1.100 metros ($r = 0,403$), todos derivados da rede espacial nodal de *P*.

Esses valores de correlação vão na direção apontada pelos resultados de correlação Pearson (r) obtidos sobre as redes espaciais axiais, citadas anteriormente. Parece, muito claramente, que a distribuição de atividades econômicas, especialmente em *P*, está associada a propriedades espaciais muito bem definidas (alcance e excentricidade). Essas propriedades espaciais ficam mais explícitas quando são verificadas considerando-se distâncias que variam entre 800 e 1.100 metros. Assim, os modelos de diferenciação espacial conhecidos por centralidade por *Alcance* e centralidade por *Excentricidade* seriam os que melhor descrevem a ocorrência de atividades econômicas nessa cidade.

Ao fim dos testes com as redes nodais de *L*, *P* e *T*, parece que a hipótese II (Michael Batty/Sergio Porta) é frágil, pois o processamento da rede nodal (equivalente a um grafo *primal*), não gerou uma quantidade de correlações Pearson ($r > 0,3$) tão expressivas quanto às obtidas nos testes realizados sobre as redes espaciais do tipo axial e por trechos de rua (que será demonstrado na sequência) das cidades estudadas. Essa hipótese não é totalmente refutada pois esses autores, especialmente Michael Batty, colocam que o processamento de redes *primais* de forma geométrica é mais representativo para os estudos urbanos do que o processamento que considera a topologia da rede. De fato, o processamento geométrico da rede nodal das três cidades analisadas apresentou correlações mais fortes do que aqueles resultados obtidos após a aplicação dos modelos sobre essa rede de forma topológica. No entanto, a fragilidade de tais correlações indica que esse tipo de rede (*primal*) não parece ser mais sensível ao fenômeno estudado do que as redes do tipo *dual* (oriundas dos mapas axiais e de trechos de rua), como era de se esperar, de acordo com as proposições desses pesquisadores.

Os resultados de correlação Pearson (r) obtidos sobre a rede espacial formada por trechos de rua de L , apresentaram um total de 253 testes. Entre eles, 120 apresentaram valores de correlação Pearson $r > 0,3$, i.e., correlações mais do que fracas. No entanto, todos esses valores foram obtidos quando a rede espacial de trechos de rua da cidade é processada com modelos de centralidade aplicados de forma geométrica. Em 164 testes realizados dessa forma, 73% apresentaram correlações, ao menos, minimamente moderadas. Por outro lado, tem-se um cenário em que nenhum valor de correlação Pearson (r) obtido pela comparação entre os modelos de centralidade processados de maneira topológica e a localização de atividade econômicas nessa cidade é maior do que 0,3.

O mesmo raciocínio, aplicado sobre a rede espacial formada por trechos de rua de P sugere que, entre os 158 testes realizados no total, 58 apresentaram correlações Pearson $r > 0,3$. Entre esses 158 testes, 94 foram realizados considerando-se a geometria da rede enquanto que os outros 64 foram realizados considerando-se a topologia da rede. Dos testes realizados com a rede espacial formada por trechos de rua de P processada de forma geométrica, 53 testes (ou 56%) apresentaram correlações mais do que minimamente moderadas, ao passo que entre os 64 testes realizados com essa rede sendo processada de forma topológica, apenas 5 (ou 8%) conseguiram o mesmo tipo de correlação Pearson (r).

Finalmente, pela primeira vez foram obtidos valores de correlação Pearson provenientes da cidade T que superaram $r > 0,3$. No total, sobre a rede espacial definida por trechos de rua de T , foram processados 178 testes, tanto de forma geométrica quanto de forma topológica. Desses, 78 apresentaram valores que apontam para correlações mais do que fracas. A imensa maioria deles foi obtida quando a rede espacial formada por trechos de rua de T foi processada de maneira geométrica: entre 99 testes realizados dessa forma, cerca de 70% tem valor de correlação Pearson $r > 0,3$. Topologicamente, foram realizados 79 testes, dos quais apenas nove (ou 11%) superaram o limite correlacional $r > 0,3$, conforme pode-se verificar no gráfico da figura 68, abaixo.

Diferente dos resultados verificados sobre as representações espaciais do tipo axial e nodal, a quantidade de valores de correlação Pearson $r > 0,3$ é significativamente maior quando verifica-se o universo de resultados obtidos pelo processamento dos modelos de centralidade propostos nessa pesquisa sobre as redes espaciais definidas por trechos de

rua dos estudos de caso. Especialmente, quando os modelos de centralidade foram processados de forma geométrica, percebe-se que a maioria dos testes geraram valores de correlação Pearson (r) mais do que minimamente moderados. Topologicamente, os valores continuam, como nos testes sobre as representações espaciais do tipo axial e nodal, apresentando poucos valores de correlação com alguma representatividade.

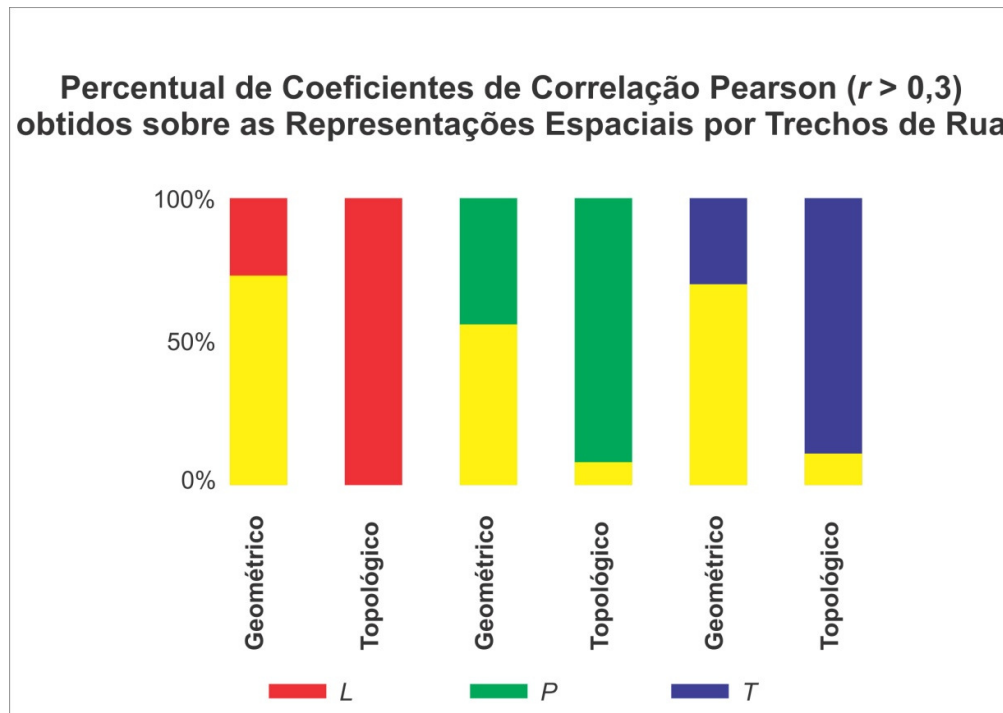


Figura 68 – Percentual de resultados de correlação Pearson (r) obtidos nos estudos de caso sobre as representações espaciais definidas por trechos de rua que apresentaram valores $r > 0,3$ (correlações minimamente moderadas) (Fonte: elaboração própria).

Conforme o gráfico da figura 69, abaixo, os valores de correlação Pearson (r) obtidos em todos os testes realizados com as representações espaciais definidas pelos trechos de rua das cidades estudadas nessa pesquisa, apontam para uma maior incidência de correlações no intervalo $0,3 < r < 0,4$, i.e., indicando a predominância de correlações minimamente moderadas.

Comparando essa distribuição de coeficientes de correlação Pearson (r) com os outros valores oriundos da aplicação dos modelos de centralidade sobre as redes espaciais do tipo axial e nodal, nota-se que esses testes geraram os valores correlacionais mais representativos dessa pesquisa. Esses experimentos também apresentam a maior quantidade de valores correlacionais Pearson com $r > 0,5$. Todos esses índices de correlação foram obtidos após o processamento geométrico dos modelos de centralidade

sobre a rede espacial definida por trechos de rua da cidade *P*. Ao todo, os seis maiores valores são oriundos da aplicação dos modelos de centralidade por *Alcance* geométrica com raio igual a 800 metros ($r = 0,501$), centralidade por *Excentricidade* geométrica com raio igual a 800 metros ($r = 0,529$), centralidade por *Excentricidade* geométrica com raio igual a 1.100 metros ($r = 0,507$), centralidade por *Intermediação Planar* geométrica com raio igual a 2.000 metros ($r = 0,507$), centralidade por *Intermediação Planar* geométrica com raio igual a 2.300 metros ($r = 0,510$) e centralidade por *Intermediação Planar* geométrica com raio igual a 2.600 metros ($r = 0,501$). Assim, conclui-se que, entre os três tipos de representação espacial testados, o único que gerou correlações Pearson (r) mais do que minimamente moderadas em todos os estudos de caso, foi aquele que descreve o espaço urbano na forma de trechos de rua, parecendo que esse tipo de representação espacial é a mais adequada para elucidação do fenômeno da distribuição espacial de atividades econômicas urbanas.

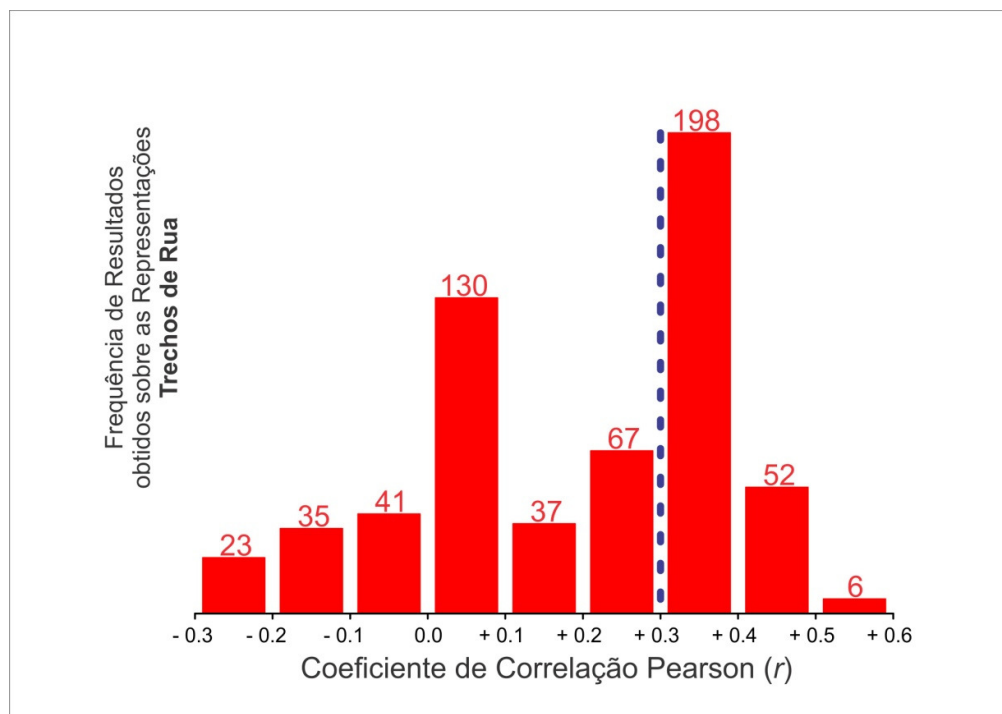


Figura 69 – Frequência de resultados de correlação Pearson (r) obtidos nos experimentos realizados sobre as redes espaciais definidas por trechos de rua de *L*, *P* e *T*. A linha azul tracejada indica o limiar entre correlações fracas e minimamente moderadas (Fonte: elaboração própria).

Considerando os três tipos de representação espacial testados nessa pesquisa, os resultados obtidos sobre as redes espaciais definidas por trechos de rua das cidades analisadas parecem indicar que a hipótese III (Andres Sevtsuk) é a que gera a melhor resposta para essa pesquisa. Esse pesquisador utiliza em seu trabalho uma

representação espacial extremamente desagregada (SEVTSUK, 2010), na qual cada entidade espacial equivale a um edifício. Isso gera uma rede com grande quantidade de elementos espaciais. Além disso, o autor processa seus modelos considerando a geometria da rede de ruas. Portanto, de acordo com essa hipótese, era de se esperar que a rede espacial testada que fosse a mais desagregada possível e que fosse processada de forma geométrica, apresentaria as correlações Pearson (r) mais expressivas. E, entre as três redes espaciais testadas nessa pesquisa (axial, nodal e por trechos de rua), a que apresentou os valores de correlação Pearson (r) mais significativos foi, exatamente, aquela rede que possuía a maior quantidade de entidades espaciais, i.e., a rede espacial formada por trechos de rua. Assim, esses resultados sugerem que os melhores valores correlacionais estão associados àqueles modelos de centralidade aplicados sobre redes espaciais que apresentam o maior grau de desagregação possível e que são processadas considerando a sua geometria.

Vale ressaltar que os resultados obtidos nessa pesquisa demonstram que, conforme Krafta (2014) argumenta, dependendo do tipo de representação espacial aplicado, pode ocorrer enorme variação nos resultados de centralidade obtidos para uma mesma cidade. Ou seja, os resultados de diferenciação espacial observados sobre uma determinada rede espacial podem ser bastante diferentes dos resultados obtidos pela aplicação do mesmo modelo de centralidade, sobre um outro tipo de representação espacial da mesma cidade.

Também vale comentar que, diferente do que é criticado por Batty (2004), essa pesquisa sugere que nem sempre as representações espaciais do tipo *primal* descrevem a dinâmica espacial urbana de forma mais apurada do que representações espaciais do tipo *dual*. É verdade que aqui os modelos de centralidade que obtiveram os valores de correlação mais significativos foram gerados a partir do processamento geométrico das redes espaciais do tipo *dual*. No entanto, também é verdade que os modelos de centralidade processados sobre a representação espacial *primal* utilizada nessa pesquisa (mapa nodal) foram os que geraram a menor quantidade de coeficientes de correlação Pearson (r) com a distribuição de atividades econômicas mais expressivos, parecendo, portanto que esse tipo de representação espacial é menos eficaz para o estudo da ocorrência de atividades econômicas no espaço urbano do que as representações espaciais do tipo *dual*, i.e., a representação axial e a representação por trechos de rua.

Também, conclui-se muito claramente com o universo de resultados verificados ao longo dessa pesquisa, que parece ser inválida qualquer aplicação de modelos de centralidade de forma topológica sobre as redes espaciais urbanas quando se tem a finalidade de descrever como atividades econômicas se localizam no espaço urbano.

Finalmente, pode-se constatar que os estudos realizados parecem deixar evidente que a aplicação dos modelos de centralidade sobre as redes espaciais formadas por trechos de rua e processados de forma geométrica são os que apresentam os valores correlacionais mais representativos para estudos desse tipo. Consequentemente, seguindo essa lógica, parece que quanto mais desagregadas forem as unidades espaciais numa rede espacial, mais acurados tendem a ser os resultados de correlação Pearson (r) obtidos.

Entre os cinco modelos processados nessa pesquisa, percebe-se que, em nenhum momento, aparece entre os valores de correlação Pearson (r) mais altos, valores oriundos da aplicação dos modelos de centralidade por *Intermediação* e nem da aplicação do modelo de centralidade por *Proximidade*. Essas conclusões invalidam, parcialmente, as hipóteses I (Bill Hillier) e II (Michael Batty e Sergio Porta). Por outro lado, os modelos de centralidade por *Excentricidade*, centralidade por *Alcance* e centralidade por *Intermediação Planar*, aparecem como os que são responsáveis pela geração dos valores de correlação Pearson (r) mais relevantes dessa pesquisa, validando – parcialmente – as hipóteses II (Michael Batty e Sergio Porta) e III (Andrés Sevtsuk).

É muito importante salientar que essa pesquisa demonstra que tais modelos de centralidade são ajustáveis, em função do tamanho do raio de busca pré-estabelecido no processamento das centralidades, podendo apresentar resultados mais (ou menos) acurados, dependendo de cada realidade urbana analisada. Os valores obtidos nessa pesquisa indicam que, para a cidade *P*, por exemplo, a uma distância que varia entre 800 e 1.100 metros, os modelos de centralidade por *Excentricidade* e centralidade por *Alcance* apresentam as correlações mais significativas, sugerindo que para tal cidade, as atividades econômicas urbanas tenderiam a ocorrer de forma a privilegiar os espaços menos excêntricos e com maior grau de alcance de outros espaços dentro desses raios de busca.

Os testes realizados na etapa de experimentos dessa pesquisa também parecem significar uma importante contribuição desse trabalho para o campo dos estudos configuracionais. Evidências sugerem que o campo de modelagem urbana, invariavelmente, utiliza técnicas de calibragem a fim de melhor reproduzir e capturar nuances da realidade urbana. Porém, a utilização da distância como fator de calibragem desses modelos parece ainda não ter sido suficientemente abordada. Aqui, obtiveram-se resultados diversos que variavam de acordo com os raios testados sobre cada modelo de centralidade aplicado, indicando que tais modelos parecem ser ajustáveis a cada cidade em função, apenas, das distâncias consideradas.

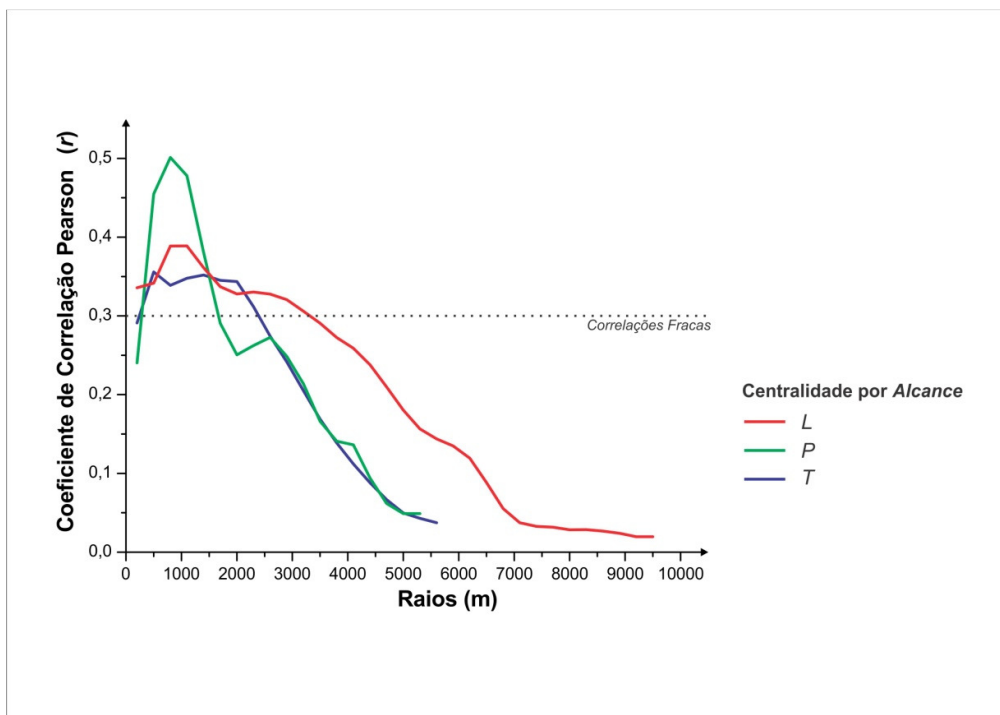


Figura 70 – Perfil das curvas de coeficiente de correlação Pearson (r) obtidas após a aplicação do modelo de centralidade por *Alcance*, processado de forma geométrica, sobre as redes espaciais definidas por trechos de rua de *L* (vermelho), *P* (verde) e *T* (azul), respectivamente. Note que o perfil das curvas é semelhante. Sua amplitude horizontal varia em função do diâmetro da rede (*L* possui o maior e *P* o menor). Das três cidades testadas, percebe-se que o raio de 800 metros gera a correlação Pearson (r) mais forte (em *P* – $r = 0,501$). Para *L* e *T*, esse modelo não chega a apresentar valores de correlação tão expressivos, porém percebe-se que em torno desse mesmo raio, localizam-se as correlações mais altas ($r = 0,388$ para *L* e $r = 0,351$ para *T*, com raios iguais a 1.100 e 1.400 metros, respectivamente). Assim, parece que o modelo pode ser ajustado a cada cidade, individualmente, em função de raios que melhor se associam ao fenômeno da distribuição de atividades econômicas urbanas (Fonte: elaboração própria).

Essa pesquisa também permite inferir que existiria um perfil genérico das curvas de correlação Pearson (r) oriundas da comparação entre centralidades e a distribuição de atividades econômicas urbanas. De forma geral, parece que as curvas obtidas após a aplicação dos modelos de centralidade por *Alcance* e centralidade por *Excentricidade*

têm, rotineiramente, um comportamento que tende a atingir um pico, logo nos primeiros testes, estabilizando-se na sequência. Já a aplicação dos modelos de centralidade por *Intermediação Planar* e centralidade por *Intermediação*, de maneira geral, apresentam uma suave curva com tendência de crescimento, apresentando seus picos numa faixa de raios intermediária (i.e., que se localiza num setor diferente daquele dos primeiros e dos últimos testes – que foram efetuados com os menores e maiores raios). Por sua vez, quase que invariavelmente, o comportamento da curva oriunda da aplicação do modelo de centralidade por *Proximidade* se assemelha a uma curva senoidal, i.e., a curva tende a apresentar um pico inferior e, na sequência, atinge um pico superior, sempre associado aos raios com valores mais elevados. Esse perfil geral é descrito no gráfico da figura 71.

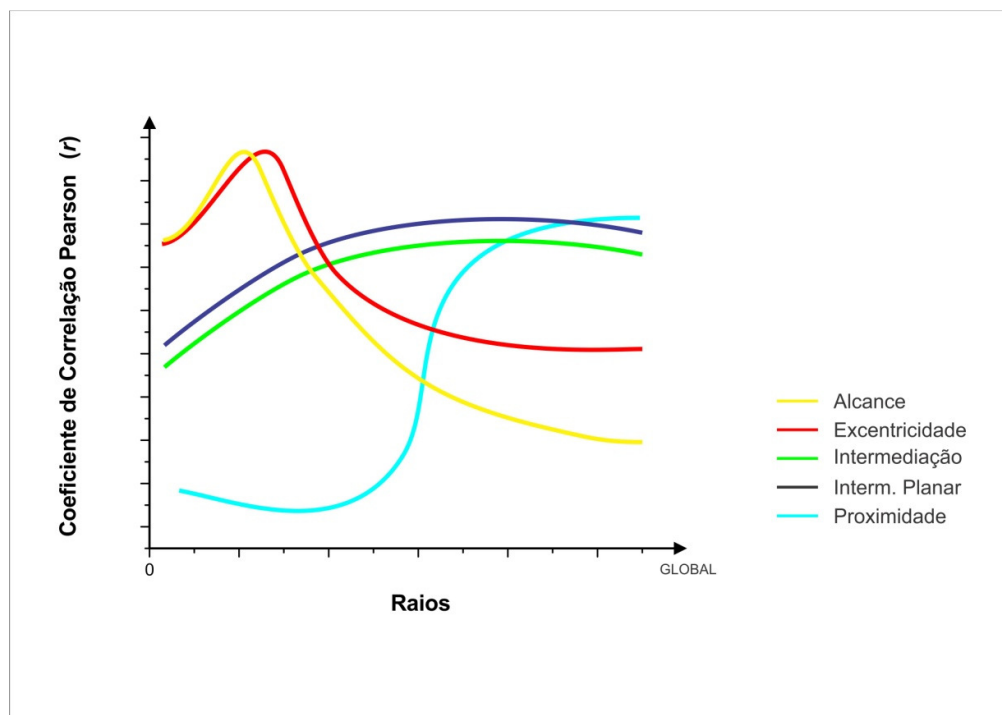


Figura 71 – Perfil genérico observado nas curvas obtidas pelas correlações Pearson (r) entre os modelos de centralidade testados e a distribuição de atividades econômicas urbanas nas cidades analisadas. As curvas obtidas pela aplicação dos modelos de centralidade por *Alcance* (linha amarela) e centralidade por *Excentricidade* (linha vermelha) parecem apresentar os valores correlacionais mais expressivos nos testes efetuados com os raios com valores baixos. Na sequência, a curva oriunda do modelo de centralidade por *Alcance* tende a zero, enquanto a curva obtida após a aplicação do modelo de centralidade por *Excentricidade* parece estabilizar-se. Já as curvas oriundas da aplicação dos modelos de centralidade por *Intermediação Planar* (linha azul escuro) e *Intermediação* (linha verde) apresentam, geralmente, suave tendência de crescimento e, após atingirem um pico, entram em fase de estabilização. Por sua vez, a curva que descreve os resultados obtidos após a aplicação do modelo de centralidade por *Proximidade* (linha azul ciano) apresenta, geralmente, na primeira metade dos testes realizados com raios com valores baixos, valores de correlação também baixos. A partir de um determinado valor, rotineiramente verificado no entorno dos raios testados na metade dos experimentos, a curva entra em franca tendência de subida, até atingir um pico próximo do maior raio testado, de forma a se estabilizar na sequência (Fonte: elaboração própria).

7 – Conclusão

De maneira geral, ao se considerar todos os resultados de coeficiente de correlação Pearson (r) obtidos nessa pesquisa, tem-se um cenário que permite concluir que a maioria dos resultados de centralidade associam-se, de forma apenas fraca, com o fenômeno da distribuição de atividades econômicas urbanas. Porém, o objetivo dessa pesquisa está em obter, apenas entre aqueles valores de correlação que mais se destacam, o tipo de processamento de distâncias (1), o tipo de representação espacial (2) e indícios sobre algum modelo de centralidade (3) que, associados, consigam descrever de forma mais robusta o fenômeno da distribuição de atividades econômicas urbanas. No universo composto pelos 1.692 testes realizados existem, apenas nove valores que superam a linha de correlações mais do que moderadas ($r > 0,5$) e, é neles que o capítulo da conclusão focará.

Em primeiro lugar, fica claro que existe total predominância de valores de correlação Pearson (r) mais destacados oriundos dos processamentos geométricos do que dos processamentos topológicos verificados nessa pesquisa. Na realidade, apenas nos experimentos realizados sobre a rede axial da cidade T verificaram-se valores de correlação Pearson (r) oriundos da aplicação dos modelos de centralidade de forma topológica maiores do que aqueles obtidos após o processamento das medidas de centralidade de maneira geométrica. Mesmo assim, esses valores de correlação Pearson (r) são baixos, destacando-se o valor oriundo da aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação Planar* topológica global ($r = 0,242$) (consulte gráfico da figura 55, na página 107). Nos demais cenários, a maioria dos valores de correlação mais próximos dos extremos da reta correlacional Pearson ($-1 < r < 1$) foram obtidos pelo processamento dos modelos de centralidade de forma geométrica. **Portanto, fica evidente que o tipo de processamento de distância geométrico possui maior efetividade para o entendimento do fenômeno da distribuição espacial de atividades econômicas urbanas do que aquele processado de forma topológica.**

Em segundo lugar pode-se concluir que, comparando-se os tipos de representações espaciais, os resultados que sugerem as correlações mais fortes entre os modelos de centralidade processados e a distribuição de atividades econômicas, parecem ser aqueles obtidos sobre as representações espaciais por trechos de rua, seguido por aqueles oriundos do processamento das redes axiais e, finalmente, sobre as redes nodais. Nos

três estudos de caso, percebe-se que em dois deles os valores de correlação Pearson (r) mais destacados para cada tipo de representação espacial são oriundos desse tipo de rede espacial urbana (L e T). A tabela 3, abaixo, apresenta esses resultados.

Tabela 3 – Maiores valores de Coeficientes de Correlação Pearson (r) obtidos nos estudos de caso por tipo de representação espacial. Em destaque as correlações mais elevadas em cada estudo de caso (Fonte: elaboração própria).

Estudo de Caso	Rep. Espacial	Modelo de Cent. com maior valor Pearson (r)	Coef. de Correl. Pearson (r)
L	Axial	Interm. Planar Geométrica com raio igual a 9.800 metros	0,402
L	Nodal	Alcance geométrica com raio igual a 1.100 metros	0,380
L	Trechos de Rua	Interm. Planar Geométrica com raio igual a 2.600 metros	0,411
P	Axial	Excentricidade Geométrica com raio igual a 800 metros	0,546
P	Nodal	Excentricidade Geométrica com raio igual a 800 metros	0,428
P	Trechos de Rua	Excentricidade Geométrica com raio igual a 800 metros	0,528
T	Axial	Intermediação Planar Topológica Global	0,242
T	Nodal	Proximidade Geométrica com raio igual a 3.800 metros	0,260
T	Trechos de Rua	Interm. Planar Geométrica com raio igual a 3.200 metros	0,420

Dos nove testes que apresentaram valores de correlação Pearson $r > 0,5$, seis foram obtidos após o processamento de modelos de centralidade sobre uma representação espacial definida por trechos de rua. Mais do que isso, entre os valores de correlação Pearson (r) mais altos observados em cada uma das representações espaciais das cidades analisadas, em L e em T , tais valores de correlação Pearson (r) são oriundos de testes executados sobre esse tipo de representação espacial, ao passo que em P a representação espacial por trechos de rua fica atrás, somente, daquela gerada pela representação espacial axial (ainda assim, a diferença entre os valores de correlação Pearson (r) mais altos obtidos sobre a rede axial e sobre a rede de trechos de rua é pequena ($r = 0,546$ e r

= 0,528, respectivamente)). Além disso, os testes com as representações espaciais definidas por trechos de rua, em todos os estudos de caso apresentaram (invariavelmente) valores de correlação Pearson $r > 0,3$, ou seja, geraram correlações, ao menos, minimamente moderadas.

Dessa forma, pode-se concluir que existe uma maior incidência de valores de correlação Pearson (r) que apresentam resultados mais expressivos, que foram obtidos depois de testes realizados sobre as representações espaciais por trechos de rua, indicando que esse tipo de representação espacial é mais suscetível a captar aspectos importantes do fenômeno urbano estudado do que as outras redes espaciais que foram testadas nessa pesquisa.

Quanto aos modelos de centralidade que melhor descrevem o fenômeno por trás da lógica espacial das atividades econômicas urbanas, quando considera-se apenas os valores de correlação Pearson (r) que mais se destacam em cada estudo de caso, tem-se que para as cidades de L e T , a ocorrência de atividades econômicas parece estar melhor associada àqueles espaços que apresentam maiores valores de centralidade por *Intermediação Planar*. Nessas cidades existe uma clara predominância de atividades econômicas naqueles espaços que se referem às principais vias de circulação interna da cidade, como pode ser facilmente notado nas avenidas “A” e “B”, descritas na apresentação do estudo de caso da cidade de T , por exemplo (consulte a figura 51 na página 102). Essas vias são, muito facilmente identificadas quando se visualizam os resultados da aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação Planar* com raios iguais a 2.600 metros e 3.200 metros, sobre as redes espaciais definidas por trechos de rua de L e T , respectivamente (consulte as figuras 37 e 63, nas páginas 83 e 117, respectivamente).

Já para a cidade de P , os resultados de correlação Pearson (r) mais destacados sugerem que a razão por trás da escolha locacional de agentes econômicos que atuam na cidade tende a privilegiar aqueles espaços que conseguem exercer maior grau de alcance e que se localizam naquelas unidades espaciais menos excêntricas. Diferentemente das cidades L e T , onde é possível perceber uma certa predominância de áreas com desenho urbano regular (geralmente, de matriz xadrez), a cidade P , apresenta um traçado urbano visivelmente mais irregular, condizente com sua origem no período colonial da história do Brasil, sendo o centro de comércio e serviços alocado numa área da cidade que

força, em média, um grande grau de mudanças de direção (excentricidade) para ser alcançado pelos outros espaços da periferia da cidade. Além disso, segundo essa pesquisa, tais atividades parecem ter maior incidência sobre aqueles espaços da rede espacial que conseguem alcançar maior quantidade de outros espaços dentro de um raio de 800 metros. Assim, se admitirmos que os consumidores estejam (de alguma forma) distribuídos de forma homogênea sobre o espaço, parece que esses estabelecimentos se concentram em locais que possuem privilégios para alcançar a maior quantidade de consumidores que estejam localizados dentro de um raio igual a 800 metros de distância deles. Evidentemente, a maioria das atividades econômicas urbanas catalogadas nessa pesquisa são populares (tais como padarias, farmácias, mercearias, barbeiros, açougues, etc), i.e., tendem a formar aglomerados. Percebe-se, claramente, de maneira especial na cidade de *P*, que ocorrem concentrações desse tipo de estabelecimento em áreas da cidade que estão fortemente associadas com os vértices da rede espacial mais centrais, conforme a aplicação dos modelos de centralidade por *Excentricidade* e centralidade por *Alcance* com raio igual a 800 metros. Esses resultados parecem indicar que a concentração de atividades econômicas urbanas ocorre de maneira a favorecer a formação de *clusters* compostos por atividades que exploram a aglomeração de consumidores mutuamente, ou seja, estabelecimentos que “parasitariam” os clientes uns dos outros (FUJITA; THISSE, 1996). Assim, esse resultado estaria apontando para aqueles espaços com maior concentração de atividades econômicas populares, pois elas parecem se concentrar em áreas da cidade que privilegiam deslocamentos mais rápidos, que podem ser feitos até mesmo a pé, condizentes com o raio igual a 800 metros aplicado no modelo. Ou seja: de acordo com essa pesquisa, as maiores aglomerações de atividades econômicas urbanas, na cidade *P*, tenderiam a ocorrer naqueles vértices da rede espacial que possuem maior capacidade de alcançar outros espaços num raio de 800 metros que, por sua vez (e em função da configuração da rede de ruas de origem colonial), ocorrem nas ruas da cidade com algum grau de excentricidade.

Concluindo esse trabalho, os resultados da pesquisa permitem entender que os valores de centralidade obtidos pelo processamento geométrico, ou seja, os que admitem a influência da distância euclidiana real sobre o comportamento da rede, são mais eficazes à compreensão do fenômeno estudado do que aqueles resultados obtidos em função da topologia da rede (1). Os resultados alcançados também apontam que a descrição do espaço na forma de uma rede espacial formada por

trechos de rua parece ser mais eficiente do que a representação espacial axial e do que a representação espacial nodal para a compreensão da forma como as atividades econômicas se localizam no espaço urbano (2). Mais do que isso, a pesquisa conclui que, nas cidades analisadas nos estudos de caso, o fenômeno da distribuição de atividades econômicas está associado, de forma considerável, às propriedades espaciais conhecidas como excentricidade e conectividade. Além delas, a propriedade de intermediação, também é capaz de descrever, com alguma acuidade, como tal fenômeno ocorre (3).

Vale ressaltar que, entre os resultados de correlação Pearson (r) mais representativos dessa pesquisa, a ausência de valores oriundos do processamento do modelo de centralidade por *Proximidade* topológica sobre as redes axiais das cidades dos estudos de caso é notável. Esse tipo de experimentação, extremamente adotado como referência para a compreensão da dinâmica espacial urbana nos estudos que aplicam a teoria da *space syntax* (com o nome de *Integração* (HILLIER et al., 1993)) não gerou, de acordo com a metodologia aqui empregada, sequer uma correlação Pearson (r) minimamente moderada, suscitando dúvidas acerca do emprego desse tipo de teoria nos estudos espaciais que pretendem associar modelos de centralidade em redes espaciais urbanas ao fenômeno da distribuição de atividades econômicas.

A pesquisa realizada indica também que, dependendo das cidades analisadas, os modelos de centralidade podem ser ajustáveis em função de seus raios processados. Ou seja, cada modelo de centralidade pode apresentar correlações mais ou menos representativas, conforme variam os raios de busca processados durante a aplicação de cada modelo, podendo assim apresentar valores correlacionais otimizados, caso a caso. Obviamente, como qualquer rotina de calibração, isso implica um trabalho de tentativas sequenciais, já que cada cidade, em função de sua configuração espacial, dimensão da rede, entre outros aspectos, podem apresentar valores de raios de busca bastante diferentes. Nessa pesquisa, por exemplo, parece que a lógica locacional por trás das localizações das atividades econômicas em L , P e T , é melhor descrita pela aplicação do modelo de centralidade por *Intermediação Planar* com raio igual a 3.200 metros, pela aplicação do modelo de centralidade por *Excentricidade* geométrica com raio igual a 800 metros e pela aplicação do modelo de *Intermediação Planar* com raio igual a 2.600 metros, respectivamente. Ou seja, os melhores valores de distância associados aos maiores valores correlacionais são cambiáveis de cidade para cidade.

Finalmente, é importante salientar que essa pesquisa apresenta limitações que foram impostas pela dificuldade em se obter dados confiáveis a respeito da localização de atividades econômicas urbanas (formais e informais), do número limitado de ferramentas capazes de processar centralidades, do número reduzido de tipos de descrição do espaço nela aplicados, entre outras. Também, é importante colocar que a pesquisa se limitou a explorar, apenas, correlações entre variáveis que estariam linearmente associadas. Porém, poderiam ter sido observados outros valores de correlação entre o fenômeno da distribuição de atividades econômicas urbanas e as centralidades propostas, se fossem aplicadas outras ferramentas estatísticas voltadas à identificação de correlações entre variáveis que não são linearmente correlacionadas.

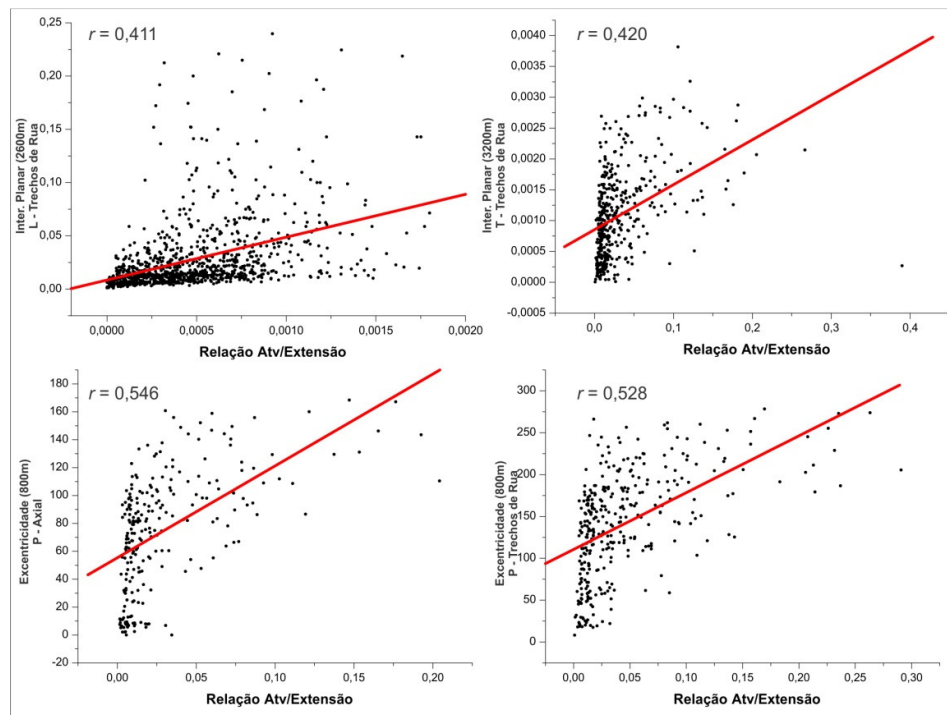


Figura 72 – Gráfico de dispersão dos quatro resultados de correlação mais significativos verificados na pesquisa. No canto superior esquerdo é apresentado a dispersão dos valores da relação entre a quantidade de atividades econômicas por extensão de trecho de rua da cidade *L* com os valores de centralidade por *Intermediação Planar* com raio igual à 2600m ($r = 0,411$). Abaixo, verifica-se a dispersão dos valores da relação entre a quantidade de atividades econômicas por extensão de linha axial da cidade *P* com os valores de centralidade por *Excentricidade* com raio igual à 800m ($r = 0,546$). No canto superior direito é exibido a dispersão dos valores da relação entre a quantidade de atividades econômicas por trecho de rua da cidade *T* com os valores de centralidade por *Intermediação Planar* com raio igual à 3200m ($r = 0,420$). Finalmente, no canto inferior direito, é apresentado a dispersão dos valores da relação entre a quantidade de atividades econômicas por extensão de trecho de rua da cidade *P* com os valores de centralidade por *Excentricidade* com raio igual à 800m ($r = 0,528$) (Fonte: elaboração própria).

Assim, poderiam ter sido realizados testes experimentando-se outros tipos de coeficiente de correlação entre variáveis como o coeficiente de correlação Spearman⁵⁴ ou o τ de Kendall⁵⁵, por exemplo. Essas são todas colocações que permitem explorar mais esse tema, ampliando a gama de possibilidades a experimentar em estudos posteriores. Apesar dessas fragilidades, esse trabalho representou um esforço de compreensão de um fenômeno que ocorre cotidianamente no espaço urbano e que parece ainda não ter sido plenamente abordado: a lógica espacial por trás da escolha locacional de agentes econômicos urbanos. Portanto, encerra-se essa pesquisa tendo-se ciência de que os resultados aqui apresentados podem ser aprimorados se a metodologia proposta for testada em outros cenários, aplicando-se outros modelos de centralidade e testando-se outras maneiras de se associar as atividades econômicas urbanas à cada entidade espacial (levando-se em consideração, por exemplo, áreas construídas, número de funcionários, tipos específicos de estabelecimentos, faturamento, etc). Mais do que isso, podem ser testados outros coeficientes de correlação entre as variáveis, além de outros tipos de representação espacial e outras cidades que possuam populações e quantidade de atividades econômicas maiores, maior quantidade de entidades espaciais, além de sistemas com configurações espaciais mais complexas.

Enfim, o resultado alcançado após a aplicação da metodologia aqui apresentada parece ser capaz de auxiliar a tomada de decisão a fim de se avaliar, em desenhos urbanos, como os agentes econômicos tendem a tomar suas decisões locacionais, supondo que esses locais possam ser inferidos aplicando-se modelos de centralidade espacial de forma geométrica sobre uma rede espacial definida por trechos de rua. Ou seja, a pesquisa pode auxiliar no processo de prospecção de áreas do espaço urbano que possuem maior probabilidade de concentrar atividades econômicas em função, apenas, de sua configuração espacial.

⁵⁴ O coeficiente de correlação Spearman não pressupõe que duas variáveis sejam lineares, como o coeficiente de correlação Pearson (r).

⁵⁵ τ de Kendall é uma medida de associação para variáveis ordinais.

Referências Bibliográficas

ALLAIRE, J.R.. **Neighborhood Boundaries**. Planning Advisory Service - Information report n. 141. Chicago: American Society of Planning Officials, 1960. Disponível em: <<https://www.planning.org/pas/at60/report141.htm>>.

ANAS, A.; ARNOTT, R.; & SMALL, K.A.. **Urban Spatial Structure**. Califórnia. UC Berkeley: University of California Transportation Center. 1997. Disponível em: <<http://escholarship.org/uc/item/835049q3>> . Acessado em 03/04/2014.

BARRA, T.. Integrating Micro-Economic Models with Spatial Interaction Theory. In: Steadman, P. (ed.) **Transactions of the Martin Centre for Architectural and Urban Studies**. Cambridge, Inglaterra: University of Cambridge, 1979.

BATTY, M.. **A New Theory of Space Syntax**. CASA Working Paper n° 75. Londres: CASA - Centre for Advanced Spatial Analysis. University College London, 2004. ISSN: 1467-1298.

BATTY, M.. **Building a Science of Cities**. CASA Working Paper n° 170. Londres: CASA - Centre for Advanced Spatial Analysis. University College London, 2011. ISSN: 1467-1298.

BENKO, G.. **Economia, Espaço e Globalização na Aurora do Século XXI**. Hucitec, São Paulo. 2ª Edição. 1999. 266p.

BERTUGLIA, C.; CLARKE, G.; WILSON, A.. **Modelling the City: Performance, Policy and Planning**. Londres, Inglaterra: Routledge, 1994. 224 p.

BLANCHARD, P.; VOLCHENKOV, D.. **Mathematical Analysis of Urban Spatial Networks**. Heidelberg, Alemanha: Springer-Verlag Berlin. 2009. 181 p. ISBN: 9783540878292. (Understanding Complex Systems)

BROWN S.. *The Wheel of Retail Gravitation?* **Environment and Planning B**, v. 24, n. 10, 1992.

BUNGE, M.. **Las Ciencias Sociales en Discusión: Una Perspectiva Filosófica**. Buenos Aires, Argentina: Sudamericana, 1999. 576 p. ISBN: 9789500715669.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M.S.; FUCKS, S.; MONTEIRO, A.M.. *Análise Espacial e Geoprocessamento*. In: Suzana Fucks; Marília Sa Carvalho; Gilberto Câmara; Antônio Miguel Monteiro. (Org.). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: Emprapa, 2004, p. 21-52.

CARVALHO, R.; BATTY, M.. **A Rigorous Definition of Axial Lines: Ridges on Isovist Fields**. CASA Working Paper nº 69. Londres: CASA - Centre for Advanced Spatial Analysis. University College London, 2003. ISSN: 1467-1298.

CONVERSE, P.D.. *New Laws of Retail Gravitation*. **Journal of Marketing**. v.13, p. 379 – 384. 1949.

CORRÊA, R.L.. *Espaço: um Conceito-Chave da Geografia*. In: GOMES, P.C.C.; CORRÊA, R.L.; CASTRO, I.E. (orgs.). **Geografia: Conceitos e Temas**. 6 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 352 p. ISBN: 8528605450.

CRUCITTI, P.; LATORA, V.; PORTA, S.. *Centrality Measures in Urban Networks*. **Physical Review E**, v. 73, n. 3, 2006. 036125 5 p. DOI: 10.1103/PhysRevE.73.036125.

ECHENIQUE, M.. **Modelos Matemáticos de la Estructura Espacial Urbana, Aplicaciones en América Latina**. (1. ed. en español). Ediciones SIAP : distribuidor exclusivo, Ediciones Nueva Visión, Buenos Aires. 1975. 287 p.

FINLAY, P.N.. **Introducing Decision Support Systems**. Oxford, UK Cambridge, Mass. NCC Blackwell; Blackwell Publishers. 1994. 240 p. ISBN-10: 1855543141

FREEMAN, L.C.. *A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness*. **Sociometry**, n. 40, v. 1. 1977. p. 35-41.

FREEMAN, L.C.. Centrality in Social Networks. Conceptual Clarification. **Social Networks**, v. 1, n. 3, 1979. p. 215-239. DOI: 10.1016/0378-8733(78)90021-7.

FUJITA, M.. **Urban Economic Theory – Land Use and City Size**. Cambridge University Press, 1989.

FUJITA, M.; THISSE, J.F.. *Economics of Agglomeration*. **Journal of the Japanese and International Economies**. v.10, p. 339-378, n. 0021, 1996.

- GONÇALVES, A.R.. **Indicadores de Dispersão Urbana**. 2011. 113 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR). Porto Alegre: UFRGS, 2013.
- HAGGETT, P.; CHORLEY, R.. **Network Analysis in Geography**. 2. ed. Londres, Inglaterra: Edward Arnold, 1969. 348 p. (Explorations in spatial structure, v. 1).
- HANSEN, W.G.. *How Accessibility Shapes Land Use*. **Journal of the American Planning Association**, vol. 25, p. 73-76. 1959.
- HARARY, F.. **Graph Theory**. Addison Wesley Publishing Co. Reading, Massachusetts. 274p. 1969.
- HARVEY, D.. **Condição Pós-Moderna**. Ed. Loyola, São Paulo. 22ª Edição. 352p. 2012.
- HILLIER, B.; HANSON, J.. **The Social Logic of Space**. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press. 282p. 1984.
- HILLIER, B.; PENN, A.; HANSON, J.; GRAJEWSKI, T. & XU, J.. *Natural Movement - or, Configuration and Attraction in Urban Pedestrian Movement*. **In: Environment & Planning B**, V.20 (1) p. 29 – 66. 1993.
- HOUAISS, A.; VILLAR, M. de S.; FRANCO, F.M.M. *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009
- HUFF, D.L., *Defining and Estimating a Trading Area*. **Journal of Marketing**. v. 28, p. 34-38. 1964.
- IBEVAR.. Instituto Brasileiro de Executivos do Varejo e Mercado de Consumo. **Ranking IBEVAR 120 Maiores Empresas do Varejo Brasileiro**. Em: <http://www.pwc.com.br/pt_BR/br/publicacoes/setores-atividade/assets/produtos-consumo-varejo/ranking-ibevar-2013.pdf> (Acesso em 08 de fevereiro de 2014.)
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Plataforma Cidades@**. Rev. 17/07/2013. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>>>. Acessado em: 02/02/2014.

INGRAM, D.R.. *The Concept of Accessibility: A Search for an Operational Form*. **Regional Studies**, v. 5, n. 2. p 101-107. 1971. DOI:10.1080/09595237100185131.

JACOBS, J.. **Morte e Vida de Grandes Cidades**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

KEYNES, J.M.. **Teoria Geral do Emprego, do Juro e da Moeda (General Theory of Employment, Interest and Money)**. Tradutor: CRUZ, Mário Ribeiro da. São Paulo: Editora Atlas. 1992. 352p. ISBN 85-351-0917-X

KRAFTA, R.. *Modelling Intraurban Configurational Development*. **Environment & Planning B**, v. 21, 1994. p. 67-82. DOI:10.1068/b210067.

KRAFTA, R.. *Urban Convergence: Morphology and Attraction*. **Environment & Planning B**, v. 23, n. 1, 1996. p. 37-48. DOI:10.1068/b230037.

KRAFTA, R.. *Estrutura Espacial, Centralidade e Ordem Simbólica na Região Metropolitana de Porto Alegre*. In: **R. Krafta (ed) Análise Espacial Urbana, aplicações para a RMPA**, Editora da UFRGS. 2009.

KRAFTA, R.; NETTO, V.. *A Forma Urbana Como Problema de Desempenho*. **R. B. Estudos Urbanos e Regionais**. Vol. 11. Número 2. Pág. 157- 180. 2009

KRAFTA, R.. **Notas de Aula de Morfologia Urbana**. Porto Alegre: UFRGS, 2014.

KRUGER, M.J.T.. *An Approach to Build-Form Connectivity at Urban Scale: Variations of Connectivity and Adjacency Measures Amongst Zones and other Related Topics*. **Environment & Planning B**, v. 6, p. 305-320. 1979.

KRUGER, M.J.T.. *Representation and Understanding Urban Maps in Pedestrian Movement Analysis*. **Bartlett School of Architecture and Planning**, University College London, 1990.

LOGAN, J.R.; MOLOTCH, H.L.. *The City as a Growth Machine*. In **Susan Fainstein and Scott Campbell (editors), Readings in Urban Theory**. Oxford: Blackwell Publishers. 1996. P. 291-337.

LONGLEY, P.; BATTY, M.. **Advanced Spatial Analysis: The Casa Book of GIS**. London, Ed. Longley & Batty – UCL. 2003. 462p.

MARASCHIN, C.. **Localização Comercial Intraurbana. Análise de Crescimento através do Modelo Logístico.** 2009. 266 p. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR). Porto Alegre: UFRGS, 2009.

NETTO, V.; AGUIAR, D.. **Urbanidades.** Rio de Janeiro: Folio Digital: Letra e Imagem. 2012

NETTO, V.M.. *A Materialidade da Interação Econômica.* **Cadernos IPPUR,** Rio de Janeiro. No prelo.

NETTO, V. M.; JELVEZ, A.Q.. **O Espaço Urbano como Dimensão Ativa na Incidência do Crime.** 2009. Disponível em: < <http://urbanismo.arq.br/metropolis/2009/05/05/> >. Acessado em 30/janeiro/2014.

NORTHAM, R.. **Urban Geography.** New York. EJ Willey. Cap. 6. 1995.

NYSTUEN, J.. *Identification of Some Fundamental Spatial Concepts.* In: BERRY, J.; MARBLE, D. **Spatial Analysis: a Reader in Statical Geography.** New Jersey and London: Prentice-Hall, 1968, p. 35-41.

PALMA, N.C.. **Dinâmica Espacial Urbana e Potencial de Atratividade.** 2011. 234 p. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR). Porto Alegre: UFRGS, 2011.

PEARSON, K.F.R.S.. *On the Criterion that a Given System of Deviations from the Probable in the Case of a Correlated System of Variables is such that it can be Reasonably Supposed to have Arisen from Random Sampling.* **Philosophical Magazine Series 5,** 50, 157-175. DOI:10.1080/14786440009463897, 1904.

POLIDORI, M.C.; GRANERO, J.; KRAFTA, R.. **Medidas Urbanas. v 1.5. Software.** Pelotas: FAUrb-UFPel, 2001.

PORTA,S.; CRUCITTI, S. & LATORA, V.. *The Network Analysis of Urban Streets: a Dual Approach.* **Physica A** 369. 2006a. p. 853–866.

PORTA, S.; CRUCITTI, S. & LATORA, V.. *The Network Analysis of Urban Streets: a Primal Approach*. **Environment & Planning B**, v. 33, 2006b. p. 705-725. DOI:10.1068/b32045.

PORTA, S.; STRANO, E.; IACOVIELLO, V.; MESSORA, R.. *Street Centrality and Densities of Retail and Services in Bologna, Italy*. **Environment & Planning B**, v. 36, p. 450-465. 2009.

PORTA, S.; LATORA, V.; WANG, F.; RUEDA, S.; STRANO, E.; SCELLATO, S.; CARDILLO, A.; BELLI, E.; CÁRDENAS, F.; CORMENZANA, B.; LATORA, L.. *Street Centrality and the Location of Economic Activities in Barcelona*. **Urban Studies**, p. 1-18. 2011.

ROSA, R.. *Análise Espacial em Geografia*. **Revista da ANPEGE**, v. 7, n. especial, p.275-289, 2011. ISSN 1679-768X.

SANTOS, C.N.F.. **A Cidade como um Jogo de Cartas**. Niterói, Ed.UFF. 1988. 192p.

SEVTSUK, A.. **Path and Place: A Study of Urban Geometry and Retail Activity in Cambridge and Somerville, MA**. 2010. 215 p. Tese (PhD in Urban Studies and Planning). Massachusetts Institute of Technology (MIT) Cambridge: 2010

SEVTSUK, A.; MEKONNEN, M.. *Urban Network Analysis. A New Toolbox for ArcGIS*. **International Journal of Geomatics and Spatial Analysis**, v. 22, n. 2, 2012. p. 287-305. DOI:10.3166/riig.22.287-30.

STROGATZ, S.H.. *Exploring Complex Networks*. **Nature**, v. 40, p. 268-276, 2001.

VRAGOVIC, I.; LOUIS, E.; DIAZ-GUILERA, A.. *Efficiency of Information Transfer in Regular and Complex Networks*. **Physics Review** Ed. 71(026122). 2005.

VRIENS, D.; HENDRIKS, P.. *How to Define Problems: a Systemic Approach*. **Decision Support Systems in Urban Planning**. Edited by Harry Timmermans. E & F N Spon. 1997. ISBN 0419210504

WASSERMAN, S.; FAUST, K.. **Social Network Analysis: Methods and Applications**. Cambridge: Cambridge University Press,1994.

WATTS, D.J.. **Six Degrees – The Science of a Connected Age**. New York: W.W. Northon & Company, 2004.

WILSON, A.G.. *A Statistical Theory of Spatial Distribution Models*. **Transpn. Res.** v. 1, p. 253-269. Pergamon Press, 1967.

Apêndice

Tabela 4 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede axial de L (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
200	0,109	0,109	0,006	0,011	-0,079
500	0,234	0,232	0,141	0,118	-0,107
800	0,345	0,338	0,263	0,129	-0,099
1100	0,387	0,382	0,322	0,142	-0,072
1400	0,400	0,396	0,347	0,157	-0,041
1700	0,392	0,395	0,358	0,182	-0,019
2000	0,372	0,385	0,367	0,216	-0,037
2300	0,347	0,365	0,375	0,236	-0,042
2600	0,322	0,346	0,381	0,268	-0,084
2900	0,303	0,332	0,388	0,293	-0,094
3200	0,282	0,313	0,394	0,313	-0,085
3500	0,265	0,300	0,397	0,325	-0,021
3800	0,255	0,294	0,398	0,336	-0,044
4100	0,235	0,279	0,398	0,353	-0,055
4400	0,210	0,258	0,397	0,363	-0,036
4700	0,193	0,247	0,392	0,373	-0,011
5000	0,186	0,244	0,387	0,381	0,004
5300	0,177	0,240	0,383	0,387	0,037
5600	0,167	0,237	0,379	0,390	0,104
5900	0,153	0,232	0,374	0,392	0,257
6200	0,135	0,230	0,369	0,395	0,350
6500	0,110	0,226	0,363	0,398	0,355
6800	0,096	0,225	0,360	0,399	0,353
7100	0,082	0,226	0,357	0,399	0,351
7400	0,062	0,228	0,355	0,399	0,347
7700	0,047	0,228	0,353	0,399	0,344
8000	0,041	0,228	0,352	0,400	0,343
8300	0,034	0,229	0,352	0,400	0,342
8600	0,028	0,229	0,351	0,401	0,341
8900	0,025	0,229	0,351	0,401	0,341
9200	0,019	0,229	0,351	0,401	0,341
9500	0,017	0,229	0,351	0,401	0,341
9800	0,018	0,229	0,351	0,402	0,341
Global	-	0,229	0,351	0,389	0,341

Tabela 5 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede axial de L (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
2	0,152	0,114	0,108	0,097	-0,116
5	0,379	0,326	0,275	0,233	-0,146
8	0,260	0,210	0,326	0,293	-0,111
11	0,198	0,154	0,306	0,278	-0,021
1	0,136	0,106	0,286	0,259	0,175
17	0,117	0,086	0,276	0,249	0,344
20	0,083	0,075	0,271	0,245	0,335
23	0,076	0,073	0,270	0,244	0,330
26	0,032	0,073	0,269	0,244	0,330
Global	-	0,073	0,269	0,244	0,330

Tabela 6 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede nodal de L (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
200	0,262	0,257	0,239	0,263	-0,131
500	0,314	0,312	0,252	0,225	-0,071
800	0,359	0,359	0,273	0,209	-0,065
1100	0,380	0,379	0,300	0,213	-0,064
1400	0,371	0,373	0,328	0,209	-0,063
1700	0,359	0,366	0,341	0,201	-0,063
2000	0,351	0,364	0,344	0,193	-0,063
2300	0,345	0,362	0,348	0,188	-0,063
2600	0,341	0,362	0,352	0,184	-0,063
2900	0,338	0,361	0,356	0,180	-0,063
3200	0,327	0,352	0,358	0,174	-0,063
3500	0,308	0,337	0,358	0,170	-0,063
3800	0,286	0,317	0,356	0,167	-0,063
4100	0,260	0,295	0,352	0,164	-0,063
4400	0,236	0,275	0,347	0,159	-0,063
4700	0,215	0,259	0,342	0,155	-0,063
5000	0,196	0,244	0,337	0,151	-0,063
5300	0,180	0,232	0,333	0,147	-0,063
5600	0,168	0,223	0,329	0,144	-0,063
5900	0,158	0,216	0,326	0,140	-0,063
6200	0,150	0,211	0,323	0,137	-0,063
6500	0,145	0,207	0,320	0,133	-0,063
6800	0,141	0,205	0,318	0,129	-0,063
7100	0,139	0,203	0,316	0,126	-0,063
7400	0,137	0,202	0,315	0,123	-0,063
7700	0,136	0,202	0,314	0,120	-0,063
8000	0,135	0,201	0,313	0,118	-0,063
8300	0,135	0,201	0,313	0,116	-0,063
8600	0,135	0,201	0,313	0,114	-0,063
8900	0,135	0,201	0,313	0,112	-0,063
9200	0,028	0,287	0,250	0,110	0,326
9500	0,034	0,287	0,250	0,108	0,326
Global	-	0,287	0,250	0,093	0,326

Tabela 7 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede nodal de L (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
2	-0,060	-0,204	-0,079	-0,118	0,088
5	0,103	-0,116	-0,021	-0,016	-0,110
8	0,166	-0,071	0,008	0,022	-0,163
11	0,170	-0,068	0,013	0,028	-0,147
14	0,133	-0,088	0,007	0,020	-0,127
17	0,079	-0,117	-0,002	0,010	-0,091
20	0,037	-0,146	-0,010	0,001	-0,045
23	0,029	-0,162	-0,013	-0,005	-0,030
26	0,025	-0,178	-0,012	-0,006	-0,014
29	0,036	-0,190	-0,008	-0,005	-0,009
32	0,036	-0,209	-0,004	-0,003	0,035
35	0,029	-0,230	-0,001	-0,002	0,074
38	0,011	-0,245	0,001	-0,002	0,057
41	-0,010	-0,249	0,002	-0,002	0,046
44	0,038	-0,249	0,002	-0,001	0,037
47	0,044	-0,250	0,003	-0,001	0,037
50	0,000	-0,250	0,003	-0,001	0,038
Global	-	-0,250	0,003	-0,001	0,038

Tabela 8 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede de trechos de rua de L (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
200	0,336	0,357	0,327	0,346	-0,162
500	0,342	0,367	0,351	0,363	-0,093
800	0,389	0,407	0,369	0,373	-0,054
1100	0,389	0,405	0,391	0,378	-0,032
1400	0,361	0,380	0,386	0,385	-0,059
1700	0,337	0,360	0,366	0,393	-0,043
2000	0,328	0,355	0,348	0,402	-0,035
2300	0,330	0,361	0,340	0,408	-0,029
2600	0,328	0,362	0,337	0,411	-0,034
2900	0,321	0,358	0,338	0,409	-0,028
3200	0,306	0,348	0,338	0,405	-0,028
3500	0,291	0,338	0,338	0,398	-0,024
3800	0,273	0,326	0,338	0,390	-0,023
4100	0,259	0,319	0,337	0,382	-0,021
4400	0,238	0,308	0,336	0,375	-0,015
4700	0,210	0,294	0,334	0,370	0,018
5000	0,180	0,284	0,331	0,366	0,085
5300	0,157	0,281	0,329	0,362	0,188
5600	0,144	0,290	0,327	0,360	0,294
5900	0,135	0,304	0,325	0,359	0,334
6200	0,119	0,316	0,324	0,358	0,339
6500	0,088	0,320	0,322	0,357	0,340
6800	0,055	0,322	0,321	0,356	0,340
7100	0,037	0,325	0,320	0,355	0,339
7400	0,033	0,330	0,320	0,355	0,339
7700	0,032	0,334	0,320	0,354	0,338
8000	0,028	0,336	0,320	0,354	0,338
8300	0,029	0,338	0,320	0,353	0,338
8600	0,027	0,338	0,320	0,353	0,338
8900	0,024	0,338	0,320	0,352	0,338
9200	0,020	0,338	0,320	0,352	0,337
9500	0,020	0,338	0,320	0,351	0,337
Global	-	0,338	0,320	0,343	0,337

Tabela 9 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede de trechos de rua de L (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
2	0,028	-0,168	0,009	-0,003	-0,052
5	0,138	-0,081	0,046	0,063	-0,162
8	0,179	-0,042	0,048	0,065	-0,177
11	0,177	-0,042	0,043	0,056	-0,163
14	0,143	-0,065	0,031	0,042	-0,146
17	0,093	-0,098	0,019	0,027	-0,106
20	0,058	-0,130	0,012	0,016	-0,063
23	0,063	-0,142	0,010	0,012	-0,065
26	0,070	-0,157	0,013	0,012	-0,062
29	0,088	-0,170	0,017	0,014	-0,068
32	0,086	-0,197	0,020	0,016	-0,015
35	0,072	-0,226	0,022	0,017	0,078
38	0,049	-0,246	0,024	0,017	0,084
41	0,015	-0,252	0,025	0,017	0,080
44	0,052	-0,252	0,025	0,018	0,074
47	0,045	-0,252	0,026	0,018	0,075
50	0,000	-0,252	0,026	0,018	0,075
Global	-	-0,252	0,026	0,018	0,075

Tabela 10 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede axial de P (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
200	0,253	0,252	0,158	0,204	-0,258
500	0,443	0,430	0,306	0,264	-0,200
800	0,543	0,546	0,428	0,254	-0,156
1100	0,490	0,501	0,446	0,255	-0,144
1400	0,395	0,416	0,422	0,280	-0,139
1700	0,316	0,351	0,378	0,329	-0,138
2000	0,267	0,312	0,345	0,373	-0,137
2300	0,248	0,294	0,326	0,406	-0,137
2600	0,232	0,275	0,317	0,432	-0,137
2900	0,223	0,263	0,309	0,443	-0,137
3200	0,220	0,259	0,305	0,441	-0,137
3500	0,218	0,256	0,303	0,434	-0,137
3800	0,214	0,253	0,302	0,425	-0,137
4100	0,212	0,251	0,300	0,419	-0,137
4400	0,210	0,250	0,299	0,411	-0,137
4700	0,209	0,249	0,298	0,403	-0,137
5000	0,104	0,297	0,279	0,395	0,438
5300	0,209	0,249	0,298	0,388	-0,137
5600	0,000	0,294	0,278	0,382	0,436
5900	0,000	0,294	0,278	0,378	0,436
Global	-	0,294	0,278	0,328	0,436

Tabela 11 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede axial de P (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
2	0,177	-0,007	0,025	0,105	-0,159
5	0,365	0,143	0,132	0,118	-0,278
8	0,413	0,241	0,225	0,233	-0,292
11	0,331	0,196	0,242	0,266	-0,225
14	0,286	0,128	0,222	0,253	-0,065
17	0,275	0,086	0,212	0,243	0,265
20	0,230	0,010	0,212	0,241	0,394
23	0,213	-0,032	0,212	0,240	0,387
26	0,191	-0,039	0,210	0,240	0,383
29	0,082	-0,041	0,210	0,239	0,383
Global	-	-0,041	0,209	0,239	0,383

Tabela 12 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede nodal de P (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
200	0,148	0,152	0,078	0,103	-0,130
500	0,334	0,327	0,219	0,196	-0,149
800	0,423	0,428	0,326	0,257	-0,255
1100	0,397	0,403	0,363	0,288	-0,202
1400	0,293	0,314	0,327	0,281	-0,176
1700	0,210	0,253	0,268	0,250	-0,123
2000	0,175	0,230	0,212	0,209	-0,068
2300	0,194	0,246	0,168	0,169	-0,029
2600	0,213	0,261	0,141	0,140	0,070
2900	0,209	0,254	0,123	0,120	0,243
3200	0,206	0,235	0,115	0,105	0,306
3500	0,182	0,209	0,109	0,096	0,318
3800	0,155	0,195	0,103	0,091	0,317
4100	0,141	0,186	0,099	0,088	0,318
4400	0,123	0,178	0,097	0,085	0,320
4700	0,106	0,176	0,096	0,084	0,319
5000	0,069	0,174	0,095	0,083	0,319
5300	0,048	0,174	0,095	0,082	0,319
5600	0,000	0,174	0,095	0,082	0,319
Global	-	0,174	0,095	0,072	0,319

Tabela 13 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede nodal de P (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
2	0,023	-0,184	-0,059	-0,075	0,056
5	0,218	-0,072	0,028	0,047	-0,098
8	0,189	-0,102	0,031	0,065	-0,120
11	0,084	-0,172	-0,024	0,016	-0,052
14	-0,004	-0,216	-0,072	-0,041	0,027
17	-0,019	-0,217	-0,082	-0,065	0,045
20	0,002	-0,208	-0,072	-0,061	0,029
23	0,034	-0,206	-0,068	-0,057	-0,024
26	0,036	-0,224	-0,075	-0,059	0,002
29	0,003	-0,248	-0,082	-0,064	0,037
32	0,008	-0,254	-0,084	-0,067	0,032
35	0,017	-0,256	-0,085	-0,068	0,032
Global	-	-0,256	-0,085	-0,068	0,032

Tabela 14 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede de trechos de rua de P (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
200	0,240	0,262	0,195	0,218	-0,170
500	0,455	0,472	0,409	0,235	-0,243
800	0,501	0,529	0,483	0,320	-0,253
1100	0,478	0,507	0,485	0,403	-0,220
1400	0,381	0,426	0,445	0,455	-0,215
1700	0,291	0,363	0,395	0,489	-0,146
2000	0,251	0,336	0,354	0,507	-0,079
2300	0,262	0,352	0,327	0,510	-0,021
2600	0,273	0,368	0,312	0,501	0,089
2900	0,249	0,365	0,300	0,487	0,330
3200	0,214	0,350	0,294	0,470	0,417
3500	0,166	0,333	0,289	0,452	0,439
3800	0,141	0,318	0,286	0,438	0,437
4100	0,136	0,310	0,284	0,426	0,434
4400	0,094	0,303	0,284	0,415	0,435
4700	0,062	0,300	0,283	0,407	0,435
5000	0,049	0,298	0,283	0,400	0,434
5300	0,049	0,298	0,283	0,395	0,434
Global	-	0,298	0,283	0,370	0,434

Tabela 15 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede de trechos de rua de P (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
2	0,332	-0,037	0,270	0,281	-0,245
5	0,429	0,060	0,300	0,347	-0,232
8	0,373	0,007	0,251	0,320	-0,275
11	0,241	-0,084	0,163	0,231	-0,191
14	0,150	-0,148	0,096	0,149	-0,095
17	0,145	-0,157	0,083	0,109	-0,090
20	0,166	-0,156	0,091	0,104	-0,076
23	0,180	-0,167	0,087	0,098	-0,019
26	0,174	-0,194	0,074	0,088	0,149
29	0,131	-0,224	0,066	0,079	0,211
32	0,062	-0,237	0,063	0,076	0,217
35	0,000	-0,238	0,062	0,075	0,216
Global	-	-0,238	0,062	0,075	0,216

Tabela 16 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede axial de T (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
200	0,038	0,045	0,048	-0,003	-0,018
500	0,129	0,113	0,026	0,002	-0,042
800	0,175	0,160	0,035	-0,009	-0,111
1100	0,206	0,205	0,050	-0,012	-0,126
1400	0,193	0,206	0,067	-0,010	-0,122
1700	0,179	0,204	0,077	-0,008	-0,120
2000	0,198	0,229	0,087	-0,005	-0,143
2300	0,177	0,215	0,089	-0,002	-0,119
2600	0,181	0,227	0,089	-0,002	-0,107
2900	0,162	0,216	0,090	0,006	-0,048
3200	0,137	0,204	0,090	0,014	0,126
3500	0,112	0,195	0,089	0,017	0,203
3800	0,095	0,186	0,087	0,020	0,211
4100	0,079	0,171	0,083	0,025	0,210
4400	0,054	0,159	0,080	0,029	0,208
4700	0,055	0,157	0,078	0,037	0,206
5000	0,000	0,155	0,078	0,043	0,206
Global	-	0,155	0,078	0,140	0,206

Tabela 17 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede axial de T (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
2	0,219	0,168	0,090	0,059	-0,102
5	0,220	0,205	0,176	0,183	-0,039
8	0,084	0,099	0,197	0,222	-0,009
11	0,061	0,087	0,209	0,234	0,085
1	0,045	0,080	0,212	0,241	0,237
17	0,032	0,078	0,212	0,242	0,235
Global	-	0,078	0,212	0,242	0,235

Tabela 18 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede nodal de T (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
200	0,088	0,072	0,070	0,124	-0,033
500	0,190	0,174	0,086	0,107	-0,055
800	0,204	0,198	0,106	0,083	-0,059
1100	0,218	0,223	0,121	0,066	-0,084
1400	0,221	0,234	0,129	0,056	-0,118
1700	0,224	0,242	0,135	0,046	-0,136
2000	0,237	0,256	0,139	0,039	-0,161
2300	0,222	0,243	0,141	0,034	-0,159
2600	0,201	0,227	0,141	0,031	-0,117
2900	0,188	0,219	0,140	0,027	-0,040
3200	0,163	0,201	0,138	0,024	0,160
3500	0,137	0,187	0,135	0,021	0,255
3800	0,116	0,179	0,132	0,019	0,260
4100	0,099	0,167	0,130	0,017	0,254
4400	0,091	0,153	0,128	0,016	0,248
4700	0,078	0,142	0,127	0,015	0,245
5000	0,065	0,137	0,127	0,014	0,244
5300	0,064	0,134	0,126	0,013	0,243
5600	0,080	0,133	0,126	0,012	0,243
5900	0,050	0,132	0,126	0,012	0,243
6200	0,033	0,132	0,126	0,012	0,243
Global	-	0,132	0,126	0,012	0,243

Tabela 19 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede nodal de T (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
2	-0,105	-0,211	-0,124	-0,217	0,196
5	0,036	-0,077	-0,049	-0,048	-0,049
8	0,099	0,013	-0,033	-0,023	-0,097
11	0,134	0,067	-0,021	-0,012	-0,116
14	0,158	0,101	-0,012	-0,004	-0,138
17	0,178	0,127	-0,006	0,003	-0,160
20	0,203	0,150	-0,002	0,006	-0,174
23	0,203	0,138	0,000	0,008	-0,177
26	0,176	0,091	-0,001	0,007	-0,123
29	0,146	0,027	-0,003	0,006	0,033
32	0,119	-0,055	-0,005	0,004	0,177
35	0,090	-0,118	-0,008	0,003	0,190
38	0,068	-0,137	-0,010	0,001	0,187
41	0,045	-0,142	-0,011	0,000	0,184
44	0,026	-0,143	-0,011	0,000	0,184
Global	-	-0,143	-0,011	0,000	0,184

Tabela 20 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a geometria da rede de trechos de rua de T (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
200	0,291	0,314	0,217	0,233	-0,202
500	0,356	0,383	0,354	0,289	-0,108
800	0,339	0,368	0,390	0,345	-0,076
1100	0,348	0,380	0,402	0,381	-0,125
1400	0,352	0,392	0,401	0,392	-0,144
1700	0,345	0,391	0,401	0,405	-0,152
2000	0,344	0,392	0,396	0,414	-0,168
2300	0,312	0,364	0,389	0,418	-0,164
2600	0,274	0,338	0,384	0,419	-0,111
2900	0,242	0,320	0,379	0,420	0,033
3200	0,205	0,305	0,373	0,421	0,298
3500	0,169	0,304	0,368	0,420	0,400
3800	0,139	0,316	0,364	0,420	0,394
4100	0,112	0,317	0,361	0,419	0,382
4400	0,088	0,308	0,360	0,417	0,376
4700	0,067	0,303	0,359	0,415	0,373
5000	0,050	0,300	0,358	0,412	0,372
5300	0,043	0,299	0,358	0,409	0,371
5600	0,037	0,298	0,358	0,407	0,371
Global	-	0,297	0,358	0,388	0,371

Tabela 21 – Coeficientes de Correlação Pearson (r) entre as variáveis atividades econômicas por entidade espacial e centralidades. Os valores foram obtidos após o processamento das medidas de diferenciação espacial considerando-se a topologia da rede de trechos de rua de T (Fonte: elaboração própria).

Raios	Alcance	Excentricidade	Intermediação	Inter. Planar	Proximidade
2	0,110	-0,082	0,054	0,047	-0,100
5	0,225	0,108	0,094	0,143	-0,190
8	0,261	0,198	0,075	0,117	-0,167
11	0,287	0,244	0,066	0,100	-0,189
14	0,306	0,271	0,066	0,096	-0,211
17	0,309	0,281	0,063	0,092	-0,229
20	0,315	0,286	0,059	0,086	-0,227
23	0,295	0,255	0,056	0,079	-0,211
26	0,244	0,184	0,052	0,074	-0,074
29	0,195	0,096	0,048	0,069	0,233
32	0,153	-0,013	0,045	0,065	0,352
35	0,119	-0,085	0,043	0,063	0,340
38	0,095	-0,106	0,042	0,062	0,330
41	0,076	-0,112	0,041	0,062	0,326
44	0,048	-0,114	0,041	0,062	0,325
Global	-	-0,114	0,041	0,062	0,325