

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**MODELO DE ANÁLISE DO POTENCIAL DE PROMOÇÃO
DE CENTRALIDADE COM BASE EM USO DO SOLO, REDE
DE TRANSPORTES E CONFIGURAÇÃO**

RODRIGO AUGUSTO MARAR MENEZES DA SILVA

ORIENTADOR: JOSÉ AUGUSTO ABREU SÁ FORTES

COORIENTADOR: VALÉRIO AUGUSTO SOARES DE MEDEIROS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

PUBLICAÇÃO: T.DM – 003/2018
BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO / 2017

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**MODELO DE ANÁLISE DO POTENCIAL DE PROMOÇÃO DE
CENTRALIDADE COM BASE EM USO DO SOLO, REDE DE
TRANSPORTES E CONFIGURAÇÃO,**

RODRIGO AUGUSTO MARAR MENEZES DA SILVA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TRANSPORTES.**

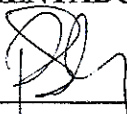
APROVADA POR:



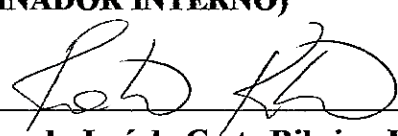
Prof. José Augusto Abreu Sá Fortes, Dr. (PPGT-UnB)
(ORIENTADOR)



Prof. Valério Augusto Soares de Medeiros, Dr. (PPGFAU-UnB)
(COORDINADOR)



Prof. Paulo César Marques da Silva, Dr. (PPGT-UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)



Prof. Rômulo José da Costa Ribeiro, Dr. (PPGFAU-UnB)
(EXAMINADOR EXTERNO)

BRASÍLIA/DF, 19 DE DEZEMBRO DE 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, RODRIGO AUGUSTO MARAR MENEZES DA

Modelo de Análise do Potencial de Promoção de Centralidade com Base em Uso do Solo, Rede de Transportes e Configuração [Distrito Federal] 2018.

137 p., 210 x 297mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2018).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1. Transportes e Uso do Solo | 2. Configuração Urbana |
| 3. Visão Sistêmica | 4. Análise Espacial |
| I. ENC/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, R. A. M. M. (2018). Modelo de Análise do Potencial de Promoção de Centralidade com Base Em Uso do Solo, Rede de Transportes e Configuração, Publicação T.DM-003/2018, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 137 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Rodrigo Augusto Marar Menezes da Silva.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Modelo de Análise do Potencial de Promoção de Centralidade com Base em Uso do Solo, Rede de Transportes e Configuração.

GRAU: Mestre

ANO: 2018

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Rodrigo Augusto Marar Menezes da Silva
SQS 408, Bloco S, apt. 301 – Asa Sul
70257-190 Brasília – DF – Brasil.
rodrigo.marar@gmail.com

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais,
ao meu filho Tarso Perdigão Marar.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores, professores José Augusto de Abreu Sá Fortes e Valério Augusto Soares de Medeiros pelo apoio nessa jornada.

Ao meu tio, José Ricardo Marar, por despertar o interesse nas questões de mobilidade urbana.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Transportes (PPGT UnB) e Programa de Pesquisa e Pós-Graduação, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB (PPG-FAU), pelas discussões e contribuições à pesquisa.

Aos funcionários do PPGT.

Ao CNPQ pelo apoio financeiro.

À Bianca Grossi, companheira para todos os momentos, que sempre me fez acreditar.

RESUMO

A pesquisa procura compreender a articulação entre uso do solo, rede de transportes e configuração (forma urbana) na formação das centralidades urbanas. O objetivo é desenvolver um estudo para verificação do potencial de promoção de novas centralidades em zonas servidas por estações de transporte de massa. A partir da investigação do espaço urbano como um sistema, formado pela interação de fenômenos que se processam nas escalas local e global, as concentrações responsáveis pela estrutura urbana foram investigadas dentro dos conceitos propostos em estudos de natureza econômica, comportamento de viagens e ambiente construído, e de análise configuracional com base nas ferramentas da Sintaxe Espacial. A metodologia aplicada permitiu calcular matematicamente, por meio das regularidades manifestadas na associação de variáveis representativas das três dimensões propostas pela pesquisa, o potencial de geração de viagens de uma determinada zona a fim de identificar áreas no tecido urbano com possibilidade de intensificação de usos e desenvolvimento de novos núcleos de atividades.

ABSTRACT

The research seeks to understand the articulation between land use, transport network and configuration (urban form) in the growth of urban centralities. The main goal is to develop a study to verify the potential of promoting new centralities in areas served by transit stations. From the investigation of the urban space as a system, shaped by global and local phenomena, the concentrations responsible for the urban structure were investigated within the concepts proposed in the studies of economic nature, travel behavior and built environment, and of configurational analysis based on the tools of Space Syntax. The applied methodology allowed to calculate mathematically, through the regularities manifested by the association of variables representative of the three dimensions proposed by the research, the potential of trip generation in a determined zone in order to identify the areas in the urban fabric with the possibility of intensification of uses and development of new activities.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	PROBLEMA.....	3
1.2	OBJETIVOS.....	4
1.2.1	OBJETIVO GERAL.....	4
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.3	JUSTIFICATIVAS.....	5
1.3.1	TEMÁTICAS.....	5
1.3.2	METODOLÓGICAS.....	6
1.4	METODOLOGIA.....	7
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	8
2	SISTEMA URBANO.....	9
2.1	INVESTIGAÇÃO DO SISTEMA URBANO.....	10
2.1.1	VISÃO SISTÊMICA.....	11
2.2	ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA URBANO.....	13
2.2.1	REDE DE TRANSPORTES E ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA URBANO.....	16
2.3	CENTROS URBANOS.....	18
2.3.1	SUBCENTROS URBANOS.....	20
2.3.2	IDENTIFICAÇÃO DAS CENTRALIDADES.....	21
2.4	SISTEMA URBANO E MOVIMENTO.....	32
2.4.1	TRANSPORTES E USO DO SOLO.....	33
2.4.2	FORMA URBANA E MOVIMENTO.....	35
2.4.3	5 DS.....	36
2.4.4	SINTAXE ESPACIAL.....	47
2.5	TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	54
2.5.1	VARIÁVEIS DE PESQUISA.....	56
3	METODOLOGIA.....	58
3.1	ASPECTOS TEÓRICOS.....	58
3.2	ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	59
3.3	ASPECTOS TÉCNICOS.....	60
3.3.1	PESQUISA ORIGEM-DESTINO.....	60
3.3.2	ANÁLISE AXIAL E DE SEGMENTOS.....	61
3.3.3	SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	62
3.3.4	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE DADOS ESPACIAIS.....	63
3.3.5	ANÁLISE DE DADOS ESPACIAIS.....	64
3.3.6	DEPENDÊNCIA ESPACIAL.....	67

3.3.7	VARIÁVEIS DE ANÁLISE	73
3.4	TÓPICOS CONCLUSIVOS	77
4	ESTUDO DE CASO	79
4.1	BREVE HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO DA CIDADE DE SÃO PAULO	79
4.1.1	O METRÔ DE SÃO PAULO	81
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	83
4.2.1	USO DO SOLO E ASPECTOS DEMOGRÁFICOS	85
4.2.2	GERAÇÃO DE VIAGENS	88
4.2.3	CONFIGURAÇÃO	92
4.3	TÓPICOS CONCLUSIVOS	100
5	MODELO DE ANÁLISE	101
5.1	ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS ESPACIAIS (ESDA)	101
5.1.1	ÍNDICE DE MORAN GLOBAL (<i>I</i>)	101
5.1.2	ÍNDICE DE MORAN LOCAL	102
5.2	SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS	114
5.3	MODELO GWR DE GERAÇÃO DE VIAGENS	117
5.4	IDENTIFICAÇÃO DAS CENTRALIDADES	120
5.5	TÓPICOS CONCLUSIVOS	122
6	CONCLUSÃO	123
6.1	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	124
6.2	RECOMENDAÇÕES DE FUTURAS INVESTIGAÇÕES	125
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
	ANEXOS	135
	ANEXO I – ZONAS DE TRÁFEGO (LEGENDA)	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Principais métodos de identificação de centros e subcentros pesquisados	30
Tabela 2.2	Elasticidades médias ponderadas de uso do transporte público em relação às variáveis características do ambiente construído	40
Tabela 2.3	Elasticidades médias ponderadas de uso do transporte público em relação às variáveis características do ambiente construído	41
Tabela 2.4	Principais variáveis dos estudos selecionados	57
Tabela 5.1	Índice de Moran Global (<i>I</i>)	102
Tabela 5.2	Significância estatística da associação das variáveis	115
Tabela 5.3	Teste de significância estatística do modelo GWR	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Uma hora de deslocamento de acordo com os diferentes modos de transporte.	16
Figura 2.2 Evolução da estrutura espacial urbana.....	17
Figura 2.3 Descentralização urbana em subcentros.	21
Figura 2.4 Ciclo de realimentação transportes e uso do solo.....	34
Figura 2.5 Ciclo do movimento segundo a lógica do movimento natural.....	36
Figura 2.6 Arranjo básico de um TOD.....	43
Figura 2.7 TOD na escala regional.....	44
Figura 2.8 Tipologias TOD e uso do solo.....	45
Figura 2.9 Processo de construção do mapa axial.....	49
Figura 4.1 Mapa da cidade de São Paulo no ano de 1842.....	80
Figura 4.2 Mapa da rede de metrô, trens urbanos e corredores de ônibus da cidade de São Paulo, 2015.....	82
Figura 4.3 Área de estudo.....	83
Figura 4.4 Seleção das zonas de tráfego da região do metrô.....	84
Figura 4.5 Densidade de empregos.....	86
Figura 4.6 Densidade população.....	87
Figura 4.7 Renda per capita.....	87
Figura 4.8 Densidade de geração de viagens (todos os modos).....	89
Figura 4.9 Densidade de geração de viagens modo individual.....	89
Figura 4.10 Densidade de geração de viagens modo coletivo.....	90
Figura 4.11 Densidade de geração de viagens modo metrô.....	91
Figura 4.12 Modo coletivo - percentual de viagens geradas modo metrô.....	91
Figura 4.13 Processo de transposição valores médios das variáveis de configuração nas zonas de tráfego.....	93
Figura 4.14 Altura média das edificações.....	94
Figura 4.15 Densidade de quarteirões.....	95
Figura 4.16 Integração axial global (HH Rn).....	96
Figura 4.17 Integração axial local (HH R3).....	97
Figura 4.18 Escolha axial global (Escolha Rn).....	98
Figura 4.19 Escolha axial local (Escolha R3).....	98
Figura 4.20 Medida combinada integração e escolha (HH CH).....	99
Figura 4.21 Integração angular normalizada (NAIN).....	99

Figura 4.22 Escolha angular normalizada (NACH)	100
Figura 5.1 Distribuição densidade de empregos	104
Figura 5.2 Distribuição densidade população	104
Figura 5.3 Distribuição renda per capita.....	105
Figura 5.4 Distribuição densidade de viagens geradas (todos os modos)	105
Figura 5.5 Distribuição densidade de viagens geradas em modo individual.....	106
Figura 5.6 Distribuição densidade de viagens geradas em modo coletivo	106
Figura 5.7 Distribuição densidade de viagens em modo metrô	107
Figura 5.8 Distribuição percentual de viagens geradas modo metrô	108
Figura 5.9 Distribuição altura média das edificações.....	109
Figura 5.10 Distribuição densidade de quarteirões	109
Figura 5.11 Distribuição integração axial global (HH Rn).....	110
Figura 5.12 Distribuição integração axial local (HH R3).....	111
Figura 5.13 Distribuição escolha axial global (Escolha Rn)	111
Figura 5.14 Distribuição escolha local (Escolha R3)	112
Figura 5.15 Distribuição medida combinada integração e escolha angular (HH CH).....	112
Figura 5.16 Distribuição integração angular normalizada (NAIN).....	113
Figura 5.17 Distribuição escolha angular normalizada (NACH).....	113
Figura 5.18 Aplicação do modelo GWR	119
Figura 5.19 Identificação das centralidades – variável densidade de geração de viagens	121
Figura 5.20 Identificação das centralidades – Variável densidade de empregos.....	121

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

CBD	<i>Central Business District</i>
D.P.	Desvio Padrão
ESDA	<i>Exploratory Spatial Data Analysis</i>
Escolha Rn	Escolha Axial Global
Escolha R3	Escolha Axial Local
HH Rn	Integração Axial Global
HH R3	Integração Axial Local
TOD	<i>Transit-Oriented Development</i>
GWR	<i>Globally Weighted Regression</i>
HH CH	Medida Combinada Integração e Escolha Angular
LISA	<i>Local Indicators of Spatial Association</i>

LWR	<i>Locally Weighted Regression</i>
NACH	Escolha Angular Normalizada
NAIN	Integração Angular Normalizada
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
ZT	Zona de Tráfego

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa tem por objetivo desenvolver um estudo do potencial de promoção de centralidades urbanas a partir da avaliação de aspectos de uso do solo, rede de transportes e configuração (forma urbana). É intenção avaliar o papel do metrô no desenvolvimento dos centros urbanos, a considerar seu papel agregador a partir do incremento da acessibilidade.

Ascher (2010) define as cidades como aglomerações de indivíduos que não produzem seus meios de subsistência; atribui a urbanidade ao potencial de interação entre esses indivíduos conferido pelas redes de transportes e de comunicações. Essas aglomerações se organizam em padrões diferenciados de assentamentos, que podem promover e repelir atividades de acordo com seus aspectos de localização e configuração, que diz respeito às relações de interdependência entre as partes constituintes de um sistema (Medeiros, 2013; Rodrigue *et al.*, 2006).

A configuração, na abordagem desta pesquisa, é entendida como a relação entre os elementos construídos e dispostos no tecido urbano. Estas relações criam padrões sociais e espaciais que se reproduzem de maneira recorrente ao longo da história, conforme aponta a literatura (Holanda, 2002). Os achados mais relevantes sobre essa perspectiva formaram a base da teoria da Sintaxe Espacial, produto das pesquisas desenvolvidas pela equipe do professor Bill Hillier na Bartlett School of Graduate Studies da University College, em Londres, a partir da década de 1970. O campo de estudo da Sintaxe Espacial está nas relações de como as “coisas” estão ligadas para formar padrões globais e locais. Estas relações trazem à luz e afetam as relações sociais e econômicas nas cidades, analisadas sob um conjunto de métodos e ferramentas para a leitura da complexidade funcional do sistema (Hillier, 2007).

A análise configuracional por meio da Sintaxe Espacial, também conhecida como Teoria da Lógica Social do Espaço, estuda os aspectos relacionais da malha urbana, a interdependência entre as diversas partes de um todo por meio da investigação de aspectos topológicos e geométricos do sistema. Quando utilizada a estratégia associada à “representação linear do espaço” (abordada na seção 2.4.4), a análise identifica eixos ou segmentos de vias com maior probabilidade de movimento potencial a partir das relações entre os elementos constituintes da rede de deslocamentos da cidade, o que a literatura tem demonstrado se associar a aspectos de centralidade (Medeiros & Barros, 2014). Por se tratar de uma interpretação a partir da forma da

cidade, que pode ou não corresponder ao movimento real, uma vez que vários fatores atuam na dinâmica de deslocamentos da cidade, falamos em movimento potencial. Estudos como os de Penn *et al.* (1998), Alves (1999), Barros (2006 e 2014), Pereira *et al.* (2012) associam aspectos configuracionais à contagem real de tráfego, seja de veículos ou de pessoas, obtendo correlações significativas. A forma da cidade, lida por meio de sua rede de caminhos ou malha viária, tem sido apontada como um elemento relevante para a compreensão dos fluxos encontrados na cidade e, conseqüentemente, da dinâmica de uso e ocupação do solo, estreitamente associada a esses fluxos.

Um tecido urbano que não promova a circulação de pessoas em suas vias provavelmente não contribuirá para o desenvolvimento de atividade comercial significativa (Holanda, 2002; Medeiros, 2013; Barros, 2014). Portanto, os centros urbanos estão associados à facilidade de acesso das vias que o compõem, o que resultará numa espécie de ciclo virtuoso: um centro ativo urbano será aquele mais facilmente alcançado a partir de todas as demais áreas do sistema; isto facilitará a implantação de usos que se beneficiam do movimento, o que reforçará os fluxos no local; o aumento de fluxo implicará em ajustes na configuração para tornar o deslocamento de/para estas zonas ainda mais fácil, reforçando a relação entre “configuração, movimento e uso do solo” (Medeiros & Barros, 2014).

Para Fuji & Hartshorn (1995), os centros urbanos podem apresentar diferentes padrões de intensidade de uso do solo como manifestação das diferentes condições associadas aos sistemas de transporte do período em que se desenvolveram. Entra no debate a relação entre as estações de sistemas de transporte de massa e a configuração urbana. Um sistema de transporte de alta capacidade como o metrô incrementa a acessibilidade local. São sistemas complexos e de alto custo, sua viabilidade econômica depende do potencial de usuários na zona de captação que justifiquem sua implantação (Pushkarev & Zupan, 1977; Cervero & Guerra, 2011). Como promotores de movimento, suas estações têm o potencial de dinamizar uma região atraindo pessoas e atividades que se beneficiem dessa qualidade (Gonçalves, 2006; Law *et al.*, 2012; Nabais, 2005; Gomes, 2016; Suzuki *et al.*, 2013).

Com foco no potencial agregador da estação de transporte de massa e aproveitamento racional dos efeitos da acessibilidade no seu entorno imediato, foram sistematizados princípios do *Transit-Oriented Development* – TOD (ver seção 2.4.3.1), parte integrante das diretrizes de Planos de Mobilidade Urbana em diversos países (Ratner & Goetz, 2013), e mais recentemente

incluído também nas diretrizes adotadas no Brasil (Ministério das Cidades, 2015). O TOD, assim como outras correntes de pensamento do espaço urbano propostas a partir dos anos 1990, parte da aplicação de três dimensões básicas, características do ambiente construído: os 3Ds (densidade, diversidade e desenho). A concepção e planejamento de regiões urbanas compactas de uso misto, onde a associação entre essas dimensões seriam capazes de modelar novas demandas de viagem, com prioridade ao transporte não motorizado nos deslocamentos locais e o transporte de massa nos deslocamentos mais longos. Pesquisas desenvolvidas apontam para a influência de outros dois Ds – acessibilidade aos destinos e distância à parada de transportes, como dimensões importantes na investigação do comportamento de viagem dos indivíduos (os 5 Ds, ver seção 2.4.3).

A discussão de centralidades urbanas implica, entretanto, a compreensão sobre em que consistem essas áreas. McDonald (1987) define como uma zona cujos valores de concentração de empregos são maiores que os das zonas adjacentes, de dimensões capazes de exercer efeito significativo sobre a estrutura espacial da área urbana, que pode levar a aumentos locais de densidade e valor do solo. Kneib (2008) destaca como suas principais características: (1) simbolismo, (2) acessibilidade, (3) integração e concentração de pessoas e atividades, (4) valorização do solo, que podem ser lidas por meio da variável geração de viagens. Alarcón (2004) classifica as centralidades urbanas segundo questões: (1) funcionais - aglomeração de atividades de comércio e de serviços; (2) morfológicas, entendido também por configuracionais – concentração das vias mais acessíveis na malha. Nesta pesquisa, as centralidades serão investigadas como o proposto em Kneib (2008), por meio dos valores de geração de viagens, manifestação subjacente das interações necessárias para o estabelecimento das atividades desenvolvidas nesses locais. A pesquisa tem como estudo de caso a cidade de São Paulo.

1.1 PROBLEMA

Fenômenos urbanos são a manifestação de diversas variáveis, em constante interação, na qualidade de um sistema complexo (ver seção 2.1.1). Os estudos sobre estruturação urbana e formação das centralidades partem das teorias econômicas para explicação das distribuições das concentrações das atividades, tratadas de forma bruta dentro de um contexto regional, e os deslocamentos, que partem de uma origem a um determinado destino, representados na forma de custo de viagem. Nos sistemas urbanos, a acessibilidade é fator importante de diferenciação do espaço, orientando a distribuição dessas atividades, e o transporte é demanda que deriva do

valor da atividade no destino. Os sistemas de transporte, como promotores de acessibilidade, desempenham importante papel no desenvolvimento dessas atividades e, por consequência, na estruturação do espaço.

A distribuição das atividades no destino são resultado da acessibilidade em nível local. Os aspectos de uso do solo e configuração local são igualmente condicionantes do movimento e influenciam no comportamento de viagens dos indivíduos. O estudo do papel da configuração na relação entre transportes e uso do solo parece carecer de uma apropriação mais refinada, que contemple qualidades da rede de caminhos da cidade além das características geométricas do tecido urbano ou capacidade das vias e sistemas de transportes.

Desta forma, a pesquisa procura entender melhor a articulação entre uso do solo, rede de transportes e configuração, estruturada em duas questões:

- 1- Quais variáveis devem ser avaliadas para o entendimento da relação entre configuração espacial, uso do solo e rede de transportes de massa com foco em estações de metrô?
- 2- Em que medida diferentes configurações espaciais urbanas afetam a relação entre acessibilidade, uso do solo e uso do transporte de massa?

1.2 OBJETIVOS

Para a investigação do fenômeno apresentado, este trabalho deverá atender a um objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1 OBJETIVO GERAL

A pesquisa tem por objetivo desenvolver um estudo para verificação do potencial de promoção de centralidades em zonas servidas por estações de transporte de massa, a partir da caracterização do ambiente construído com base nas ferramentas de análise configuracional da Sintaxe Espacial, variáveis de uso do solo e de rede de transportes. A intenção da pesquisa é calcular matematicamente, por meio das regularidades manifestadas pela observação da associação de variáveis representativas dessas três dimensões, o potencial de geração de viagens de uma determinada zona, para identificar áreas no tecido urbano da cidade de São Paulo,

servidas por estações de metrô, com possibilidade de intensificação de usos e desenvolvimento de novos núcleos de atividades.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar e testar variáveis de caracterização do ambiente construído para análises matemáticas de fenômenos urbanos;
- Compreender as distribuições espaciais das principais atividades e variáveis de pesquisa;
- Verificar a correlação entre a distribuição dessas atividades e variáveis com aspectos de configuração urbana;
- Avaliar os aspectos de uso do solo e configuração urbana nas áreas servidas por metrô.

1.3 JUSTIFICATIVAS

1.3.1 TEMÁTICAS

As interações promovidas pela infraestrutura de transportes são definidoras da dinâmica das regiões urbanas. Um sistema de transporte urbano eficiente é fundamental para a qualidade de vida e o bom desempenho das atividades diárias de sua população. A crítica mobilidade da cidade de São Paulo, o principal eixo econômico do Brasil, é um dos principais problemas a serem enfrentados. Em estudo de Cintra (2014), a crise da mobilidade na cidade, manifestada nos extensos congestionamentos, teria custo anual de mais de R\$ 40 bilhões, equivalente a 1% do PIB brasileiro, e 7,5% do PIB paulistano¹. As causas são diversas, passam pela concepção baseada no modelo rodoviário de expansão urbana e de mobilidade adotado em sucessivas políticas públicas desde as primeiras décadas do século XX (ver seção 4.1).

Diariamente, um contingente de mais de 3 milhões de pessoas se desloca para região conhecida como centro expandido da cidade (Leite & Chezzi, 2016), a principal concentração de atividades e empregos da região metropolitana, para onde converge grande parte da infraestrutura de transportes da cidade. Em uma cidade de mais de 11 milhões de habitantes, o dado é revelador da influência regional das atividades ali desenvolvidas, seja pela escassez de

¹ Dados do ano de 2012.

habitações acessíveis a um maior número de habitantes nas proximidades, ou pela falta de opções de empregos em outras porções do território.

Transporte e uso do solo estão profundamente associados, as redes de transporte são responsáveis pelo bom funcionamento da cidade como um conjunto de origens e destinos em potencial. Estes aspectos devem ser coordenados para o aproveitamento racional das localizações urbanas e dos deslocamentos pelo território. Desta forma, o entendimento das complexas relações que estruturam o espaço urbano é fundamental para a proposta de políticas públicas e de desenvolvimento urbano que permitam um ambiente mais justo no acesso às oportunidades pela população, com formas urbanas ambientalmente corretas, que não podem ser suportadas pelo transporte individual. A proposta de centralidades urbanas associadas a estações de transporte de massa são uma realidade nas orientações de desenvolvimento de planos de mobilidade no Brasil (Ministério das Cidades, 2015) e no exterior (Jun *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2013; Ratner & Goetz, 2013), dentro dos princípios de desenvolvimento orientado ao transporte de massa (*Transit-Oriented Development* - TOD).

1.3.2 METODOLÓGICAS

Para o atendimento dos objetivos propostos, a pesquisa parte da investigação do espaço urbano como um sistema, formado pela interação dos fenômenos na escala local e global do espaço urbano. As concentrações responsáveis pela forma urbana em seus aspectos globais serão investigadas dentro dos conceitos propostos em estudos de natureza econômica, de identificação empírica das centralidades.

As características do ambiente construído na escala da vizinhança, de onde parte e chega o movimento, exercem influência no comportamento das viagens individuais, onde aspectos configuracionais podem promover ou restringir o movimento, a acessibilidade, condicionando as localizações, concentrações e dispersões das atividades no sistema urbano. As conexões físicas dão suporte às conexões sociais e econômicas necessárias entre a comunidade e a região (Handy, 1992).

A literatura científica aponta para uma carência de metodologias que contemplem as características de configuração do ambiente construído na origem e no destino associadas ao comportamento de viagens, o que se apresenta como aspecto importante a ser considerado nessa análise (Handy, 1992; Cervero & Kockelman, 1997; Fuji & Hartshorn, 1995; Hillier, 2007;

Ewing & Cervero, 2010). A análise configuracional do espaço urbano a partir da Sintaxe Espacial permite, ao calcular matematicamente relações topológicas e geométricas do sistema urbano, caracterizar a estrutura urbana dentro do potencial de movimento, de acessibilidade, que sua rede viária pode proporcionar, associando dados quantitativos aos aspectos de configuração dessa rede, reveladores do comportamento do deslocamento humano, tratados apenas de forma qualitativa ou dentro de características exclusivamente geométricas até então. A análise sintática do espaço, ao correlacionar o comportamento de viagens na rede e características de uso e ocupação do solo, se apresenta como uma abordagem relacional (Hillier, 2007; Medeiros, 2013).

A natureza interdisciplinar dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) se mostra adequada ao estudo dos transportes urbanos de forma sistêmica. As ferramentas e algoritmos dos SIG permitem a análise de uma grande quantidade de dados dentro de suas relações espaciais, captando efeitos que não são percebidos em análises estatísticas tradicionais.

1.4 METODOLOGIA

A pesquisa parte dos conceitos e princípios do *Transit-Oriented Development* (TOD) para a investigação das centralidades associadas ao transporte de massa. Para a compreensão das centralidades é necessário o entendimento da dinâmica do sistema urbano, o que permite sua caracterização e identificação, elaborada nas escalas: (i) global, compreendendo a área urbana da cidade de São Paulo, exceto as áreas de proteção ambiental; (ii) local, nas regiões servidas por estações de metrô.

A primeira etapa da pesquisa é a identificação das centralidades, apoiada nos métodos e conceitos mais recorrentes nos estudos científicos que utilizam análise e estatística espacial para a caracterização mais precisa do fenômeno. Desta forma, foi elaborada a modelagem da área de análise em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), por meio da espacialização dos dados da pesquisa origem-destino nas zonas de tráfego da região metropolitana de São Paulo mais recente, do ano de 2007.

A análise configuracional a partir da Sintaxe Espacial utilizou como base o mapa axial da cidade de São Paulo (Medeiros, 2013). Esta base foi utilizada para a análise geral do sistema. O mapa axial, processado em Depthmap[®], gerou informações axiais e de segmentos, representação da rede viária da cidade. A análise configuracional da Sintaxe Espacial é utilizada tanto na

investigação das relações topológicas e geométricas globais quanto locais. Para a correlação das variáveis calculadas nestes dois mapas com os dados da pesquisa origem-destino foi necessário transpor os dados da representação da rede aos polígonos das Zonas de tráfego. Para isso, os mapas de cada variável de interesse para o estudo foram convertidos em superfícies, transformação feita a partir das ferramentas do SIG, para cálculo do valor médio da variável em cada polígono das zonas de tráfego.

A partir da representação em SIG foi elaborada a análise exploratória dos dados espaciais (ESDA), para avaliar as concentrações e dispersões das atividades pelo território, em análise visual e estatística, para avaliar quais as variáveis mais significativas a serem utilizadas no modelo de análise final. A intenção é desenvolver um modelo de análise, baseado em ferramentas estatísticas de regressão espacial, que identifique zonas de concentração atípica das atividades que permitam o desenvolvimento de novas centralidades urbanas. A metodologia detalhada é apresentada no capítulo 3.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação é estruturada em 6 capítulos, incluindo esta introdução. O capítulo 2 apresenta a revisão da bibliografia e o estado da arte das pesquisas a respeito dos principais conceitos que fundamentarão a análise da estrutura urbana, centralidades, configuração urbana e sua relação com os transportes. O capítulo 3 apresenta a metodologia de análise utilizada, que envolve: (i) análise configuracional por meio das ferramentas da Sintaxe Espacial; (ii) caracterização do objeto de estudo por meio da análise visual da distribuição das variáveis e aplicações de estatística espacial em Sistema de Informação Geográfica (SIG); (iii) seleção das variáveis a serem testadas para construção do modelo de análise. O capítulo 4 faz a caracterização do estudo de caso, iniciando com breve histórico da formação da cidade de São Paulo, e a análise das principais distribuições das atividades pelo território. O capítulo 5 é dedicado à aplicação do ferramental apresentado no capítulo 3 ao estudo de caso, testa e identifica as variáveis mais significativas para o estudo proposto, aplica o modelo de regressão e apresenta os resultados obtidos. O capítulo 6 é dedicado às conclusões da pesquisa e recomendações para futuras investigações.

2 SISTEMA URBANO

Este capítulo apresenta os conceitos e identifica os principais métodos e variáveis que orientarão a pesquisa. Os fenômenos urbanos se apresentam em manifestações globais, resultado das atividades que se processam ao nível local, em constante troca e interdependência entre as partes do sistema. A análise do fenômeno global não pode prescindir do entendimento de suas manifestações locais (Hillier, 2007; Roth *et al.*, 2011). A pesquisa procura investigar o papel da configuração na distribuição das atividades e fluxos no espaço urbano e, particularmente, em que medida os aspectos de configuração local são responsáveis pelos padrões de distribuição desses fenômenos.

A acessibilidade é fator fundamental de diferenciação do espaço. As teorias discutidas neste capítulo verificam que os aspectos da mobilidade e acessibilidade associados às localizações são responsáveis pelo desenvolvimento de atividades que se beneficiem dessa qualidade. Sua posição relativa ao sistema define as grandes distribuições das atividades e fluxos no espaço urbano. Porém, as condições desse fluxo nos pontos de onde partem e chegam o movimento local são aspectos importantes a serem investigados no comportamento de viagens e desenvolvimento das localizações urbanas.

A capacidade de atendimento aos requisitos de movimento confere certo potencial de utilização às localizações. Sistemas de transporte melhoram a condição de acesso, aumentam as distâncias a serem percorridas em uma determinada unidade de tempo, o que viabiliza a criação de novos “lugares” ou permitem intensificar o uso dos “lugares” existentes (Hall, 2016; Levinson, 2008; Dittmar & Ohland, 2004). Padrões de uso e ocupação do solo estão associados ao potencial de movimento que a configuração urbana, associada aos sistemas de transportes, pode proporcionar.

Um sistema de transporte de massa como o metrô depende de um certo número de usuários que se beneficiem dessa infraestrutura para seu bom funcionamento e viabilidade. Ao mesmo tempo que sua implantação atende a uma demanda observada na escala global do sistema urbano, seu caráter agregador tem o potencial de desenvolver novas concentrações de atividades no entorno das suas estações. Desta forma, a investigação das variáveis que caracterizam os aspectos locais do ambiente construído e associadas ao uso do transporte de massa é

fundamental para a análise do seu efeito nas distribuições das atividades no entorno das estações de transportes.

2.1 INVESTIGAÇÃO DO SISTEMA URBANO

A investigação do espaço, segundo Santos (2014), parte da dicotomia entre descrição e explicação. A base da descrição seria a vontade de explicação, o que supõe a existência prévia de um *sistema* sem o qual resultaria em análise de peças isoladas, faltando coerência e pertinência ao objeto de estudo. Sua tese converge para a noção de espaço como um conjunto de sistemas de objetos e sistemas de ações, cada qual com suas categorias analíticas internas, suas mediações, em constante *interação e modificação*.

As aglomerações urbanas reproduzem no espaço a complexidade de relações, que condicionam as interações e conferem sentido a esses assentamentos. Existe um propósito, uma finalidade, princípios subjacentes que os conformam e os transformam. As transformações na sociedade não são independentes, também se manifestam no espaço físico dessas aglomerações, que chamamos de cidades, relações que deixam registros do momento histórico de sua evolução. Estas relações sofrem da falta de sincronia com o tempo, as transformações sociais avançam mais rapidamente que as transformações físicas no território (Ascher, 2010).

Existe um traço comum entre os assentamentos humanos. Mesmo nos assentamentos mais primitivos, há uma lógica de circulação que os estrutura e permite as interações e relações entre os indivíduos, o meio ambiente, os meios de subsistência. Assim, é correto deduzir que a lógica de circulação é um aspecto essencial nos assentamentos humanos, apresentada na sua rede de caminhos, sua rede de transportes. As cidades, enquanto produtos elaborados por uma sociedade, implicam em divisão técnica, social e espacial da produção, trocas de natureza diversa que dependem de uma estrutura de transportes para articular estas atividades, daí o seu caráter agregador. A movimentação de pessoas, bens e informações são componentes fundamentais das sociedades humanas (Rodrigue *et al.*, 2006; Anas *et al.*, 1998; Bertolini, 2012).

A expressão dos fluxos e movimentos são fator essencial para determinar a evolução dos assentamentos; quanto maiores e mais complexas as unidades urbanas, mais as relações internas ganham importância, pois nenhum setor pode se bastar e a dinâmica do aglomerado só se realiza em seu conjunto (Castells, 1983). A “urbanidade” está associada ao potencial de interação

oferecido pelas cidades, ao fenômeno que gera o reagrupamento de uma grande quantidade de pessoas em um mesmo lugar. Esta interação se dá por meio das redes de transportes e de comunicações (Ascher, 2010). A investigação sobre os fenômenos urbanos passa pela compreensão da interação, das relações e dos princípios que orientam a ocupação, a estruturação e permanente transformação do território, na qualidade de um sistema.

2.1.1 VISÃO SISTÊMICA

Para o entendimento das complexas relações no interior do espaço urbano, os processos de atração e dispersão que conformam e diferenciam seu território, é necessária a investigação das relações entre suas partes, como se organizam, se estruturam, quais os princípios que regem esta organização. O entendimento de uma realidade total que se refaz continuamente, onde apenas o entendimento das partes isoladas não é capaz de explicar o todo, formado por suas leis e estruturas internas (Santos, 2014).

A abordagem relacional afasta-se das teorias mecanicistas e cartesianas e remetem a uma nova visão holística, ecológica, sustentável e sistêmica (Medeiros, 2013). As bases do “pensamento sistêmico” têm origem nas pesquisas dos biólogos organísmicos no início do século XX. Ross Harrison (1870-1959) aborda o problema da forma biológica a partir de sua *organização*, e não mais a partir de sua *função* (Capra, 1997). Emerge daí a noção de *configuração e relação* como dois aspectos importantes da *organização*, unificados na concepção de *padrão* como uma *configuração de relações ordenadas* (Capra, 1997). O termo *sistema* também ganha a conotação que utilizamos hoje nas ciências, passou a significar um todo integrado cujas propriedades surgem das relações entre suas partes e *pensamento sistêmico*, como a compreensão de um fenômeno dentro de um todo maior. Esta compreensão de sistema implica organização, em relações em diversos níveis, as chamadas *hierarquias*, uma organização, uma ordem multinivelada encontrada na natureza. Em cada nível dessa organização, os fenômenos exibem propriedades que não existiam no nível inferior, o que levou a noção de “propriedades emergentes”, que emergem num certo grau de complexidade, mas não em níveis inferiores (Capra, 1997).

O estudo de fenômenos dessa qualidade implica no entendimento de como se dão as relações de interdependência, os efeitos recíprocos, em uma sequência iterativa assemelhada, um processo, um ciclo permanentemente realimentado. Como um todo amplo e complexo, os

estudos sobre o espaço urbano não podem ser restritos à investigação meramente das partes isoladas, mecanicista, cartesiana, existem princípios subjacentes que regem as relações em seu interior, de caráter global e local, só percebidos a partir da visão e do entendimento destas forças atuando em conjunto, como um organismo, um sistema (Batty, 2009; Roth *et al.*, 2011).

2.1.1.1 *Configuração, padrão e estrutura*

A visão sistêmica implica na investigação das totalidades organizadas (Von Bertalanffy, 2012), o que remete a três conceitos imbricados: *padrão, estrutura e processo*. Padrão é uma configuração com relações específicas, que determina as características essenciais do sistema; estrutura é a incorporação física do padrão de organização do sistema; processo é a atividade envolvida na incorporação contínua do padrão de organização do sistema (Capra, 1997).

A configuração implica em relações que se estabelecem entre elementos, na abordagem da pesquisa, são as relações entre os elementos construídos dispostos no território urbano. A configuração territorial segundo Santos (2014) é produto dos sistemas naturais e artificiais que caracterizam fisicamente uma área, o sistema de objetos, uma elaboração social. O espaço, na concepção da geografia como disciplina, reúne a materialidade e a vida que o anima.

A concepção de configuração se assemelha à de morfologia que, em sentido restrito, é a investigação da forma-espaço, a relação simultânea entre cheios e vazios (Medeiros, 2013). A configuração urbana é a maneira que os elementos construídos, produzidos pelo homem, se articulam no território, dentro das restrições naturais impostas pelo sítio, segundo elaborações estabelecidas pela sociedade. *Configuração urbana* é um conjunto de relações materiais que se estabelecem dentro de princípios de organização e relações sociais. A *configuração* implica na noção de *relações que se estabelecem*, que formam os *padrões*. *Padrões* podem ser definidos como regularidades que se manifestam, os princípios e regras que dão o caráter morfológico que permitem a investigação do fenômeno dentro de um sistema, a comparação e correlação por meio das regularidades.

Estrutura é um todo articulado de partes que se relacionam, onde a alterações em uma parte, ou em uma relação, causam alterações em todas as demais partes (Bastide, 1971, *apud* Villaça, 1998). A *estrutura* é a manifestação física do padrão, seus elementos não podem ser

compreendidos individualmente, ganham significado apenas como integrantes de uma estrutura em seus aspectos de solidariedade e oposição, uma totalidade, um sistema (Medeiros, 2013).

A compreensão da estrutura espacial, regularidades e dos princípios subjacentes de composição do sistema urbano é de fundamental importância para o desenvolvimento da pesquisa. Seu processo de estruturação, por meio de forças de atração e dispersão no território orientam e definem os fluxos para manifestação das interações entre seus componentes (Giuliano *et al.*, 2012; Anas *et al.*, 1998; Hillier, 2007; Roth *et al.*, 2011).

2.2 ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA URBANO

O foco da pesquisa centra-se nas cidades, aglomerações urbanas, um artefato produzido pelo homem, formado por indivíduos que não produzem para sua própria subsistência. (Ascher, 2010). Daí a cidade ter como função primitiva a troca de bens, de produtos, ou da força de trabalho (Villaça, 1998). Essa forma de organização implica em relações sociais e materiais que dão forma, função e significação ao espaço urbano (Castells, 1983). A divisão social do trabalho, espacialização das atividades e das funções faz com que as cidades abriguem uma rede profusa de relações que se manifestam no espaço, um sistema organizado e regido por princípios subjacentes, deixando registros físicos dessas relações e dos períodos de sua evolução (Villaça, 1998; Ascher, 2010; Santos, 2012; Castells, 1983).

Fala-se em aglomerações para conferir seu caráter genérico, para mostrar um quadro de relações que se estabelecem nos assentamentos nas mais diversas escalas ou estágios de desenvolvimento. Podem ser aldeias, bairros, cidades, regiões metropolitanas, países, estejam próximos ou aproximados pelos transportes, ou ainda entre as diversas partes do espaço interno dessas aglomerações.

Nesta pesquisa, os termos espaço urbano, sistema urbano e cidade são considerados sinônimos, utilizados para a discussão dos fenômenos no recorte que Villaça (1998) denomina intra-urbano, ou seja, as relações que ocorrem não ao nível regional, mas sim nos aspectos locais, no interior das cidades. A cidade entendida a partir das relações que se desenvolvem e se estabelecem em tecidos urbanos contíguos no espaço. Essas relações implicam em interações físicas e compreendem fluxos pelo território, manifestados em uma rede de transportes.

Para Castells (1983), a organização urbana se dá por meio de processos “ecológicos”, os principais a saber: (i) *a concentração*, o aumento da densidade de uma população num certo espaço em um determinado momento; (ii) *a centralização*, ou especialização funcional de uma atividade ou rede de atividades num mesmo espaço, com sua articulação hierarquizada no conjunto do território regional; (iii) *a descentralização*, na base dos processos de mobilidade e de circulação, no sentido amplo do termo; (iv) *a segregação*, processo pelo qual o conteúdo social do espaço torna-se homogêneo no interior de uma unidade e se diferencia fortemente em relação às unidades exteriores, em geral conforme a distância social derivada do sistema de estratificação; (v) *a invasão-sucessão*, o movimento pelo qual uma nova população ou atividade se introduz num espaço previamente ocupado, sendo rejeitada pela anterior, integrada ou finalmente sucedendo como dominante na unidade ecológica.

Anas *et al.* (1998) defendem que a estrutura urbana é determinada pelo balanço de forças centrífugas e centrípetas em relação às aglomerações. As economias de aglomeração são as responsáveis pelos movimentos centrífugos, agregadores no espaço. As deseconomias provenientes da aglomeração – alta nos valores dos imóveis e aluguéis, congestionamentos, dificuldades de acesso, poluição, custos de transporte - seriam responsáveis pelas forças centrípetas dos indivíduos no território. Na visão da economia urbana, a estrutura urbana é representada a partir de dados gerais de uso do solo, como o grau de concentração de população e do emprego.

Para Villaça (1998), os principais elementos da estrutura urbana são: o *centro principal da metrópole* (a maior aglomeração diversificada de empregos, ou a maior aglomeração de comércio e serviços), *os subcentros de comércios e serviços* (aglomerações diversificadas de comércio e serviços, réplicas menores do centro principal), *os conjuntos de bairros residenciais segundo as classes sociais* e *as áreas industriais*. Como componentes de uma estrutura urbana, estes se articulam como uma rede, imbricada a outras estruturas territoriais como rede de transportes e demais infraestruturas, dotada de movimento, onde o principal motivo para este movimento seriam as relações de consumo.

Estrutura urbana para Rodrigue *et al.* (2006) refere-se ao conjunto de relações que surgem a partir da forma urbana e suas interações subjacentes entre pessoas, cargas e informações. Na concepção do autor, a forma urbana e estrutura espacial urbana são articuladas por dois elementos: *nós* e *links*. Os *nós* são representação da centralidade urbana, podem estar

relacionados à acumulação espacial de atividades econômicas ou à acessibilidade ao sistema de transporte, são os pontos de origem ou destino do movimento. Os *links* são a infraestrutura de suporte aos fluxos que acontecem de, para e entre os nós. Os nós apresentam hierarquia relacionada à importância e contribuição às funções urbanas, como produção, administração, comércio e distribuição. O nível primário de hierarquia dos *links* compreende as ruas, que definem os elementos da estrutura espacial urbana, passando por estradas regionais, estradas de ferro, conexões por transporte aéreo ou marítimo.

A visão de Santos (2014) sobre a estrutura urbana parte do espaço como um conjunto indissociável de sistemas de objetos (fixos) e sistemas de ações (fluxos) para reconhecer suas categorias analíticas internas: (i) paisagem, (ii) configuração territorial, (iii) divisão territorial do trabalho, (iv) o espaço produzido ou produtivo, (v) as rugosidades (marcas do passado como forma, espaço construído) e (vi) as formas-conteúdo². O mesmo debate conduz a questões analíticas consideradas externas, que agregariam as categorias analíticas anteriores, trazendo a discussão sobre os recortes espaciais, tais como a noção de *região e lugar*, as *redes* e as *escalas*. A racionalidade do espaço parte de um conceito histórico atual, fruto da emergência das redes e do processo de globalização. Segundo o autor, a estruturação do espaço é dinâmica, “a cada período os recursos são distribuídos de diferentes maneiras e localmente combinados, o que acarreta uma diferenciação no interior do espaço total e confere a cada região ou lugar sua especificidade e definição particular” (Santos, 2014).

A estrutura urbana é manifestação da dinâmica do conjunto de relações e processos na qualidade de um sistema, em constante transformação. Relações e processos implicam em interações, atividades, em diferentes padrões de configuração, cujas distribuições são condicionadas, entre outras, por restrições físicas naturais do sítio e viabilizadas por uma rede de transportes.

² “*Tornada forma conteúdo pela presença da ação, a forma torna-se capaz de influenciar, de volta o desenvolvimento da totalidade, participando, assim, de pleno direito, da dialética social.*” (Santos, 2014). Essa discussão é de importância fundamental na investigação dos efeitos da configuração na dinâmica urbana.

2.2.1 REDE DE TRANSPORTES E ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA URBANO

Para Rodrigue *et al.* (2006), o crescimento demográfico e da mobilidade são moldados pela capacidade e requisitos da infraestrutura de transportes urbanos e estão associados a uma grande variedade de formas urbanas e estruturas espaciais. A mobilidade proporcionada pelos sistemas de transporte cria padrões espaciais distintos. A figura 2.1 mostra como a relação entre espaço e tempo de viagem muda dramaticamente de acordo com o modo de transporte.

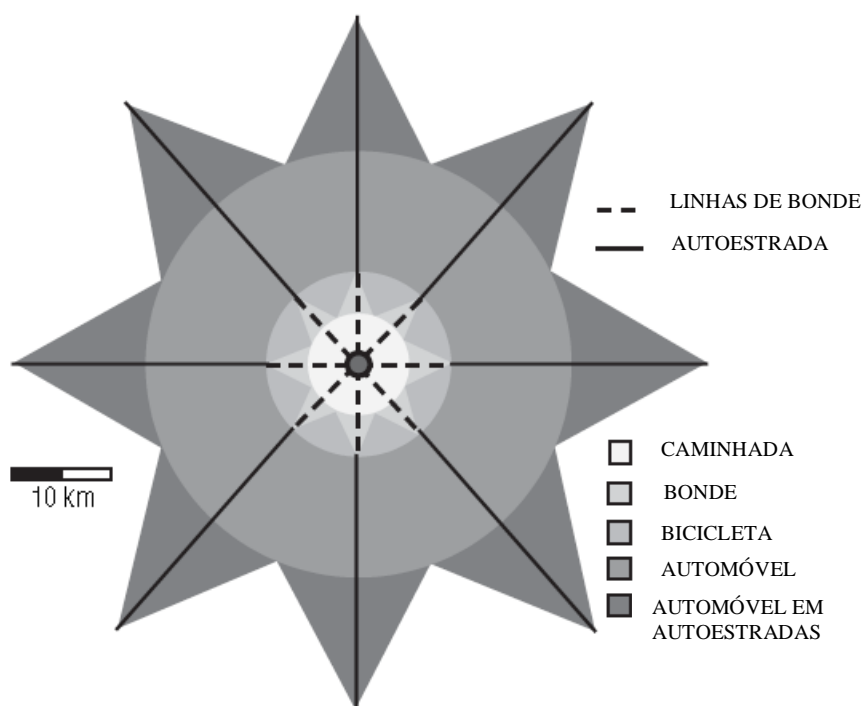


Figura 2.1 Uma hora de deslocamento de acordo com os diferentes modos de transporte.

Fonte: Adaptado de Hugil (1993), *apud* Rodrigue *et al* (2006)

Os autores fazem uma síntese do processo de evolução que considera comum às estruturas espaciais urbanas, apresentado a seguir (Figura 2.2):

- Era pré-industrial (A): A cidade se desenvolvia ao redor de um CBD limitado à uma pequena porção do território, geralmente perto de um corpo d'água, mercado e/ou um local de importância política e religiosa. Estes eram os locais onde ocorriam as principais transações, exigiam serviços financeiros, de armazenagem e de comércio atacadista.

- Revolução industrial (B): A revolução industrial trouxe a produção e o consumo de massa. Com isso, houve a emergência de um distrito de varejo, além do atacadista, como parte do CBD, enquanto a fabricação era gradualmente localizada fora do núcleo. Veio a necessidade de estruturas para gerenciar essas atividades em expansão, espaços de escritório, localizados próximo aos locais de serviços financeiros. Os principais eixos de circulação foram levados para a periferia.

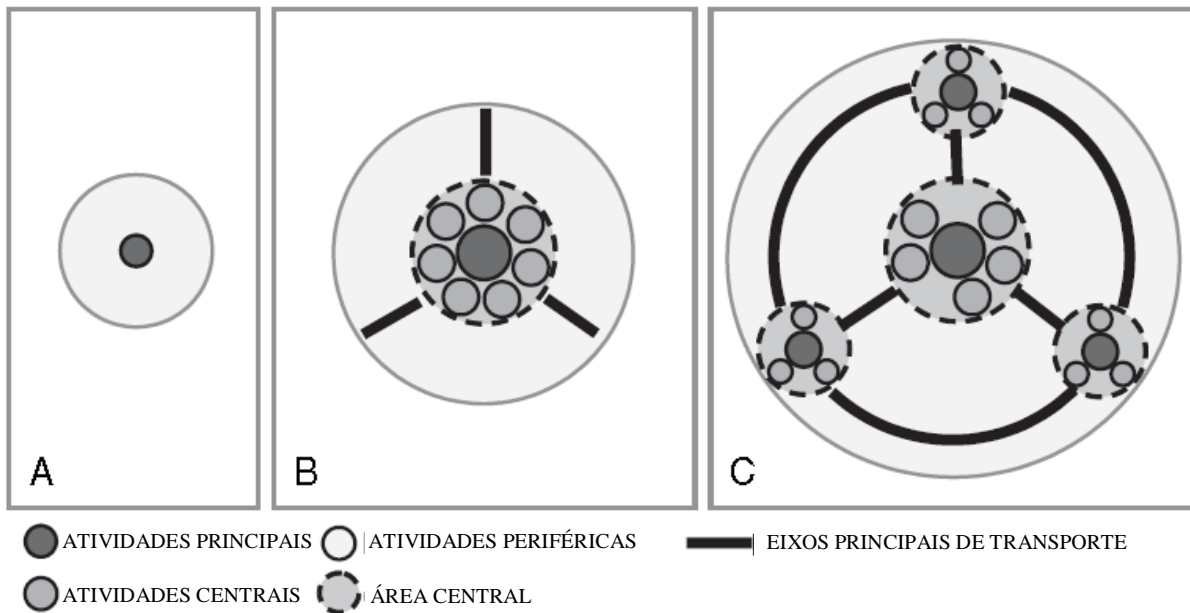


Figura 2.2 Evolução da estrutura espacial urbana
 Fonte: Adaptado de Rodrigue *et al.* (2006)

- Era contemporânea (C): As indústrias se deslocam em massa para as áreas suburbanas, deixando margem para a ampliação das áreas administrativas e financeiras. O CBD torna-se objeto de concentração de atividades financeiras e administrativas. Essa concentração de atividades e o crescimento da importância dos negócios, que deu origem muitas vezes empreendimentos multinacionais, aumenta o valor do terreno e dos aluguéis dos imóveis neste local. Dessa forma, subcentros de varejo são criados em áreas suburbanas, produto da acessibilidade rodoviária que se desenvolveu. Armazenagem e transportes, até então atividades centrais, também são relocados para áreas periféricas.

A força de estruturação do espaço proporcionada pela rede de transportes se dá ao mesmo tempo por seu caráter agregador e de dispersão. O caráter agregador pode ser observado nas aglomerações humanas que se desenvolvem no encontro de caminhos, ao redor de portos,

estações de estrada de ferro (Santos, 2012) e, em uma história mais recente, aeroportos (Kasarda, 2013). As forças de dispersão são as novas possibilidades de ocupação do território possibilitadas pelos transportes, sobretudo pela liberdade proporcionada pelo transporte individual.

Os nós de acessibilidade como portos, aeroportos e estações de transporte de massa aglomeram atividades de caráter local ou regional ao seu redor. Portos e aeroportos não modificam as questões de mobilidade interna do espaço urbano, sua atração se dá pela geração de empregos nas atividades fim e ao seu redor. Rodovias e vias de circulação urbana promovem acessibilidade em toda a sua extensão, corredores de transporte de massa como metrô e ferrovias apenas na área de influência das estações (Villaça, 1998; Rodrigue *et al.*, 2006; Petersen, 2004).

A rede de transportes confere características únicas de possibilidades de interações físicas às aglomerações, seja nas escalas locais, regionais ou globais (Villaça, 1998; Santos, 2012; Ascher, 2010). Essa noção parte das relações que se estabelecem dentro da estrutura urbana criando *lugares*, diferenciados sobretudo por sua *posição em relação a todos os demais elementos do sistema*, sua facilidade de acesso, que revelam diferenças de *acessibilidade*. Acessibilidade que se traduz em otimização dos gastos de tempo nos deslocamentos, daí a importância do *lugar* nos sistemas urbanos. Uma via ou terminal de transporte urbano melhora a acessibilidade aos terrenos adjacentes, a criação de valor se dá por meio do aumento do potencial de pontos a serem alcançados no espaço construído (Villaça, 1998).

O deslocamento do ser humano, na condição de portador da mercadoria força de trabalho – deslocamentos pendulares casa/trabalho, ou consumidor – deslocamentos para compras, lazer, escola, possuem um grande poder estruturador do território. Este poder estruturador e agregador dos comércios e centros urbanos estaria relacionado ao potencial de geração e atração de viagens dessas áreas específicas da estrutura urbana, *concentrando as viagens* a trabalho – os que trabalham ali, e de consumo – de bens e serviços (Villaça, 1998).

2.3 CENTROS URBANOS

Kneib (2008) aponta quatro características principais comuns na literatura sobre centros urbanos: 1) *simbolismo*, 2) *acessibilidade*, 3) *relações e concentração*, e 4) *valor do solo*. Para Castells (1983), o simbolismo dos centros parte das suas características de coordenação e

ordenação das atividades urbanas, criando as condições necessárias à comunicação entre os atores. O aspecto simbólico segundo Santos (2014) é fruto de uma ideologia, criada para fazer parte da vida real, e assume a forma de objetos. Santos (2012) define o centro como paisagem arquitetural e humana mais complexa que os demais setores da cidade. Paisagem na abordagem de Santos (2014) equivale à *configuração*, um conjunto de formas físicas expressão das relações estabelecidas, no presente e na história. Esta descrição nos remete ainda a outro tipo de centro, o histórico, configurado pelas relações que se estabeleciam na origem do assentamento.

A acessibilidade é uma forte característica dos centros urbanos. Para Villaça (1998), a fonte da centralidade está na possibilidade de se minimizarem o tempo gasto e os custos associados aos deslocamentos espaciais dos seres humanos. Para Castells (1983), a acessibilidade com referência ao conjunto da zona urbana da qual assume a centralidade é importante característica dos centros integradores. Segundo Handy (1992), o nível de acessibilidade em um lugar reflete a distribuição de destinos potenciais ao seu redor. Ele mede não apenas a facilidade com que atividades específicas podem ser alcançadas, mas a magnitude da atividade em locais específicos. Assim, as medidas de acessibilidade consistem em dois elementos: a atratividade de destinos potenciais e o custo de alcançá-los.

Os centros urbanos são foco irradiador da organização espacial urbana, maior concentração de comércio, escritórios e serviços, por consequência, de empregos nas áreas metropolitanas (Villaça, 1998). Essa é a qualidade de centro como integrador, o promotor de trocas e coordenador das atividades descentralizadas, o chamado *Central Business District* (CBD), ou centro de negócios (Castells, 1983). O CBD é um tipo de centro essencialmente funcional sob dois aspectos: 1) representa a especialização do processo de divisão técnica e social do trabalho, com a gestão centralizada das atividades produtivas executivas nos estabelecimentos comerciais; 2) é a especialização geográfica de um certo tipo de unidades de consumo e de serviços chamado “terciário superior” (Castells, 1983).

Os aspectos de relações e concentração do CBD são lidos por Anas *et al.* (1998) como um processo das *economias de aglomeração*, economias de escala generalizadas que se manifestam por meio da proximidade espacial, formando agrupamentos. Os centros ocupam posição de dominância no território e concentram atividades que se beneficiam das economias de aglomeração (Levinson, 2008; Levinson *et al.*, 2017; Chiaradia *et al.*, 2009; Hillier 2007, Glaeser *et al.*, 2001, Anas *et al.*, 1998). A exemplo da região metropolitana de Londres, as

centralidades urbanas ocupam 20% do território, concentrando 80% da atividade econômica, um indicador de que essas áreas são responsáveis por grande parte da produção de riqueza em uma cidade (Chiaradia *et al.* 2009).

A concentração de atividades e o crescimento da importância dos negócios, fruto das economias de aglomeração e características de acessibilidade das regiões centrais provocam a valorização dessas localizações (Rodrigue *et al.*, 2006). Para Villaça (1998), o valor de uso das localizações está associado à otimização do tempo de deslocamento; o valor material é a fonte de seu valor simbólico.

O centro da cidade é produto da dinâmica interna da estrutura urbana (Castells, 1983; Villaça, 1998). Dentro da leitura do espaço urbano como um sistema, as relações entre seus componentes se alteram, fruto da expressão das novas relações sociais e de produção, que se revelam em novos padrões de ocupação do território, na produção de novos lugares. Historicamente, observamos que os centros se movem (Medeiros, 2013; Villaça, 1998), ou tomam novas formas (Castells, 1983). Como produto dessa dinâmica, surgem novas hierarquias, centros e subcentros aparecem difusos e conurbados no espaço urbano (Chiaradia *et al.*, 2009).

2.3.1 SUBCENTROS URBANOS

Villaça (1998) define os subcentros urbanos como aglomerações diversificadas e equilibradas de comércio e serviços, uma réplica em tamanho menor com o qual concorre em parte, sem a ele se igualar. Os requisitos de otimização de acesso são característicos também nessas áreas, apenas para uma parte da cidade, enquanto o centro principal atende a cidade ou toda uma região metropolitana.

Para Castells (1983), os subcentros são produto da especialização funcional de atividades no espaço urbano; o centro se torna uma estrutura “multinuclear”. Segundo o autor, existe uma “desconcentração” das atividades para pontos do território mais favoráveis ao seu desenvolvimento, como a relocação espacial das áreas de produção, comércio e troca, viabilizados pelo aumento da mobilidade no território. A partir desse processo, o antigo centro urbano se especializa, ainda mantém as características de centro de decisão, o “centro de negócios” em seu significado mais amplo, abrigando as funções de gestão pública, política e administrativa.

Para Petersen (2004), a formação de subcentros faz parte do desenvolvimento saudável das aglomerações urbanas. O objetivo deste tipo de desenvolvimento urbano seria a redução da pressão do tráfego nas vias de acesso ao centro principal, criando condições de manutenção de atividades e população na periferia das cidades (Fig. 2.3).

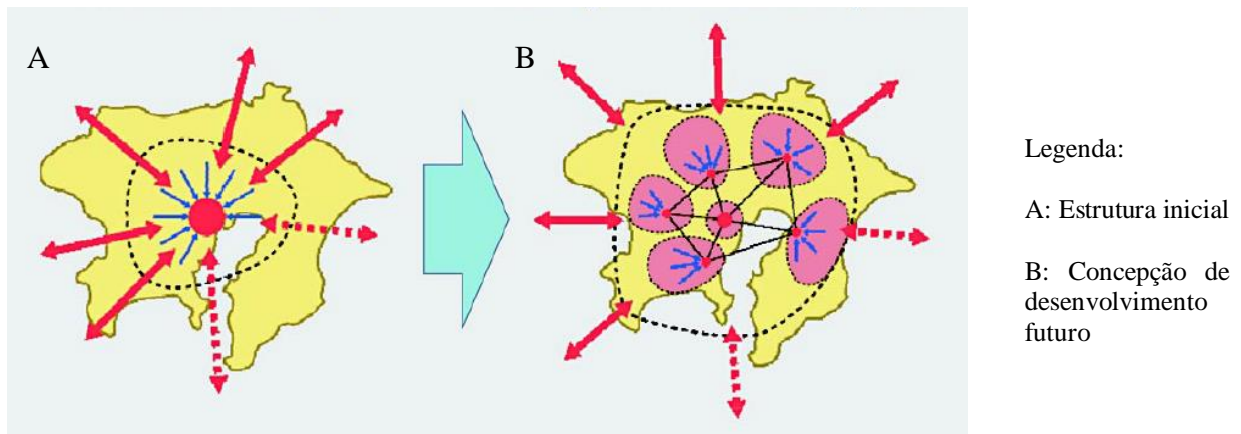


Figura 2.3 Descentralização urbana em subcentros.
Fonte: Adaptado de Petersen, 2004

Subcentros nos remete a noção implícita de hierarquia, a existência de um centro principal que organiza e coordena o espaço urbano. Para Anas *et al.* (1998), a criação de subcentros é efeito da atuação das forças centrífugas e centrípetas das economias de aglomeração no território. As economias de aglomeração, causa e efeito das aglomerações urbanas, elevariam o custo marginal associado à localização central em assentamentos monocêntricos, na forma da valorização imobiliária ou por meio dos congestionamentos - a externalidade atualmente mais estudada. Disponibilidade de infraestrutura de transportes e terras acessíveis favoreceriam a formação de subcentros, reduzindo a pressão sobre os centros principais.

2.3.2 IDENTIFICAÇÃO DAS CENTRALIDADES

As pesquisas e metodologias que tratam da investigação da policentralidade são recentes (Villaça, 1998; Kneib, 2008). O padrão monocêntrico que dominou as ciências urbanas e regionais até meados do século XX não explica a estrutura urbana das áreas metropolitanas contemporâneas, caracterizadas por padrões descentralizados de emprego, concentrados em subcentros de atividades (subcentralidades) ou ainda dispersos, próximos aos consumidores e população (Villaça, 1998; Giuliano & Small, 1991; Castells, 1983, Santos, 2014; Modarres, 2011).

O centro principal de uma cidade (o CBD) é a concentração de população e atividades que coordena e orienta o desenvolvimento da estrutura urbana. Uma aglomeração urbana, para ser considerada uma subcentralidade, além de concentrar população e atividades, deve exercer certa influência nos padrões gerais de empregos, densidade de população, valorização do solo e de viagens (McDonald, 1987; Giuliano & Small, 1991; McMillen & McDonald, 1997). Dentro desta ótica, trabalhos acadêmicos pioneiros, produzidos a partir de meados da década de 1970, procuram explicar as alterações na estrutura urbana a partir das forças econômicas (Kneib, 2008; Giuliano & Small, 1991; Anas *et al.*, 1998).

O entendimento da dinâmica urbana é fundamental para a compreensão do funcionamento da cidade como um sistema, seus fluxos, os processos de concentração e dispersão de população e das atividades pelo território. Centralidades são pontos dominantes na estrutura urbana. Como concentradoras de atividades e empregos, sua identificação é de fundamental importância quando consideramos seu impacto nos movimentos intra-urbanos de pessoas e mercadorias, bem como na estrutura econômica e social das cidades (Villaça, 1998; Anas *et al.*, 1997; Giuliano e Small, 1991; Fuji & Hartshorn, 1995; Giuliano *et al.* 2008; Lee, 2007; Modarres, 2003 e 2011).

A modelagem das complexas relações em um sistema urbano requer a investigação de grande quantidade de dados, relativos aos aspectos demográficos, socioeconômicos, físicos, de configuração da paisagem e de seu sistema de circulação. Estudos dessa natureza estão condicionados à disponibilidade de dados robustos e confiáveis, bem como aos recursos existentes para sua coleta e manipulação. Entre as pesquisas mais significativas no desenvolvimento de um procedimento formal de identificação de centros e subcentros urbanos estão os trabalhos pioneiros de McDonald (1987) e Giuliano & Small (1991), base de diversos outros estudos (Kneib, 2008), majoritariamente desenvolvidos a partir de dados agregados em unidades espaciais como setores censitários, definidos nas pesquisas censitárias, ou em zonas de tráfego, definidas nas pesquisas do tipo origem-destino (ver seção 3.3.1). O desenvolvimento das tecnologias de geolocalização aplicadas aos transportes, associado ao aumento da capacidade de processamento dos computadores, abre novas possibilidades de obtenção de dados de fluxos de viagens para análises espaciais e de comportamento da atividade urbana. Atualmente, dados podem ser adquiridos em séries temporais menores, em nível desagregado na escala de vizinhança, por meio de dados de redes de celulares, “smart cards” (cartões de mobilidade, para acesso à rede de transporte público), redes sociais, entre outras (Cats *et al.*, 2015; Zhong *et al.*, 2014).

McDonald (1987) parte de uma função simples de densidade de empregos para uma cidade monocêntrica padrão, que investiga a relação entre densidade de empregos e distância ao CBD. Define subcentros como uma zona cujos valores de concentração de empregos são maiores que os das zonas adjacentes, de dimensões capazes de exercer efeito significativo sobre a estrutura espacial da área urbana, que pode levar a aumentos locais de densidade populacional e valor do solo. Como variáveis, sugere densidade de empregos ou taxa de empregos por população, para empregos totais ou industriais. Essa definição não se aplicaria a subcentros com tamanho maior que duas ou mais zonas. Identifica quatro subcentros em Chicago, agregando 44 zonas (*apud* Kneib, 2008; Anas *et al.*, 1998, Giuliano e Small, 1991).

A pesquisa de Giuliano & Small (1991) é relevante por dois aspectos: (i) sistematiza um método empírico para identificação de centros e subcentros de empregos; (ii) analisa suas funções, distribuições e fluxos associados. Definem um centro (seja o principal, que contenha o CBD, ou subcentros) como um conjunto de zonas contíguas³, cada uma com densidade bruta de empregos acima de uma densidade mínima D e que juntas contenham um valor mínimo total E de empregos. Estabelecem os valores de corte para densidade de empregos (D) acima de 10 empregos/acre (25 empregos/Ha), e empregos totais (E) acima de 10.000. Densidades mais altas, no caso estudado, poderiam excluir alguns tipos de centros especializados. Encontra correlações positivas entre a formação de subcentros e economias de aglomeração (formação de centros de atividades especializadas), tempo de viagem aos maiores centros (maior que para as demais zonas, poder de atração de populações mais distantes). Os resultados sugerem que a região de Los Angeles é caracterizada por um sistema de centros especializados, distribuídos em um padrão de atividades econômicas fortemente influenciado pela sua localização relativa ao CBD.

O método paramétrico proposto por Giuliano & Small (1991) é uma importante contribuição na identificação das centralidades nas regiões urbanas, porém há limitações. O estabelecimento dos valores de corte implica em conhecimento prévio da estrutura urbana a ser investigada, e podem não ser representativos no estudo das concentrações em outros sistemas urbanos (Readfern, 2007; McMillen & McDonald, 1997). Estudos dessa natureza, além de identificar

³ Zonas de análise de transportes, agregam quadras censitárias por características funcionais, sem a necessidade de incluir uma população fixa, guardam certa semelhança com as zonas de tráfego das pesquisas origem-destino, unidade básica de análise desta pesquisa (ver seção 4.3.1).

os centros e subcentros, são importantes para verificar os efeitos dessas zonas dominantes na estrutura espacial urbana.

McMillen & McDonald (1998) estudam a evolução das concentrações de emprego na região metropolitana de Chicago (EUA) nas décadas de 1980 e 1990, por meio de funções de densidade e métodos estatísticos tradicionais. Identificam 20 centralidades e encontram evidências de que a proximidade aos subcentros exercem influência significativa nas concentrações de emprego, não encontra evidências dessas concentrações em relação à distância ao CBD ou aos grandes nós de acessibilidade como acessos rodoviários, estradas de ferro ou mesmo ao aeroporto internacional de O'Hare. O resultado é indicativo de que as economias de aglomeração teriam maior efeito nas concentrações de empregos do que seus aspectos de localização relativa ao sistema. Porém, os autores apontam para limitações do método. A utilização de regressões baseada em estatísticas tradicionais para a modelagem de fenômenos espaciais estaria sujeita a erros de especificação ou de multicolinearidade, pois parte de uma grande quantidade de dados cujos efeitos podem se sobrepor. Este fato, segundo os autores, pode colocar em questão os resultados de uma série de estudos empíricos anteriormente elaborados.

A investigação dos fenômenos urbanos deve considerar a análise da dependência espacial das variáveis (ver seção 3.3.6), ou seja, os locais próximos tendem a apresentar maior semelhança entre si do que os locais mais distantes. A aplicação de ferramentas estatísticas tradicionais apresenta limitações em análises espaciais, não consideram os efeitos da proximidade no comportamento dessas variáveis (Anselin & Bao, 1997). Por exemplo, duas localizações podem estar a uma mesma distância em relação a um CBD e apresentarem intensidade de ocupação diferentes, resultado de sua posição relativa a sistema, sua centralidade.

Em outro estudo na região metropolitana de Chicago (EUA), McMillen & McDonald (1997) testam um método de regressão não paramétrico do tipo *locally weighted regression* (LWR), para demonstrar a sua utilidade na identificação de subcentros. Este método pondera espacialmente as observações mais próximas e gera uma superfície de regressão que representa a distribuição das variáveis de estudo (ver seção 3.3.6.5). O procedimento, ao tratar a identificação dos subcentros a partir de conceitos de estatística espacial, elimina a necessidade de conhecimento prévio aprofundado sobre a estrutura da cidade. Apresenta a distribuição dos valores de forma contínua no espaço, em uma superfície capaz de identificar os picos de

concentração e distribuição com maior precisão. O método ainda associa valores de corte propostos por Giuliano & Small (1991) para identificação de potenciais subcentros. Como resultado, foram identificadas 15 centralidades, e demonstra evidências da influência do CBD e do aeroporto internacional de O'Hare sobre as concentrações de emprego de toda a região metropolitana. Os picos de concentração de empregos próximos às essas áreas, segundo os autores, são indícios da importância das economias de aglomeração na estruturação do espaço urbano que, segundo os autores, não pode ser explicada apenas pelo acesso à rede de transportes. O estudo aponta para que fatores associados à acessibilidade, como distância à estação de trem ou os encontros de vias expressas, teriam maior efeito na distribuição local das concentrações, a posição relativa ao sistema é a maior responsável pelas densidades de ocupação e localização das atividades pelo território.

Subcentros segundo McMillen (2001) são locais com densidade de empregos significativamente maior que os locais próximos e exercem efeito significativo na distribuição geral de empregos. A dificuldade, segundo o autor, seria estabelecer o que seria densidade de empregos “significativamente maior”, e qual a definição de local “próximo”. Outro problema é a definição da unidade espacial de observação. Unidades espaciais muito grandes podem não apresentar corretamente os picos de concentração de empregos, e indicar menor número de subcentros que em unidades de menor agregação. Desta forma, propõe um procedimento não paramétrico em dois estágios para a identificação de subcentros por meio de: (i) estimador do tipo *locally weight regression* (LWR); e (ii), uma regressão semiparamétrica para verificação dos efeitos dos subcentros na distribuição das densidades de empregos. Subcentros em potencial, conforme o estudo, são as zonas com resíduos positivos significativos, com significância estatística maior que 5%. O procedimento, aplicado em seis cidades distintas nos EUA: Chicago, Dalas, Houston, Los Angeles, New Orleans e San Francisco, trata os subcentros a partir de conceitos estatísticos, eliminando a necessidade de conhecimento prévio aprofundado sobre a estrutura da cidade. O método se mostrou eficaz na identificação dos subcentros, e da influência dessas áreas na estrutura urbana – densidades de emprego e população tendem a diminuir com a distância ao CBD, e aumentar próximo aos subcentros.

Readfern (2007) apresenta um modelo não paramétrico de identificação de subcentros com base em regressão LWR para estimar superfície de densidade de empregos ao redor de cada zona candidata. Utiliza a variável densidade de empregos, dados do ano 2000, identificando 41 subcentros na região metropolitana de Los Angeles (EUA). Os resultados foram comparados

com os obtidos por meio do método paramétrico de Giuliano *et al.* (2007), e não-paramétrico de McMillen (2001), encontrando maior correspondência com este último.

Kneib (2008) em estudo na cidade de Manaus (AM) verifica que a variável geração de viagens⁴ consegue refletir as demais características inerentes aos subcentros: i) simbolismo; ii) acessibilidade; iii) concentração de pessoas e de atividades e iv) valorização do solo. Assume a definição de subcentros como “*uma área com número de viagens geradas significativamente maior do que as áreas vizinhas*”. O procedimento desenvolvido a partir desta definição de subcentros é baseado em ferramentas de análise espacial, com ênfase em estatística espacial, utilizando Sistemas de Informação Geográfica – SIG. O procedimento é composto de duas fases: 1) Identificação das áreas candidatas a subcentros, em escala de zona de tráfego, a partir da composição de dados com a matriz Origem-Destino (O-D) e com a base vetorial das zonas de tráfego – ZTs, para a geração do Boxmap – mapa temático bidimensional, expressão da autocorrelação espacial global dos dados por meio de valores normalizados (valores de atributos subtraídos de sua média e divididos pelo desvio padrão), considerando apenas o primeiro vizinho. Este mapa possibilita identificar os picos de geração de viagens, ou zonas candidatas a subcentros. Na segunda fase, as viagens das ZTs são desagregadas em escala de Setor Censitário, com base nos mapas de uso do solo e nas taxas de geração de viagens de Polos Geradores de Viagens; a partir desses dados são geradas as superfícies, que possibilitam identificar, para cada ZT, as áreas com maior grau de centralidade.

Existe grande número de pesquisas e métodos de identificação das concentrações denominadas centralidades, porém, o entendimento é limitado sobre os determinantes do seu crescimento (Giuliano *et al.*, 2012). McMillen & Smith (2003) comprovam a hipótese, com base no modelo de equilíbrio múltiplo de Fujita & Ogawa (1982), de que o crescimento da população e custos das viagens pendulares são responsáveis pela formação de subcentros de emprego. Aplicam método desenvolvido por McMillen (2001), modificado, para a identificação de subcentros em regiões urbanas americanas; encontram correspondência de cerca de 80% entre as variáveis pesquisadas e a explicação do fenômeno de formação dessas áreas. Atenção especial deve ser dada ao número de amostras dessa pesquisa, o procedimento estatístico viabilizou a aplicação em 62 regiões metropolitanas, o que contribuiu para a robustez dos resultados da pesquisa.

⁴ Soma das viagens produzidas e atraídas em uma zona de tráfego (ZT)

Modarres (2003) investiga a relação entre as subcentralidades de empregos e o serviço de transporte público na cidade de Los Angeles. O método de identificação dos subcentros utiliza duas ferramentas de estatística espacial: *vizinho mais próximo* e *krigagem*. A análise do *vizinho mais próximo* examina a estrutura da distribuição dos dados em um processo iterativo, com base na proximidade espacial e valores de corte definidos para a variável dentro do intervalo de confiança pretendido, que resulta em agrupamentos (*clusters*) da distribuição espacial do fenômeno. O método produziu resultados aproximados aos encontrados em McMillen (2001) e Giuliano & Small (1991).

A *krigagem*, ferramenta comum em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), quantifica a variação espacial por meio de processos matemáticos que utilizam valores de pontos definidos no espaço e suas distâncias relativas, criando um espaço regular ou uma superfície de tendência (Modarres, 2003); na pesquisa, essa superfície foi gerada a partir dos centroides dos setores censitários, ponderada pelo número total de empregos, que se provou técnica superior para o estudo da estrutura espacial da cidade de Los Angeles, capaz de identificar a heterogeneidade das distribuições de concentrações dentro das zonas pesquisadas, como maiores densidades ao longo de corredores de transportes. A pesquisa compreendeu a avaliação do perfil de distribuição espacial das atividades econômicas e socioeconômico da população, bem como a distribuição do transporte público. Observa que a distribuição e evolução do transporte público no período, que converge majoritariamente para o CBD, não atende bem aos novos fluxos criados pelo crescimento polinucleado da região metropolitana. Esse efeito seria mais sentido nas camadas de baixa renda, dependentes do transporte coletivo; o CBD concentra e orienta os deslocamentos, manifestado nos longos deslocamentos diários enfrentados. Modarres (2011) amplia essa discussão e sugere que, a partir do desenvolvimento de novas centralidades, políticas na tentativa de re-centralização de atividades na metrópole não seriam tão eficientes quanto a aprimorar essa policentralidade, por meio do incentivo a zonas residenciais próximas aos empregos, conectando os subcentros por meio de um sistema de transporte balanceado que atenda satisfatoriamente a todas as classes econômicas.

Para Fuji & Hartshorn (1995), o crescimento de múltiplos centros reorganiza o tecido urbano, os padrões de uso do solo e os fluxos diários de viagem que, em uma zona urbana monocêntrica, são atraídos para o CBD. A evolução urbana policêntrica seria uma forma pela qual a metrópole acomoda o crescimento, superando as externalidades negativas que aumentam com esse crescimento. Utilizando a região metropolitana de Atlanta como estudo de caso, analisa a

evolução dos subcentros e o perfil das atividades desenvolvidas partir dos dados da agência oficial de planejamento urbano em três períodos distintos: 1970, 1980 e 1990. Os autores ainda analisam os aspectos de características das subcentralidades utilizando dados da distribuição de empregos em três áreas: 1) comércio, 2) serviços; e 3) finanças, seguros e imobiliários, o que a literatura pesquisada pelos autores aponta como típicas funções de um CBD. Os autores concluem que os subcentros de Atlanta funcionam em complementaridade ao CBD. O perfil disperso de ocupação da região metropolitana favorece o transporte individual, onde apenas o CBD é bem servido por transporte público. Desta forma, o fluxo entre os subcentros causa a diminuição da utilização do transporte público, que não consegue dar suporte ao desenvolvimento espraiado.

Lee (2007) estuda a distribuição de empregos em seis regiões metropolitanas americanas: Nova Iorque, Los Angeles, Boston, Portland, San Francisco e Filadélfia. Com dados da agência de planejamento de transportes urbanos dos anos de 1980, 1990 e 2000, aplica método de identificação de subcentros com base em McMillen (2001). A pesquisa realiza uma análise empírica sobre o desenvolvimento espacial dessas regiões e encontra três tendências distintas: (i) Portland e Filadélfia apresentam crescimento disperso de empregos; (ii) em Boston e Nova Iorque os centros tradicionais se mantêm como fortes aglomerações; (iii) em Los Angeles e San Francisco há o desenvolvimento de novas subcentralidades. O autor aponta para a necessidade de investigar fatores associados aos resultados obtidos, entre outros, os relacionados à configuração: (i) a policentralidade em Los Angeles seria produto da disponibilidade de novas áreas para desenvolvimento e sua rede de vias expressas (a acessibilidade, sobretudo pelo transporte individual); os múltiplos centros em San Francisco estariam condicionados pelos seus aspectos topográficos, incluindo a presença da baía; (ii) a durabilidade do ambiente construído aparentemente condiciona o desenvolvimento de cidades como Nova Iorque e Boston, com CBD e estrutura viária estabelecidas há longo tempo. A estrutura econômica e industrial das cidades são fatores importantes no seu desenvolvimento espacial, onde as economias de aglomeração teriam importância fundamental. Os benefícios de localização das empresas no CBD seriam maiores para o setor financeiro, base da economia de Nova Iorque e Boston, o que estaria associado ao padrão de concentração de empregos observado nessas cidades. Pesquisa e desenvolvimento, ou indústria de alta tecnologia – setores com forte presença na economia de Los Angeles e San Francisco, tendem a se organizar em “clusters” nos subúrbios de grandes metrópoles, o que facilitaria a troca de conhecimento. A proximidade

aos consumidores é relevante para os setores associados ao comércio e serviços pessoais, o que contribuiria para o padrão de crescimento disperso dos empregos nestes setores.

Pesquisa de Readfern (2009) aponta para uma aparente inércia nas localizações das maiores aglomerações de empregos a longo prazo. Estudo desenvolvido na região metropolitana encontra maior correspondência entre as centralidades e acessibilidade proporcionada pelas vias expressas históricas do que com o sistema viário mais recente. Os sistemas urbanos reagem a mudanças marginais nos custos de transportes, comunicação, tecnologia de produção, porém, condicionado a escolhas de investimento no espaço construído – infraestrutura e edificações – realizadas no passado, seja pelo estado ou investidores particulares. No estudo de caso, o acesso às modernas vias expressas seria condição necessária, mas não suficiente para o desenvolvimento das novas aglomerações. A observação bruta do histórico das concentrações de atividades aponta para uma correspondência entre os atuais centros e as atividades econômicas concentradas na região até 1905, que explicariam a distribuição espacial atual dos empregos e, em menor intensidade, o atual sistema de vias expressas. O comportamento da distribuição espacial dos empregos no período das amostras da pesquisa (anos 1980 a 2000) apresenta maior variação no aumento da densidade e intensidade de ocupação das centralidades existentes, do que no surgimento de novas ocupações. O autor aponta para a necessidade de maior atenção ao fenômeno da persistência espacial nos modelos urbanos, ou seja, aos aspectos de evolução histórica da configuração urbana.

Giuliano *et al.* (2012) investigam os efeitos da acessibilidade da força de trabalho no crescimento dos centros de emprego na região metropolitana de Los Angeles. Os autores partem da hipótese de que a localização topológica é importante: locais próximos ao centro da rede devem ter maior atratividade do que locais periféricos. A acessibilidade à rede foi calculada por meio de algoritmo de menor caminho, considerando tráfego livre entre todos os pares de centróides. O centro histórico de Los Angeles, o CBD, apresenta o maior nível de acessibilidade, como esperado. Os centros apresentam valores mais altos de acessibilidade média do que a região em geral, poucos centros estão localizados em áreas de baixa acessibilidade à rede. Centros localizados próximos às interseções das vias expressas têm valores de acessibilidade maiores que os localizados ao longo dessas vias; nenhum centro foi localizado nas áreas no menor quintil de acessibilidade regional. Os resultados da pesquisa vão de acordo ao senso de que “*a distribuição espacial dos recursos é uma representação dos*

efeitos indiretos da acessibilidade: o acesso subjacente à rede influencia a forma dessas distribuições” (Giuliano et al., 2012).

A tabela 2.1 apresenta a síntese dos principais métodos e resultados dos estudos pesquisados:

Tabela 2.1 Principais métodos de identificação de centros e subcentros pesquisados

Autor	Período do Estudo	Unidade de Análise	Método Utilizado		Área de Estudo	Núm. Centros
Giuliano & Small (1991)	1980	Zonas de Análise de Transporte	Paramétrico	Densidade de Empregos ≥ 10 empregos/acre (25 empregos/Ha) e Empregos Totais ≥ 10.000	Los Angeles	32
McMillen & McDonald (1997)	1980	Milha quadrada (cerca de 260 Ha)	Não paramétrico	Locally Weighted Regression (LWR)	Subúrbios de Chicago	15
McMillen (2001)	1990	Zonas de Análise de Transporte	Não paramétrico	Locally Weighted Regression (LWR)	Chicago	33
			Paramétrico	Densidade de Empregos ≥ 20 empregos/acre (50 empregos/Ha) e Empregos Totais ≥ 20.000	Dallas	28
					Houston	25
					Los Angeles	19
					New Orleans	2
San Francisco	22					
McMillen & Smith (2003)	1990	Zonas de Análise de Transporte	Não paramétrico	Locally Weighted Regression (LWR)	Chicago	12
			Paramétrico	Mínimo de 10.000 empregos	Dallas	12
					Detroit	8
					Los Angeles	46
					Nova Iorque	38
					Portland	3
					San Diego	6
					San Francisco	12
Seattle	14					
Washington	10					
Redfearn (2007)	2000	Setores censitários	Não Paramétrico	Locally Weighted Regression (LWR)	Los Angeles	41

(Continua)

Autor	Período do Estudo	Unidade de Análise	Método Utilizado		Área de Estudo	Núm. Centros
Lee (2007)	1990	Setores censitários	Não paramétrico	McMillen & Smith (2003) revisado	Nova Iorque	34
			Paramétrico		Los Angeles	44
					Boston	10
					San Francisco	22
					Portland	3
					Filadélfia	14
	2000	Setores censitários	Não paramétrico	McMillen & Smith (2003) revisado	Nova Iorque	35
			Paramétrico		Los Angeles	42
					Boston	8
					San Francisco	18
					Portland	3
					Filadélfia	11
Kneib (2008)	2006	Zonas de tráfego (ZT)	Não paramétrico e Paramétrico	Geração de viagens por Zonas de tráfego para geração de Boxmap ; Desagregação das viagens em Setor Censitário	Manaus (AM)	15
Modarres (2003)	2001	Setores censitários	Não paramétrico	Krigagem e vizinho mais próximo	Los Angeles	18

Apenas um estudo entre os pesquisados foi realizado em cidade brasileira, Manaus (AM). Os demais correspondem a regiões metropolitanas nos Estados Unidos. Os sistemas urbanos apresentam características únicas; como sistemas complexos, as diferentes combinações entre suas partes componentes, seus aspectos históricos, sociais, econômicos, demográficos, geográficos, de configuração, produzem diferentes estruturas. Os métodos não paramétricos, baseados em estatística espacial, procuram identificar as centralidades por meio de regularidades matemáticas verificadas nessas estruturas, reduzindo a dependência de conhecimento prévio dos locais para identificação das centralidades, pontos que exercem influência significativa na estrutura urbana.

A formação de diferentes aglomerações é responsável pelo desenvolvimento equilibrado de um sistema urbano, adaptando sua estrutura para o atendimento eficiente das necessidades e ao bom funcionamento de sua dinâmica. Centralidades concentram e orientam fluxos e distribuições de atividades. A boa integração do território por meio de uma rede de transportes, tratada como serviço público, potencializa a vitalidade econômica e garante a equidade de acesso às

oportunidades no ambiente urbano (Modarres, 2003). Os centros serão investigados com base em Kneib (2008), por meio da variável geração de viagens.

2.4 SISTEMA URBANO E MOVIMENTO

A estruturação do espaço urbano está profundamente ligada com as condições de transporte pelo território. A dinâmica atual da urbanização, expressa na descentralização espacial e especialização das atividades, só foi possível graças ao desenvolvimento das redes de transportes e comunicações (Castells, 1983; Ascher, 2010; Villaça, 1998). As redes de transportes em si configuram apenas um conjunto potencial de origens e destinos, lugares no espaço, as atividades desenvolvidas nesses lugares geram os fluxos, responsáveis pelas interações espaciais (Giuliano *et al.* 2012; Santos 2012; Castells, 1983; Villaça, 1998).

As diversas partes da cidade atuando em conjunto implica em relações, padrões e hierarquias que se estabelecem, nas interações proporcionadas pela rede de transportes. Essas relações são dinâmicas, há um ciclo permanentemente realimentado pelas partes em interação, atuando como um sistema em constante modificação. Processos dessa natureza são análogos à descrição de sistemas abertos de Von Bertalanffy (2012), implicam no entendimento dos processos de auto-organização, na emergência espontânea de novas estruturas, propriedades e de novas formas de comportamento dos sistemas afastados do equilíbrio.

A investigação da origem, destino e do percurso assumido pelo movimento tem um papel revelador das relações socioeconômicas que se estabelecem no território (Hillier, 2007). O funcionamento das cidades no espaço e no tempo está profundamente relacionado com os processos de escolha dos indivíduos e grupos de populações, suas localizações relativas e em relação às atividades desenvolvidas, manifestadas nos diferentes usos do solo, nos diferentes padrões de acessibilidade (Roth *et al.*, 2011). Segundo Giuliano *et al.* (2012), a distribuição espacial dos recursos é uma representação indireta dos efeitos da acessibilidade da rede, o acesso subjacente à rede influenciou a forma dessas distribuições.

A mobilidade apresentada por meio dos fluxos pelo território é a manifestação das relações sociais e econômicas que ali ocorrem, as conexões dos lugares a outros lugares são fator importante no seu desenvolvimento, no acesso aos serviços básicos e participação dos indivíduos na vida econômica (Bertolini, 2012; Rodrigue *et al.*, 2006; Giuliano *et al.*, 2012,

UN-Habitat, 2013), onde a infraestrutura de transportes via de regra constitui a espinha dorsal da forma urbana (UN-Habitat, 2013).

2.4.1 TRANSPORTES E USO DO SOLO

Os movimentos na cidade estão associados a atividades urbanas específicas e seus usos do solo, onde cada tipo de uso do solo implica em uma ordem particular de movimentos (Rodrigue *et al.*, 2006). Segundo Rodrigue *et al.* (2006), os usos do solo se dividem em dois aspectos: (i) formais, referem-se à sua forma, padrão e aparência; (ii) funcionais, que se referem à descrição socioeconômica no espaço. As alterações nesses dois aspectos não se manifestam de forma temporal idêntica, o dinamismo das alterações funcionais precede às alterações na forma espacial urbana (Rodrigue *et al.*, 2006; Ascher, 2010).

Com base no estudo de Hansen (1959), pioneiro na postulação do princípio de que as viagens e localizações no sistema urbano são aspectos co-determinantes e transporte e uso do solo devem ser coordenados, Wegener & Fürst (1999) procuram investigar como o desenvolvimento dos sistemas de transporte pode influenciar as decisões dos diversos agentes – firmas, investidores, proprietários de terrenos e moradores - na localização dessas atividades. Os autores descrevem essa interação por meio de um ciclo, permanentemente realimentado (Figura 2.4). As atividades humanas acontecem em pontos específicos do território, que determinam os diferentes tipos de uso do solo; a distribuição espacial das atividades é viabilizada por uma infraestrutura de transportes que promova a interação dos indivíduos e agentes no espaço, que se manifesta na forma de acessibilidade; a distribuição da acessibilidade no espaço co-determina as decisões locacionais e resultam em alterações no uso do solo (Wegener & Fürst, 1999). Os autores destacam as principais abordagens teóricas para explicar a interação entre transportes e uso do solo, que incluem: (i) teorias técnicas (sistemas de mobilidade urbana), (ii) teorias econômicas (cidades como mercados, seção 2.3) e (iii) teorias sociais (sociedade e espaço urbano) (Wegener & Fürst, 1999).

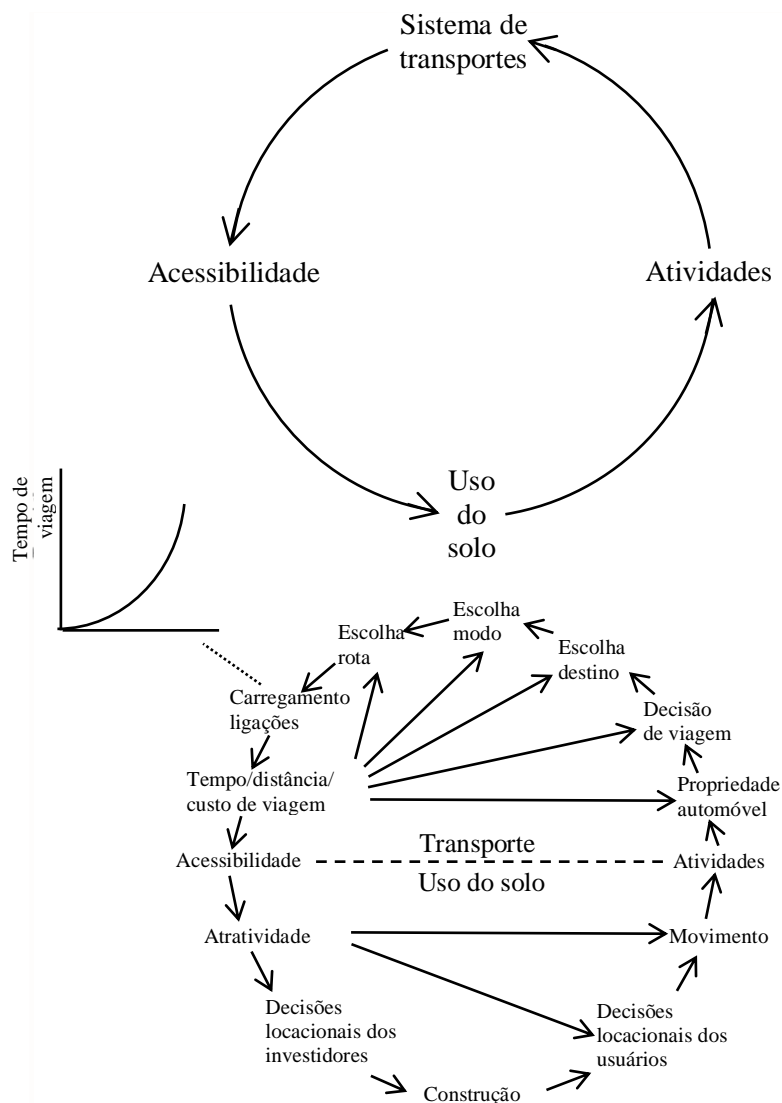


Figura 2.4 Ciclo de realimentação transportes e uso do solo
 Fonte: Wegener & Fürst (1999)

A noção de um ciclo, um sistema permanentemente realimentado, vai ao encontro das teorias da complexidade, onde as relações entre as partes componentes levam a novas propriedades que emergem em uma nova ordem. Segundo Roth *et al.* (2011), as abordagens das ciências da complexidade estão transformando o entendimento sobre os fenômenos urbanos. A investigação das cidades por meio dos padrões locais representada de forma bruta, abstrata, em termos de perfis de densidades ao redor de pontos chave no território, uma hierarquia de locais centrais e padrões de acessibilidade refletindo formas policêntricas com pouco sentido das estruturas morfológicas que representam, levam a uma perda de qualidade na análise (Roth *et al.*, 2011). Existem padrões morfológicos que se repetem, manifestação de

processos subjacentes relacionados a noção de como as decisões espaciais individuais determinam o desenvolvimento das cidades, e de que modo esses padrões se repetem nas diferentes escalas (Roth *et al.*, 2011).

2.4.2 FORMA URBANA E MOVIMENTO

Forma urbana para Handy (1996) é um conceito abrangente, que incorpora padrões de uso do solo, características do sistema de transporte e aspectos de desenho urbano. Para Rodrigue *et al.* (2006), a forma urbana das cidades é resultado da marca espacial do sistema de transporte e suas estruturas físicas adjacentes – ruas, calçadas, áreas para estacionamento, ciclovias, sistema de transporte público, estações e terminais – que conferem um nível espacial de organização para as cidades.

Estudos baseados em economia espacial tratam a forma urbana dentro dos aspectos brutos de aglomerações espaciais, por meio de variáveis socioeconômicas reveladoras dos aspectos de concentração e dispersão das atividades e população pelo território, base de extensa literatura científica sobre estudos das centralidades urbanas (Cats *et al.*, 2015; Anas *et al.*, 1998; Giuliano *et al.*, 2008 – ver seção 2.3.2). As forças socioeconômicas moldam a cidade primariamente, por meio das relações entre movimento e estrutura urbana (Hillier, 2007).

As concentrações e dispersões das atividades no território, padrões de uso do solo e densidades, também são definidas pelas condições de movimento e circulação pelo território que, em grande parte, são condicionados pelos aspectos de composição e arranjo de uma malha viária (Medeiros & Barros, 2014; Hillier, 2007). Para Medeiros & Barros (2014), “a forma urbana pode ser interpretada a partir da estrutura do espaço expressa nos desenhos da malha viária e nos diversos padrões de composição encontráveis nos assentamentos”.

Para Hillier (2007), a configuração da malha urbana é o maior determinante do movimento, a proporção de movimento ao longo dos trechos das vias é determinada em maior parte por sua posição na estrutura da rede urbana do que a presença de atratores específicos. A justificativa, segundo o autor, é que as pessoas se deslocam entre origens e destinos difusos pelo espaço urbano, iniciam e terminam seu movimento em todos os lugares, de forma linear pela rede. A relação entre a estrutura da rede urbana e a distribuição de movimento ao longo das linhas é o princípio do “movimento natural” (Hillier, 2007). Seguindo essa lógica, Medeiros (2013) propõe o ciclo desse movimento (Figura 2.5): i) a configuração da malha viária estabelece a

hierarquia do movimento definindo áreas com maior e menor concentração de fluxo (efeito primário); ii) áreas com maior concentração de fluxo tendem a atrair certos usos que se beneficiam deste movimento, como o comercial e de serviços (efeito secundário, convergência de atratores); iii) atratores atraem mais fluxo e mais movimento (efeito terciário) e; iv) atratores podem alterar a configuração do espaço construído, encerrando o processo de formação de novas centralidades urbanas.

Nesta pesquisa, como em Barros (2014), a forma urbana será tratada por configuração, interpretada dentro de seus aspectos geométricos e topológicos, com foco nas relações, na leitura das articulações entre os elementos constituintes da cidade.

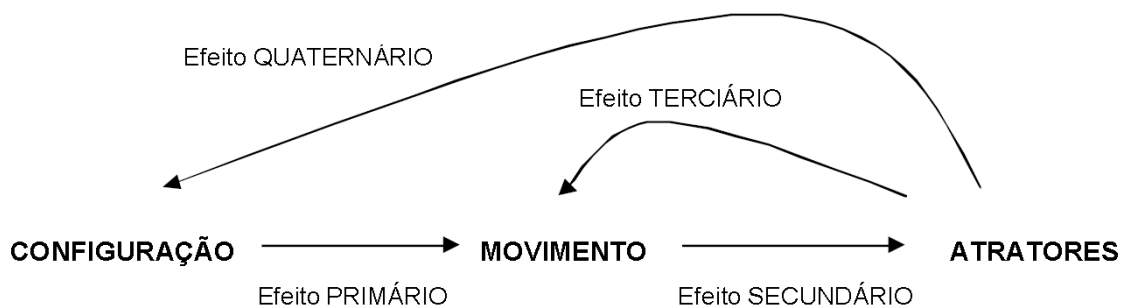


Figura 2.5 Ciclo do movimento segundo a lógica do movimento natural
Fonte: Medeiros (2013)

2.4.3 5 DS

As centralidades estão associadas às economias de aglomeração, abrigam atividades que ganham maior competitividade ao serem beneficiadas por aspectos de proximidade, que facilitam as interações. São representação indireta dos efeitos da acessibilidade, conferida por sua posição relativa ao sistema urbano e aspectos de mobilidade associados à configuração de sua rede viária e sistemas de transportes. Como pontos focais na estrutura urbana, atraem e se beneficiam do movimento dos indivíduos, condicionado pelos aspectos de configuração local.

A configuração de uma malha viária, ao promover ou restringir o movimento, influencia e condiciona a distribuição das atividades no espaço. O movimento na rede de transportes do sistema urbano parte de uma origem a um destino segundo um propósito, a compreensão dos aspectos locais que influenciam o início e o final desse movimento é importante na explicação do comportamento de viagens e da estrutura espacial urbana (Cervero & Kockelman, 1997; Hillier, 2007).

Segundo Banister (2007), a abordagem usual em planejamento de transportes parte de duas premissas básicas: (i) transportes são uma demanda derivada, o valor da atividade no destino é que resulta no transporte; (ii) as pessoas minimizam os custos gerais de viagem, principalmente por meio da combinação do custo da viagem em si e do tempo gasto nessa viagem. Esses dois princípios subjacentes, aliados ao fato de que o aumento da velocidade das viagens historicamente superou seus custos associados, ajudam a explicar o predomínio das soluções urbanas baseadas nos sistemas de transportes que permitiram a rápida expansão do território. O autor conclui que, neste processo, o transporte público local, bicicletas e caminhadas se tornam menos atrativos, e o automóvel ganha destaque. Assim como a teoria da utilidade pode explicar as soluções de mobilidade baseadas no automóvel individual, também pode nos dizer que as características físicas de um destino em um centro urbano denso, de uso misto e acessível para pedestres provavelmente influenciam no comportamento e escolhas de viagem, induzindo ao uso do transporte de massa (Cervero & Kockelman, 1997).

Com o esgotamento do modelo de transporte baseado no automóvel e a crescente preocupação com o desenvolvimento de opções de mobilidade sustentável, propostas de novos padrões de ocupação urbana ganham relevância (Cervero & Kockelman, 1997; Calthorpe, 1993; Banister, 2012). Correntes surgidas nos Estados Unidos como o Novo Urbanismo e *Transit-Oriented Development* (TOD)⁵ se popularizam como formas de modelar novas demandas de viagens a partir da criação de zonas de uso misto, em uma configuração favorável aos modos não motorizados de transportes e foco no aproveitamento racional das redes de transporte de massa, que as articulam com o sistema urbano (Calthorpe, 1993; Cervero & Kockelman, 1997). Este movimento converge para a formulação do princípio baseado nas dimensões dos 3 Ds: *densidade, diversidade e desenho*. Os efeitos da densidade são amplamente conhecidos e investigados na literatura científica de transportes; diversidade e desenho, por muito tempo desconsiderados, ganham importância nas pesquisas sobre comportamento de viagens (Cervero & Kockelman, 1997; Ewing & Cervero, 2001; Ewing & Cervero, 2010; Handy, 1992). Dentro desta ótica, estudos verificam a importância da investigação por meio de outras duas dimensões que se mostram relevantes: destinos acessíveis e distância ao transporte de massa, os 5 Ds (Ewing & Cervero, 2010).

⁵ Ver seção 2.4.3.1

As pesquisas que investigam os efeitos dessas variáveis no comportamento de viagens partem de premissas de difícil generalização, seja pelo uso de diferentes bases de dados, falta de unidade nos métodos e teorias utilizadas nas análises. Com o objetivo de buscar evidências estatísticas sobre os efeitos das variáveis que caracterizam o ambiente construído e sua influência nos padrões de deslocamento dos indivíduos, Ewing & Cervero (2010) elaboram uma meta-análise a partir da investigação de mais de 200 estudos científicos publicados que tratam essa relação de forma quantitativa, dentro de um universo de observação representativo e metodologias estatisticamente testadas. A meta-análise utiliza estatísticas resumidas de estudos primários individuais como dados para novas análises. Ao agregar toda a pesquisa disponível sobre um tópico, permitem a observação de regularidades no comportamento dos dados e tornam seus resultados mais generalizáveis, representados por meio do cálculo de elasticidades – grandeza adimensional que representa o percentual de variação da magnitude de uma variável devido a alterações nos valores de outra variável (Ewing & Cervero, 2010). As categorias e variáveis mais significativas baseadas neste estudo são relacionadas abaixo:

- *Densidade* representa a concentração de uma variável de interesse por unidade de área, seja população, empregos, habitações, área construída, viagens, entre outras;

- *Diversidade* é uma medida que representa o número de diferentes usos em uma determinada área, que são quantificados pelas áreas ocupadas por determinadas atividades, tipos de empregos ou como em Kneib (2008), inferida pelos motivos de geração de viagens. Índices como o de entropia ou a relação entre empregos/moradores de um lugar são largamente utilizados em estudos de transportes. Para o índice de entropia, baixos valores indicam único uso e altos valores indicam uso mais variado. Para a relação empregos/moradores, altos valores indicam centros de empregos, baixos valores são representativos de zonas predominantemente residenciais. Áreas com pouca diversidade de usos demandam viagens mais longas de uma população para o atendimento de suas necessidades cotidianas;

- *Desenho* incluem as características da rede viária em uma determinada área. Podem variar de redes densas de ruas diretas e altamente interconectadas a redes esparsas, ou pouco conectadas. Estudos em transportes que investigam os aspectos do desenho frequentemente utilizam medidas como tamanho médio dos quarteirões, proporção de cruzamentos de quatro direções e número de intersecções por unidade de área. Na pesquisa, essa variável também será

investigada por medidas de acessibilidade da Sintaxe Espacial⁶, que quantificam o potencial de movimento de uma malha urbana a partir de seus aspectos geométricos e topológicos;

- *Destinos acessíveis* mede a facilidade de acesso aos destinos de viagem, a acessibilidade. Alguns estudos tratam a acessibilidade como simples função da distância ao CBD; em outros é medida por meio do número de empregos (Levinson *et al.*, 2017); ou outros destinos alcançáveis em uma certa unidade de tempo, em modelo gravitacional de atração de viagens, o que tende a ser maior em locais centrais e mais baixos em locais periféricos. Segundo Handy (1992), é importante diferenciar a acessibilidade regional e acessibilidade local, que implicam em diferentes padrões de viagem. A autora define acessibilidade local como medida de acesso aos destinos potenciais mais próximos de sua origem, geralmente destinos de conveniência e atendimento às necessidades básicas diárias de uma população; a acessibilidade regional é medida de potencial de acesso às grandes concentrações de destinos, grandes centros de atividades que atendem a uma região. A pesquisa investiga esta dimensão por meio da variável *geração de viagens*, como em Kneib (2008);

- *Distância ao transporte de massa* pode ser medida como a média dos menores caminhos ou distância euclidiana entre as residências, locais de trabalho, comércio, entre outros, às paradas ou estações de transportes. Estudos empíricos como os de Cervero & Guerra (2011) e Zhong *et al.* (2014) observam que o uso do transporte de massa varia de forma inversamente proporcional às distâncias relativas às paradas e estações, em comportamento aproximado a uma curva logarítmica e, em média, a maior probabilidade de seu uso está na área de captação dentro de um raio de 800 metros, cerca de 10 minutos de caminhada, que será adotado nesta pesquisa. Outras medidas como densidade de rotas, distância entre paradas, número de estações em determinada área também são utilizadas em investigações.

Os autores reconhecem que a classificação das dimensões pode sofrer alterações, as definições podem ser ambíguas e algumas podem se sobrepor, como diversidade e destinos acessíveis, ainda assim é útil para organizar a literatura empírica e verificar a magnitude da influência dessas dimensões no comportamento de viagens. O estudo conclui que as variáveis de ambiente construído individualmente não apresentam elasticidades médias significativas (Tab 2.2) na

⁶ Ver seção 2.4.4

utilização do transporte público de massa. Porém, verificam indícios de que o efeito combinado dessas variáveis pode ser importante.

Tabela 2.2 Elasticidades médias ponderadas de uso do transporte público em relação às variáveis características do ambiente construído

		Número de estudos	Elasticidades médias ponderadas*
Densidade	Densidade populacional/famílias	10	0,07
	Densidade de empregos	6	0,01
Diversidade	Uso misto (índice de entropia)	6	0,12
Desenho	Densidade de cruzamentos/ruas	4	0,23
	% cruzamentos em 4 direções	5	0,29
Distância ao ponto/estação de transporte público	Distância ao ponto de acesso ao transporte público mais próximo	3	0,29

* Ponderadas pelo número de observações de cada estudo

Fonte: Adaptado de Ewing & Cervero (2010)

O resultado aponta para uma razoável associação entre o uso do transporte público e as condições de acesso às paradas e estações de transporte. A proximidade às paradas aparentemente induz ao uso do transporte público, seguidos de aspectos de configuração urbana e uso misto, também associados às viagens a pé (Tab 2.3). Alta densidade de intersecções e alta conectividade das vias proporcionam maior opção de rotas e encurtam as distâncias de acesso ao transporte, sendo benéfica para os usuários e serviço de transporte. Zonas de uso misto possibilitam a realização de outras tarefas no caminho de acesso ou chegada da parada de transporte. A densidade apresentou a associação mais fraca entre as variáveis testadas, contrariando o que seria esperado intuitivamente. Uma possível explicação que os autores apresentam é que a densidade seria uma variável intermediária, onde seus efeitos já seriam expressos por meio de outros Ds – por exemplo, zonas densas geralmente apresentam uso misto, quarteirões curtos, e ‘localizações’ centrais, variáveis relacionadas a viagens mais curtas e transporte a pé.

Tabela 2.3 Elasticidades médias ponderadas de uso do transporte público em relação às variáveis características do ambiente construído

		Número de estudos	Elasticidades médias ponderadas*
Densidade	Densidade populacional/famílias	10	0,07
	Densidade de empregos	6	0,04
	Proporção de áreas comerciais	3	0,04
Diversidade	Uso misto (índice de entropia)	8	0,15
	Relação empregos/habitações	4	0,19
	Distância a uma loja	5	0,25
Desenho	Densidade de cruzamentos/ruas	7	0,39
	% cruzamentos em 4 direções	5	-0,06
Destinos acessíveis	Empregos no raio de uma milha	3	0,15
Distância ao ponto/estação de transporte público	Distância ao ponto de acesso ao transporte público mais próximo	3	0,15

* Ponderadas pelo número de observações de cada estudo

Fonte: Adaptado de Ewing & Cervero (2010)

A pesquisa de Handy (1992) investiga o comportamento de viagem a partir dos aspectos de desenho urbano propostos pelo movimento ‘neo-tradicional’⁷, baseado no núcleo de uso misto, com foco no pedestre e na criação de um “senso de comunidade”. As teorias que embasam esse movimento acreditam que as necessidades cotidianas da população seriam atendidas preferencialmente nos limites dessas comunidades, reduzindo a necessidade de viagens longas por motivos que não sejam a trabalho. A premissa básica da pesquisa é que o comportamento de viagens estaria correlacionado com a estrutura espacial local e regional, que definem padrões de acessibilidade nessas duas escalas. Dessa maneira, assume que a *acessibilidade local* é primariamente determinada pelas atividades próximas, orientada em sua maioria pelas compras de conveniência, como drogarias e supermercados, e localizadas em pequenos centros.

A *acessibilidade regional* seria definida em relação aos grandes centros de compras, que tendem a se localizar mais distantes, oferecem uma ampla oferta de bens para comparação e para onde os indivíduos se deslocam com menor frequência. A metodologia utilizada parte de uma pesquisa ampla, analisada e região da Baía de São Francisco, agregada em 550 zonas, calculados os seus aspectos de acessibilidade local e regional em modelo gravitacional e

⁷ Handy (1992) utiliza a expressão ‘neo-tradicional’ para qualificar as propostas pelo TOD e Novo Urbanismo, entre outras correntes, que encontram correspondência nos modelos dos subúrbios desenvolvidos no período anterior à Segunda Guerra Mundial. Banister (2012) faz uma boa apresentação desses modelos.

selecionadas as áreas de estudo em matriz 2x2, dentro dos seguintes critérios: áreas de alta acessibilidade local e regional; áreas de alta acessibilidade local, baixa acessibilidade regional; áreas de baixa acessibilidade local, alta acessibilidade regional; áreas de baixa acessibilidade local e regional. Os achados da pesquisa confirmam que as áreas de alta acessibilidade local apresentam menores quarteirões (verificado pela alta densidade de quarteirões), mais cruzamentos de quatro vias do que em “T”, poucos *cul-de-sacs* e maior densidade de vias. Em contraste, áreas residenciais localizadas em região de baixa acessibilidade local apresentaram baixa conectividade em relação às vias arteriais, o que sugere que os habitantes de áreas de maior acessibilidade local tenham mais rotas diretas e maiores opções de rotas aos destinos internos e externos à área residencial.

A localização e distribuição das atividades comerciais são influenciadas pelos diferentes padrões de configuração; áreas com maior acessibilidade local são as que apresentam centros comerciais tradicionais, onde a configuração urbana favorece a circulação dos pedestres, e próximos às áreas residenciais, o que permite e estimula os moradores fazerem viagens a pé para esses locais, que ainda apresentam pequenos comércios de conveniência dentro das áreas residenciais. Por outro lado, áreas com menor acessibilidade local concentram atividades comerciais nas interseções das vias arteriais que atendem as áreas residenciais, em uma distribuição orientada para o automóvel. Poucos habitantes se concentram próximos às áreas comerciais, em uma configuração pouco adequada à circulação de pedestres, obrigados a circular grandes distâncias ao longo de vias arteriais de trânsito rápido e cruzar longas áreas de estacionamentos para acessar as lojas.

A pesquisa não encontrou evidências que indiquem que os assentamentos “neo-tradicionais” sejam capazes de reduzir a dependência das viagens aos centros urbanos regionais; a existência de um centro comercial em área de alta acessibilidade local faz com que aumente a tendência entre os moradores em fazer viagens a pé para atendimento de suas necessidades cotidianas, o que lhes confere maior qualidade de vida. Foram avaliados subúrbios residenciais da região metropolitana de São Francisco, manifestação de como diferentes configurações locais produzem padrões diversos de ocupação e distribuição do uso do solo. O resultado também é evidência da importância das economias de aglomeração na estruturação urbana, centros urbanos regionais atendem população diversificada, exercem atração de pessoas em um maior raio de distância. Ao atenderem uma população maior, maior mercado consumidor, podem

oferecer maior diversidade de produtos e serviços, que dificilmente se estabeleceriam em locais de menor interesse, ou menor centralidade, no sistema urbano.

2.4.3.1 TRANSIT-ORIENTED DEVELOPMENT - TOD

O *Transit-Oriented Development* – TOD⁸ (Desenvolvimento Orientado ao Transporte), é uma corrente de pensamento sistematizada na Califórnia por Peter Calthorpe em meados da década de 1980, que estabelece padrões de desenvolvimento urbano compacto ao prever moradia, serviços e oportunidade de empregos para população diversificada, em uma configuração que favoreça a circulação de pedestres e uso do transporte de massa. Os princípios do TOD podem ser implantados na requalificação de áreas urbanizadas ou novos assentamentos, com usos e desenho urbano compatíveis e complementares à sua vizinhança. As dimensões de um TOD não seguem um padrão, o ideal é que esteja em um raio médio de 10 minutos de caminhada, cerca de 600 metros (Fig. 2.6), a depender de fatores como clima, topografia, sistema viário ou outras restrições físicas. O fundamental é estar em local servido por sistema de transporte público.

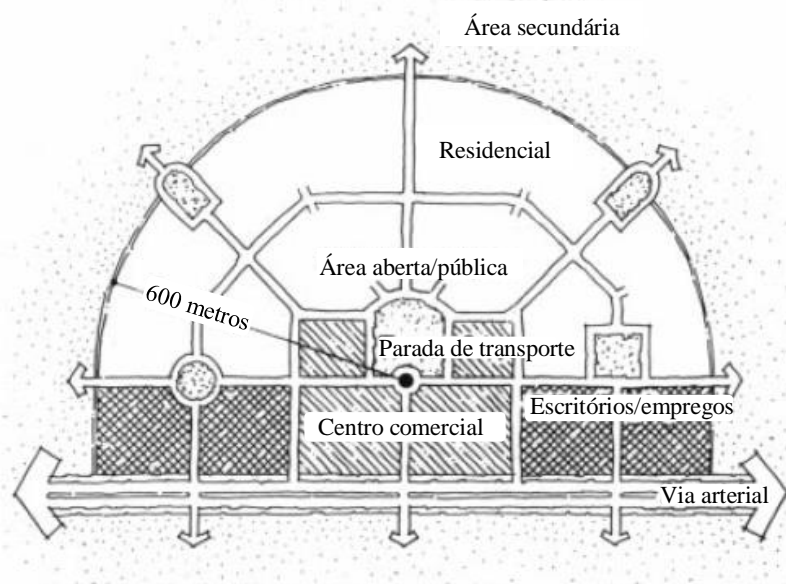


Figura 2.6 Arranjo básico de um TOD
Fonte: Adaptado de Calthorpe (1993)

⁸ Os conceitos desta seção têm como referência Calthorpe (1993), exceto onde houver outra indicação.

Um TOD pode assumir diferentes perfis na escala regional, dentro de um sistema urbano (Fig. 2.7). O entorno de estações de transporte de massa (metrô, trem, VLT, corredores de ônibus) favorece a concentração e intensidade de usos e atividades de atendimento regional, que gerem empregos, como escritórios, comércio, serviços, ou ainda áreas com alta densidade de habitações agregadas a serviços locais, o TOD urbano (Fig. 2.8 - B). Ao mesmo tempo, o sistema de transportes se beneficia de um TOD, ao atender a demanda de viagens geradas pelas atividades ali desenvolvidas, em um ciclo virtuoso entre transporte e uso do solo (seção 2.4.1).

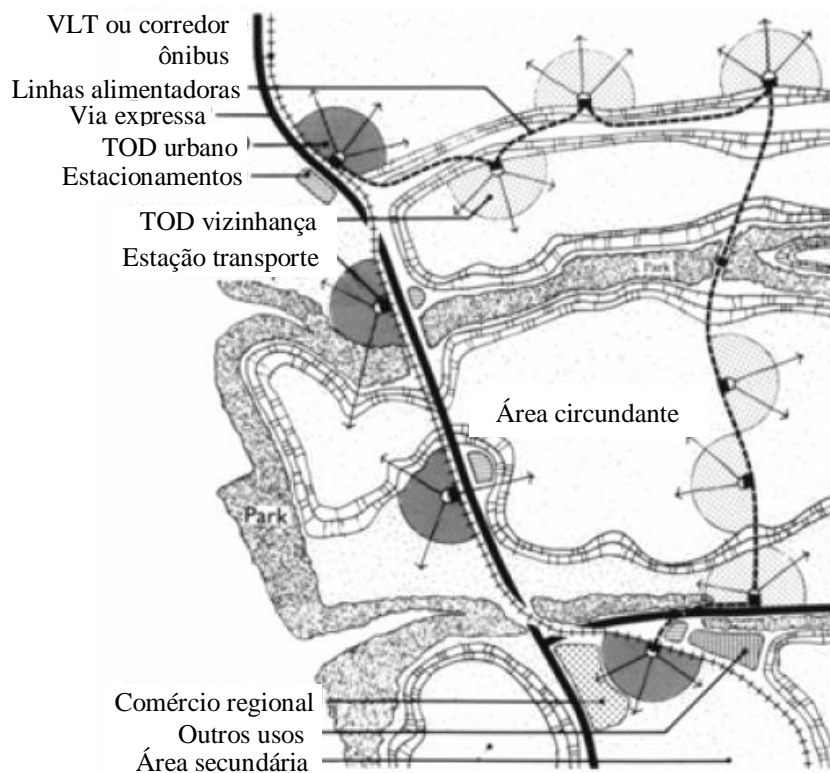


Figura 2.7 TOD na escala regional
 Fonte: Adaptado de Calthorpe (1993)

Uma outra qualidade de TOD seriam os de vizinhança (Fig. 2.8 - A), servidos por linhas de transporte locais ou coletoras, localizados em um raio de até 10 minutos (cerca de 5 km de distância) de uma estação de transporte de massa. Este tipo de TOD apresentaria moderada densidade residencial, comércio, serviços, usos de entretenimento, cívicos e recreação, bem como residências populares. As diretrizes de ocupação devem ser definidas levando em conta o potencial de cada localidade.

São componentes chave do TOD:

- Organizar o crescimento para ser compacto e atendido por transporte público;
- Localizar comércio, residências, locais de trabalho e usos cívicos em distância compatível com deslocamentos a pé a partir das estações de transporte público;
- Sistema viário com foco no pedestre e no ciclista;
- Promover tipologias variadas de habitações, em densidades e padrões diversos;
- Preservar áreas ambientalmente sensíveis e espaços abertos de qualidade;
- Edifícios valorizando os espaços públicos e atividades da população local;
- Estações de transporte de massa como um *hub* comunitário. (Calthorpe, 1993; Certero *et al.*, 2002)

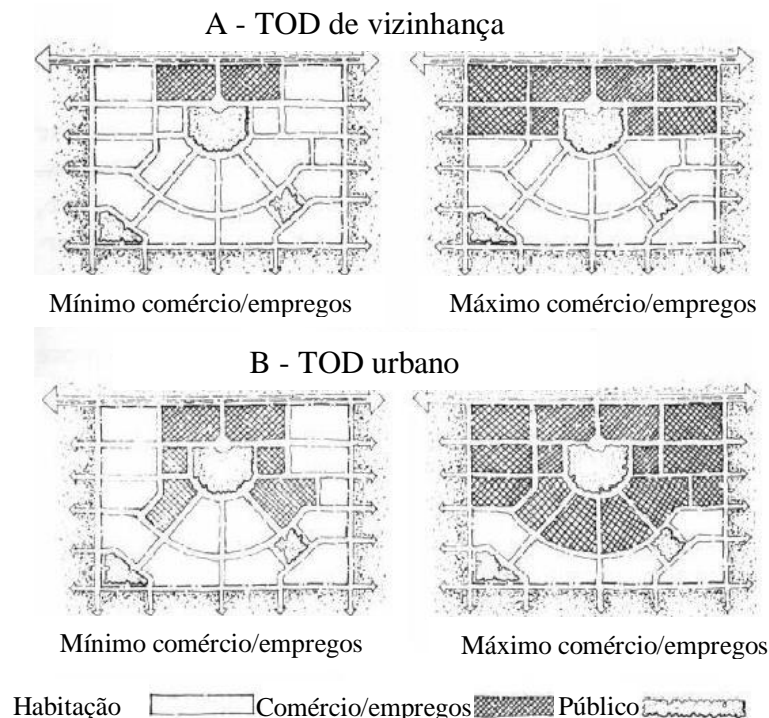


Figura 2.8 Tipologias TOD e uso do solo
Fonte: Adaptado de Calthorpe (1993)

O sistema de circulação de um TOD deve ser inteligível, facilmente reconhecido e bem interconectado, convergindo para as paradas de transporte público, comércio central, escolas e parques. A hierarquização das vias e múltiplos caminhos são necessários para que o trânsito local não se utilize das vias arteriais, nem que o fluxo de pedestres e ciclistas cruze com essas vias. Os caminhos devem favorecer o conforto e a segurança do pedestre, com boas calçadas, árvores e paisagismo, edifícios com entradas próximas à rua, vagas de estacionamento não devem atrapalhar sua circulação, e sim devem ser desenhadas para dar proteção a quem caminha. A infraestrutura para bicicletas também deve ser bem planejada, incentivando seu uso. Um TOD deve apresentar uma configuração favorável à circulação dos pedestres e ciclistas.

Características de um TOD já eram identificadas em assentamentos pós-revolução industrial, onde comunidades compactas eram desenvolvidas ao redor das estações de transporte de massa, com atividades de comércio e serviços para atendimento da população local (Carlton, 2009). No Brasil, o sistema de transporte público de Curitiba, concebido em 1972, é um bom exemplo da aplicação dos conceitos de um TOD. Baseado em corredores exclusivos de ônibus de alta capacidade e padrão operacional com a eficiência de um sistema de metrô, foi o estruturador do desenvolvimento urbano da cidade ao longo dos eixos de transporte de massa. Uma política de uso do solo que prevê o adensamento e uso misto nos corredores de transporte fomentou o desenvolvimento urbano ordenado, estimulando e realimentando o sistema de transporte público para sua otimização. Fazem parte do sistema os chamados Sistema Trinário de Vias e Corredores de Transporte, exemplo de boa aplicação dos conceitos de integração entre planejamento urbano e planejamento de transportes (Suzuki *et al.*, 2013, Cervero, 2000). Estes elementos ordenam o crescimento linear da cidade e o adensamento ao longo dos corredores de transporte, concentrando a infraestrutura urbana e priorizando a instalação de equipamentos urbanos. Um dos efeitos positivos da implantação deste sistema foi a retenção dos destinos – em 1974, 92% dos usuários se deslocavam até a região central de Curitiba, a partir de 2003, apenas 30% dos passageiros tem como destino o centro da cidade (URBS, 2015).

Ratner & Goetz (2013) avaliam os efeitos da implantação de política de transportes sobre trilhos em Denver (EUA), a partir de meados da década de 1990, coordenada com o estabelecimento de diretrizes de uso e ocupação do solo baseadas nos princípios do TOD. Historicamente, o desenvolvimento urbano de Denver foi orientado ao transporte individual. Em 1950, 75% da população residia nas áreas centrais; em 1990, com densidades em declínio, essas áreas concentravam apenas 25% de sua população. Dessa forma, foram desenvolvidas sete tipologias

de uso e ocupação do solo preferenciais, dentro dos princípios do TOD, para aplicação dentro das características específicas de posição relativa ao sistema e acessibilidade de cada estação. Entre os anos 2000 e 2009 foi verificada maior atividade imobiliária nas zonas TOD e com maior intensidade quanto mais próximas às estações de transporte. Tipologias TOD residenciais se desenvolvem ao redor das estações próximas ao CBD; escritórios, órgãos de governo se concentraram no CBD e maiores subcentralidades; atividades de comércio e serviços foram bem distribuídas ao longo de todos os corredores. A implantação da política de transportes coordenada com novos princípios de ocupação, com foco no transporte de massa, alterou a dinâmica da cidade. Houve aumento significativo das densidades junto às zonas servidas por transporte de massa; requalificação de áreas centrais com a criação de ruas com uso misto e orientado ao pedestre, onde o acesso se dá principalmente por transporte coletivo e, criando novos padrões de ocupação. Uma nova cultura de planejamento contemplando o sistema de transporte público como parte integral dos atuais e futuros padrões de uso do solo, orienta uma nova forma urbana.

O TOD prevê a mudança de paradigma, tanto no estilo de vida das pessoas quanto na concepção de novos produtos imobiliários. É um conjunto de princípios específicos de crescimento ambientalmente correto e adaptado às condições locais. Prevê o reordenamento do espaço privado para melhor uso e domínio público – integração, diversidade e flexibilidade sobre segregação e isolamento. Priorização dos espaços públicos em relação aos privados, trânsito de pedestres sobre os automóveis, a diminuição da necessidade de deslocamentos pelo território, com consequente diminuição dos custos de transporte para a população. A diversidade compreende não apenas os usos e atividades, mas também de tipologias de habitações, atendendo aos diversos extratos sociais (Dittmar & Ohland, 2004; Altoon & Auld, 2011).

O entendimento das necessidades de cada região, a criação de TODs articulados, complementares entre si, podem alterar a dinâmica socioeconômica e das viagens pelo território, diminuindo a dependência dos movimentos pendulares diários e do uso de transportes motorizados individuais e fortalecer a performance geral da rede de transporte de massa local.

2.4.4 SINTAXE ESPACIAL

Fisicamente, as cidades são edificações unidas por infraestrutura, funcionalmente, abrigam processos econômicos, sociais e culturais; são meios e fins, onde os meios são físicos e os fins

funcionais (Hillier, 2007). A zona crítica do conhecimento é sobre a relação entre os meios e fins, da cidade física para a cidade funcional (Hillier, 2007). A análise configuracional do espaço lida por meio da Sintaxe Espacial apoia-se no entendimento de como as partes de um sistema estão ligadas para formar padrões globais e locais. Estas relações trazem à luz e afetam as relações sociais e econômicas nas cidades, analisadas sob um conjunto de métodos e ferramentas para a leitura da complexidade funcional do sistema (Hillier, 2007). As cidades apresentam processos orgânicos de desenvolvimento que se acumulam ao longo do tempo para produzir padrões complexos em seus aspectos geométricos e funcionais, por vezes desconsiderados ou de grande dificuldade para serem modelados (Hillier, 2007; Karimi, 2012). Os fenômenos envolvidos na formação desses padrões espaciais se apresentam na forma de um ciclo de realimentação, como discutido na seção anterior, onde emergem efeitos multiplicadores e interação em diferentes escalas (Hillier, 2007).

A maior parte de tentativas de modelagem das cidades lidam apenas com os aspectos físicos da cidade no nível macro, muito acima do nível em que a maioria das intervenções são feitas (Hillier, 2007; Karimi, 2012). Para Karimi *et al.* (2013), a análise da complexidade da dinâmica do espaço urbano por meio da Sintaxe Espacial é simples, rápida e clara. A abordagem relacional da teoria e as técnicas desenvolvidas permitem que aspectos da configuração sejam matematicamente calculados em variáveis geométricas e topológicas, o que permite a clara visualização das distribuições das propriedades da rede no espaço e correlação com variáveis demográficas, socioeconômicas, de fluxo de veículos e pedestres, entre outras (Hillier, 2007; Medeiros, 2013). O objeto de estudo é a investigação das relações que se estabelecem a partir dos vazios entre os elementos construídos, que pode ser analisado por meio de pontos, espaços convexos e linhas axiais (Medeiros, 2013).

As feições mais adequadas para a representação geométrica do arranjo espacial do sistema urbano são as linhas. Uma das ferramentas da análise sintática do espaço urbano é o mapa axial, representação do menor número das maiores linhas sobre os vazios da rede de caminhos, cujo processo de construção é apresentado na Figura 2.9: (A) os eixos das rotas de possível movimento são traçados sobre base cartográfica; (B) a malha de eixos é analisada, uma das medidas resultantes é o valor de integração (ver seção 3.3.7.3), apresentado graficamente como mapa axial (C e D); quanto mais escura a linha, mais acessível e vice-versa (Medeiros & Barros, 2014). Essa representação não é uma redução das feições orgânicas da cidade a um sistema linear, mas as linhas de inter-visibilidade e desejo de movimento no sistema urbano (Karimi *et*

al., 2013). Segundo Medeiros (2013), a abordagem gera subsídios que permitem a investigação do espaço do ponto de vista das articulações urbanas, descreve possibilidades de interação e contatos a partir de possíveis fluxos diferenciados de pessoas ou veículos. A rede de linhas é processada e transformada em um grafo, onde cada linha representa um nó e as conexões a outras linhas são os vértices desse grafo (Karimi *et al.*, 2013).

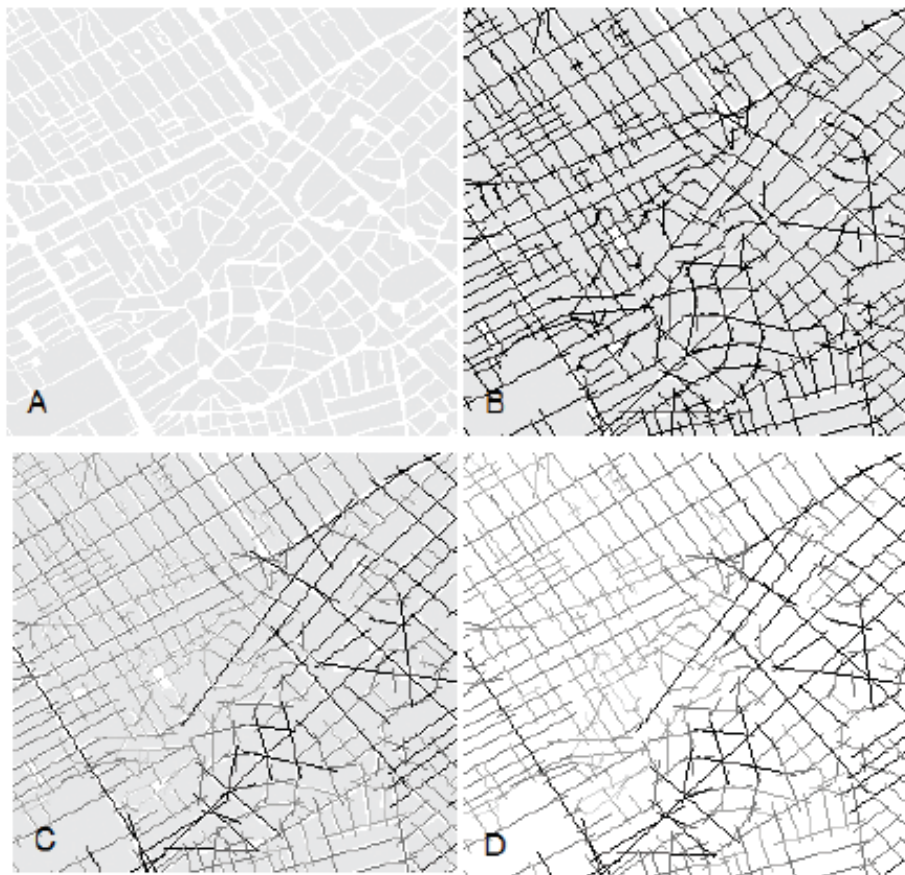


Figura 2.9 Processo de construção do mapa axial
Fonte: Medeiros & Barros (2014)

Malhas viárias são ilustrativas das relações de interdependência em um sistema urbano, capazes de concentrar ou restringir fluxos, estabelecer hierarquias, produzir uma rede de diferenças nas diversas vias de um sistema urbano, fatores resultantes dos modos de relacionamento interpartes (Medeiros, 2013). A teoria não se restringe à modelagem e interpretação da rede que, conforme discutido na seção 2.4.2, seria o princípio fundamental do movimento, conceituado por Hillier (2007) como o ‘Movimento Natural’. Parte de uma premissa básica, para a compreensão do ambiente construído em sua complexidade sociocultural, deve se compreender as leis

subjacentes ao objeto urbano/construído e as que o relacionam à sociedade. O movimento natural não é invariável, assume características próprias de acordo com o escopo cultural de origem, entretanto, algumas feições são constantes: a tendência de concentração de certas atividades em locais precisos. Invariável é a lógica que conecta a configuração espacial com a geração de movimento (Medeiros, 2013).

2.4.4.1 SINTAXE ESPACIAL E CENTRALIDADES

A literatura aponta para uma forte associação entre aspectos configuracionais, acessibilidade e centralidades (Lee, 2007; Readfern, 2009; Giuliano *et al.*, 2012; Handy, 1992; Cervero & Kockelman, 1997; Ewing & Cervero, 2010). A distribuição espacial dos recursos é uma representação dos efeitos indiretos da acessibilidade conferida pelo arranjo espacial da rede viária, responsável pelas concentrações e dispersões de atividades. Deste modo, o acesso subjacente à rede influencia a forma dessas distribuições (Giuliano *et al.*, 2012; Medeiros & Barros, 2014). As metodologias de identificação de centralidades e subcentralidades baseadas em configuração lida por meio da Sintaxe Espacial procuram identificar o processo de formação destas áreas a partir dos seus produtos, a relação entre suas dinâmicas espaciais e funcionais na formação dos “centros ativos urbanos” (Hillier, 1999).

A leitura das centralidades por meio da Sintaxe Espacial parte do princípio do “movimento natural” (Hillier, 2007, ver seção 2.4.2), desenvolvido a partir da observação que, mantendo as demais condições constantes, os fluxos de movimento nas diferentes partes de uma malha viária são influenciados pela sua posição relativa ao sistema. As centralidades abrigam atividades que se beneficiam do movimento, da acessibilidade, o que nos permite dizer que a sua localização está relacionada à sua proximidade aos demais pontos do sistema, onde sua magnitude é representada pelo valor da variável de integração (ver seção 3.3.7.3). Entre os estudos empíricos de identificação e análise de centralidades urbanas por meio da Sintaxe Espacial podem ser destacados os trabalhos de Medeiros (2013), Chiaradia *et al.* (2009), Hillier (1999), Alarcòn (2004), Rigatti (2005), Cuttini (2001).

Hillier (1999) procura identificar os aspectos espaciais comuns na formação das centralidades e distribuição interna das atividades por meio da teoria da “economia do movimento” (Hillier, 2007). A teoria proposta em Hillier (2007) foi desenvolvida a partir da teoria do “movimento natural” e propõe que o desenvolvimento da organização espacial nos assentamentos gera novos

padrões de movimento, que influenciam o uso do solo e, por sua vez, geram mais movimento, em um ciclo de retroalimentação que leva a um desenvolvimento mais intensivo do local e é responsável pela diferenciação espacial das áreas urbanas. Espacialmente, a teoria da “economia do movimento” se manifesta nos níveis globais e locais do sistema, gerando diferentes padrões de centralidade, verificado empiricamente na pesquisa. Globalmente, o processo seleciona as regiões dentro de um certo grau de integração com o sistema, ao nível local, regiões com certos aspectos geométricos de sua rede vária, onde a densidade de vias e quarteirões pequenos facilitariam o movimento local, conferindo maior grau de integração na escala local, o que a pesquisa identificou como qualidade comum aos centros urbanos. A relação entre a integração global e local indicam o grau de sinergia, que o autor define como propriedade vital dos sistemas urbanos. O crescimento dos sistemas urbanos altera a relação das centralidades ao nível global, o que pode provocar mudanças de perfil em seus padrões de uso.

Alarcòn (2004) investiga a centralidade em Goiânia a partir de seus aspectos de configuração (centros morfológicos, com forte acessibilidade topológica) e funcionalidade (atividades do espaço típicas de centros como comércio, serviços e gestão pública). A pesquisa observou que na evolução histórica de ocupação da cidade existe uma associação positiva entre a região mais integrada da configuração espacial e a consolidação dos núcleos e eixos de centralidade. Observou também uma forte correspondência entre os centros morfológicos e os centros funcionais da época da pesquisa, onde os eixos mais acessíveis coincidem com a posição dos centros funcionais. Dos 507 bairros da cidade, 22 apresentaram alguma característica de centralidade e, além dos núcleos de centralidades, foram identificados também 10 eixos de centralidade ao longo das vias principais estruturadoras da cidade. Os resultados da pesquisa reforçam a associação entre acessibilidade topológica e centralidades urbanas.

2.4.4.2 SINTAXE ESPACIAL E TRANSPORTES

Modelos configuracionais aplicados a análises em transportes têm se mostrado importantes ferramentas na investigação dos fluxos urbanos (Penn *et al.*, 1998; Barros, 2006; Karimi *et al.*, 2013 e 2015; Chiaradia *et al.*, 2005; Turner, 2007). As representações lineares dos eixos dos caminhos não consideram capacidade das vias, sejam de veículos ou de pedestres, partem do princípio de que o estudo das relações que emergem do arranjo viário de um espaço urbano é revelador do potencial de movimento que cada eixo do sistema pode promover, possibilitando

a correlação com contagem real de tráfego de veículos e pedestres (Penn *et al.*, 1998; Barros 2006 e 2014; Pereira *et al.*, 2012), potencial de geração de viagens (Karimi *et al.*, 2013 e 2015; Jayasinghe *et al.*, 2017), contagem de passageiros nas estações de transporte (Chiaradia *et al.*, 2005) e tempo de viagem (Fujitani & Kishimoto, 2013).

Chiaradia *et al.* (2005) encontram correlações significativas entre aspectos configuracionais do tecido urbano, fluxo de passageiros nas estações do Metrô de Londres e sua associação com centralidades. Propõem a modelagem da rede de transporte e da rede viária da superfície. A melhor performance dos modelos foi obtida correlacionando fluxo de passageiros e a variável integração local (ver seção 3.3.7.3). Para determinação do valor de integração utilizou-se a média dos valores dos eixos em um raio de 500 metros ao redor da estação, o que minimiza possíveis distorções, como uma entrada de estação em um trecho de rua pouco integrado. O modelo combinado entre rede de superfície e rede do metrô apresentou maior correlação com as centralidades existentes. Ressalva feita ao resultado obtido nas estações em locais muito populares, que apresentaram performance superior ao que a configuração da superfície sugeria, indicativo de que variáveis de densidade de empregos e uso do solo contribuem de forma importante na análise. Law *et al.* (2012) aperfeiçoam a metodologia, usando uma rede bi-modal que produz um modelo com maior poder de explicação do fenômeno das centralidades associadas às estações.

Özbil & Peponis (2012) confirmam que políticas de desenvolvimento urbano orientadas ao transporte público têm melhor desempenho quando os aspectos configuracionais do espaço urbano favoreçam o acesso dos pedestres. Os modelos estatísticos desenvolvidos revelam que os aspectos de desenho do tecido urbano e uso misto do solo são fortemente associados com a promoção do acesso às estações de transporte a pé, em maior grau que a densidade populacional, frequência do serviço de transportes ou aspectos pessoais. O estudo demonstra a importância dos aspectos configuracionais no acesso de pedestres ao sistema de transporte que os modelos tradicionais de transportes não capturam, e que podem orientar o aprimoramento de estratégias de desenho urbano que incorporem o desenvolvimento de padrões de configuração e uso misto que potencializem os efeitos positivos entre transportes e uso do solo.

Barros & Medeiros (2013) partem da premissa que o metrô, para contribuir com a mobilidade urbana sustentável, deve ser associado às centralidades urbanas, dinamizando as preexistentes e promovendo novos centros. Investigam a relação entre as estações e configuração urbana em

Lisboa e no Distrito Federal do Brasil. Observam a forte correlação entre estações, aspectos de integração e centralidades em Lisboa, e fraca correlação no Distrito Federal, em grande medida por seus aspectos de desenho urbano e uso e ocupação do solo.

Karimi *et al.* (2013) desenvolvem método de modelagem da dinâmica urbana utilizando a análise configuracional ponderada por dados de matriz origem-destino como ferramenta de avaliação de impactos de projetos de desenvolvimento urbano no tráfego da cidade. A partir da premissa que a investigação da origem, destino e do percurso assumido pelo movimento tem um papel revelador das relações socioeconômicas que se estabelecem no território (Hillier, 2007), os autores constroem matriz origem-destino a partir dos dados de uso e ocupação do solo previstos nos instrumentos de planejamento urbano para representar o carregamento do tráfego pela rede. Na análise elaborada pela teoria da Sintaxe Espacial, a variável escolha angular (angular choice) representa os movimentos de longa distância pela cidade. Medida de centralidade, é a soma de todos os menores caminhos angulares (ver seção 3.3.7.3) que passam por um determinado segmento da representação linear dos caminhos (Karimi *et al.*, 2013). O primeiro passo do modelo foi representar, em sistema de informações geográficas (SIG), a distribuição espacial da população e do emprego em toda a cidade, princípio da geração de viagens pelo território. A partir do pressuposto que a atração dos locais de trabalho seja a mesma para todos os moradores, os autores fazem a previsão do número de viagens dividindo o valor de escolha angular ponderado pelo número de locais de trabalho, obtendo um número de viagens igual à população itinerante. O modelo resulta em uma descrição das principais rotas veiculares da cidade, indicando claramente os principais corredores reais de veículos e possíveis pontos de saturação da rede.

Em estudo posterior, Karimi *et al.* (2015) aprimoram o ‘modelo ponderado de sintaxe espacial’, aplicando em simulações do desenvolvimento urbano da cidade estudo de caso. O modelo de análise elaborado simula os fluxos pelo território, desagregando dados de viagens na rede a partir da variável escolha angular ponderada pelo uso do solo, com o objetivo de avaliar os impactos no carregamento do sistema viário causados por futuras intervenções e empreendimentos a partir de um processo iterativo. Sua identificação parte da observação de similaridades morfológicas e da malha urbana, criando um modelo probabilístico de distribuição de usos pelo espaço. Este processo incorpora uma análise “bottom up” por meio da sintaxe espacial, em contraste com a visão “top down” dos planejadores urbanos. O modelo se

mostrou uma ferramenta com potencial para aplicação no planejamento urbano, capaz de avaliar com razoável precisão as propostas e intervenções.

Jayasinghe *et al.* (2017) propõem um método de estimação de atração de viagens em zonas de tráfego com base em três medidas de centralidade da Sintaxe Espacial: conectividade, integração local, e integração global. Baseados na premissa de que existe correlação entre centralidade viária e atração de viagens, verificam a aplicabilidade do modelo configuracional puro, sem a utilização de dados de uso do solo na cidade de Colombo, no Sri Lanka. Utilizam análise de segmentos angular, o que estudos como os de Turner (2007), Karimi *et. al* (2013; 2017) verificam maior correlação com o movimento de pessoas e de veículos. As medidas de centralidade foram transpostas para as zonas de tráfego utilizando um estimador de densidades kernel (ver seção 3.3.6.4). A comparação com dados obtidos em modelo tradicional baseado em dados de uso do solo encontrou correlações significativas, com R^2 em valores maiores que 0,75, o que demonstra a potencialidade do uso desse tipo de modelo como uma ferramenta prática de análise em situações onde não existe disponibilidade de dados dessa natureza.

2.5 TÓPICOS CONCLUSIVOS

A pesquisa parte da leitura do espaço urbano por meio das relações que se estabelecem entre rede de transportes, configuração e uso do solo. Investigações de fenômenos desta qualidade devem ser realizadas dentro de uma visão sistêmica, onde as partes se relacionam formando um todo, permanentemente realimentado, em constante interação e modificação. O estudo das partes de forma isolada não pode revelar a complexidade das relações que formam um espaço urbano.

O potencial de urbanidade de uma aglomeração pode ser medido pelo potencial de interações que seu espaço proporciona. A investigação das formas assumidas por essas aglomerações expressas na sua rede de caminhos, de transportes, é reveladora da lógica de circulação e das relações estabelecidas em seu território, nos diversos períodos de seu desenvolvimento.

Os fluxos no território são forças estruturadoras e expressão do grau de evolução dos assentamentos. No interior das aglomerações urbanas, os fluxos de pessoas são os mais representativos, os maiores estruturadores do espaço urbano (Villaça, 1998). Esses fluxos, os movimentos no território, seguem um propósito, seja para trabalho, consumo de bens e serviços, lazer, estudos, entre outros. Esses movimentos se manifestam na rede de transportes, daí seu

caráter agregador e definidor de uma série de formas urbanas. A investigação da origem, destino e do percurso assumido pelo movimento tem um papel revelador das relações socioeconômicas que se estabelecem no território. Quanto maiores e mais complexas as unidades urbanas, mais as relações internas ganham importância, pois a dinâmica do aglomerado só se realiza em seu conjunto (Castells, 1983).

A investigação do sistema urbano pressupõe a identificação de padrões, que se manifestam nas diferentes configurações, materialização de uma série de relações que se estabelecem e estruturam seu território. A compreensão dos princípios que regem a organização interna e estruturação desse território são a base da investigação dos fenômenos que ocorrem no sistema urbano, onde as redes de transporte desempenham importante papel na promoção da interação, dos movimentos que permitem a comunicação entre os diversos atores e recursos dispersos no território.

Na investigação sistêmica do espaço urbano, o entendimento das relações interpartes, formando um todo organizado e estruturado é fundamental. Dentro dessa ótica, a identificação das áreas denominadas centros urbanos é de grande relevância. Resultado de um processo de concentração de funções, pode assumir diferentes papéis e localizações durante o processo de evolução e desenvolvimento do sistema urbano. Centros e subcentros urbanos são pontos focais dentro da estrutura urbana, concentradores de atividades e de fluxos, que serão investigados nessa pesquisa principalmente a partir de suas características topológicas e geométricas que, associadas a um sistema de transporte de massa, conferem um certo potencial de acessibilidade, fator relevante dentro dos processos de estruturação do espaço urbano.

A estruturação do espaço urbano está profundamente ligada com as condições de transporte pelo território. As redes de transportes em si configuram apenas um conjunto potencial de origens e destinos, lugares no espaço. As atividades desenvolvidas nesses lugares geram os fluxos, responsáveis pelas interações espaciais (Giuliano *et al.* 2012; Castells, 1983; Hillier, 2007). A investigação sobre os fenômenos urbanos passa pela compreensão da interação, das relações e dos princípios que orientam a ocupação, a estruturação e permanente transformação do território, na qualidade de um sistema, necessitando de abordagem que investiguem as relações na escala global e as manifestações na microescala de planejamento urbano.

A persistência de certas formas construídas é notada na evolução do sistema urbano, as localizações das maiores concentrações de empregos nas regiões metropolitanas tendem a uma certa estabilidade. O crescimento das zonas que concentram esses empregos pode se dar em processos de expansão dos centros, formação de subcentros, ou dispersas junto à população, a depender do perfil das regiões urbanas e das atividades desenvolvidas.

A investigação da cidade como um sistema complexo requer o estudo dos princípios da dinâmica urbana, que são relacionados à grande quantidade de dados para modelagem dos aspectos físicos, demográficos, sociais, econômicos, comportamentais e culturais das manifestações ao nível do indivíduo. A escala primária da relação do indivíduo com a cidade é a local, da vizinhança, e essas relações condicionam e são condicionadas na escala geral do sistema. A escala da vizinhança é ponto de partida e chegada dos grandes fluxos na cidade, escala ainda pouco explorada nos estudos de transportes, em sua grande maioria baseados em zonas de tráfego.

A revisão de literatura aponta para uma carência de metodologias que incorporem os aspectos de configuração em estudos de transportes e formação das centralidades. A investigação encontra restrições, seja de ordem técnica, das teorias aplicadas ou operacionais, para que a análise da configuração do tecido urbano seja incorporada nas pesquisas. Desta forma, as teorias e métodos da Sintaxe Espacial se apresentam como uma ferramenta adequada à complementação das investigações e modelagem do sistema urbano.

2.5.1 VARIÁVEIS DE PESQUISA

As variáveis mais recorrentes nos estudos, dentro dos grupos de análise desta pesquisa, são apresentadas de forma sintética na tabela 2.4, agrupadas dentro das três dimensões a serem investigadas: (i) uso do solo, (ii) rede de transportes e (iii) configuração. A seção 3.3.7 apresenta as variáveis a serem testadas para a caracterização do estudo de caso e desenvolvimento do modelo de análise.

Tabela 2.4 Principais variáveis dos estudos selecionados

Grupo	Variáveis	Informações	
Uso do solo	Empregos	Densidade de empregos	
		Total de empregos	
	População	Densidade de habitantes	
		Total de habitantes	
	Uso misto	Índice de entropia	
Outros índices			
Rede de transportes	Serviço	Distância à parada/estação	
		Distância entre estações	
		Densidade de estações	
		Acessibilidade	Empregos acessíveis
			Destinos acessíveis
	Tempo de viagem		
	Configuração	Geométricas	Centralidade em relação à rede de transportes
			Contagem/fluxo tráfego
			Dimensões médias dos quarteirões
			Densidade de quarteirões
Densidade de interseções com pelo menos 4 trechos de vias			
Configuração	Geométricas	Padrão predominante (grelha regular, curvilínea, existência de "cul de sacs")	
		Densidade de travessias de pedestres, árvores para sombreamento e outras variáveis ambiente favorável ao pedestre	
		Topológicas	Integração global
			Integração local
			Integração angular
	Integração angular normalizada		
	Escolha global		
	Configuração	Topológicas	Escolha local
			Escolha angular
			Escolha angular normalizada
Escolha global			
Escolha local			

3 METODOLOGIA

A pesquisa investiga a associação entre uso do solo, rede de transportes e configuração na formação das centralidades. As centralidades são pontos focais, capazes de exercer efeito significativo sobre a estrutura espacial urbana. Por sua natureza, resultado de processos econômicos e sociais, pode levar a aumentos locais de densidades de uso e ocupação, com consequente valorização do solo. O procedimento de análise requer a modelagem da dinâmica do sistema urbano para identificação das concentrações e dispersões da população, atividades, e o comportamento de viagens pelo território.

Selecionadas as metodologias, variáveis e características mais recorrentes nos estudos analisados, são apresentados os aspectos teóricos, metodológicos e técnicos que embasam a construção do método proposto por essa dissertação.

3.1 ASPECTOS TEÓRICOS

A revisão de literatura parte de estudos sobre centralidades e estruturação urbana em abordagens de naturezas distintas: (i) economia espacial; (ii) comportamento de viagens e ambiente construído e; (iii) análise configuracional por meio da Sintaxe Espacial. Os estudos apontam para princípios convergentes na investigação dos processos de estruturação urbana, onde a promoção de acessibilidade por meio da configuração se apresenta como fator relevante a ser considerado. A síntese dos principais aspectos teóricos que nortearão a pesquisa, discutidos detalhadamente no capítulo 2, é apresentada nesta seção.

As centralidades são representação indireta dos efeitos da acessibilidade, atraem e se beneficiam do movimento, condicionado pelas características físicas do ambiente construído e sua posição relativa no sistema urbano. Integram e concentram pessoas e atividades, resultado do potencial de movimento promovido por sua malha viária e sistemas de transportes. As concentrações nas centralidades, sobretudo de empregos, são maiores que as das zonas adjacentes, e podem levar a aumentos locais de densidade e valor do solo (McDonald, 1987), resultado das economias de aglomeração, empiricamente verificado e testado em diversos estudos e diferentes modelos econômicos (Fujita & Ogawa, 1982; Anas *et al.*, 1998; McMillen & Smith (2003).

A literatura aponta para características comuns às centralidades urbanas: núcleo compacto, diversidade de usos e atividades, servido por transporte de massa, com malha viária densa e quarteirões de dimensões relativamente pequenas (Cervero & Kockelman, 1997; Hillier, 1999; Hillier, 2007; Ewing & Cervero, 2010). Essas duas características físicas, relacionadas à geometria da malha viária, aumentam a possibilidade de rotas no espaço, favorece os deslocamentos individuais, a interação e promovem atividades que se beneficiam desses fluxos.

O princípio dos 5Ds: densidade, diversidade, desenho, acessibilidade aos destinos e distância ao transporte público, formulado com base nos conceitos sistematizados pelo TOD, entre outras teorias desenvolvidas nos anos 1990, propõe diretrizes de desenho urbano e uso e ocupação do solo apoiadas nas qualidades espaciais observadas em centralidades urbanas com as descritas anteriormente, com foco nos deslocamentos não motorizados na escala local e deslocamentos regionais em transporte de massa. Estudos empíricos demonstram fortes evidências entre configuração urbana local e o comportamento de viagens (Cervero & Kockelman, 1992; Handy, 1992; Ewing & Cervero, 2010; Özbil & Peponis, 2012). As variáveis do ambiente construído que expressem suas características físicas, individualmente, são pouco explicativas, porém, quando associadas, representam e revelam em maior grau a complexidade dos processos urbanos (Cervero & Kockelman, 1992; Ewing & Cervero, 2010).

A pesquisa de Kneib (2008) aponta para geração de viagens como variável adequada para a identificação das centralidades urbanas, valor que expressa a magnitude da acessibilidade e concentração das atividades. As viagens, como derivadas das atividades, se manifestam nas centralidades urbanas de forma intensa, concentram fluxos, promovem as interações físicas dos indivíduos, princípio fundamental da dinâmica urbana, que será a premissa principal de investigação da pesquisa.

3.2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa propõe a análise do potencial de promoção de centralidades com base na associação de variáveis em três categorias analíticas: uso do solo, rede de transportes e configuração. Para a compreensão das centralidades é necessário o entendimento da dinâmica do sistema urbano, o que permite sua caracterização e identificação, que será elaborada nas escalas: (i) global, compreendendo a área urbana da cidade de São Paulo, exceto as áreas de proteção ambiental; (ii) local, nas regiões servidas por estações de metrô.

Para a construção do modelo de análise, a primeira etapa consistiu em definir as bases e menores unidades de agregação dos dados que fossem representativas da dinâmica espacial e que viabilizassem o estudo do sistema global. A investigação de um sistema urbano como o da cidade de São Paulo em unidades muito pequenas de agregação, como lotes ou quarteirões urbanos, requer um grande esforço na coleta e tratamento dos dados que pode não representar sensível ganho na qualidade da análise proposta. Desta forma, a utilização das zonas de tráfego (Kneib, 2008; Giuliano & Small, 1991; Giuliano *et al.* 2012; McMillen, 2001; McMillen & Smith, 2003; Readfern, 2007; Lee, 2007) da pesquisa origem-destino (ver seção 3.3.1) como unidade de agregação dos dados se mostrou adequada para o estudo, pois são definidas por meio de metodologias robustas que consideram a homogeneidade da zona em seus aspectos relacionados à rede de transportes e de uso e ocupação.

A investigação da configuração urbana por meio da Sintaxe Espacial (seção 2.4.4) se mostra adequada ao desenvolvimento da pesquisa. Ao analisar a configuração da malha viária por meio de suas características geométricas e topológicas, calculando matematicamente a magnitude dessas características na forma de variáveis, fornece parâmetros quantitativos das qualidades dessa rede, responsável pelos processos de promoção, atração ou restrição de movimento. Como a literatura pesquisada apresentou, essas variáveis encontram correlações significativas com processos urbanos, o que confere um caráter relacional à abordagem, adequada para investigação dos fenômenos complexos do sistema urbano (Hillier, 2007; Karimi, 2012).

As variáveis para caracterização do objeto da pesquisa foram modeladas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG, seção 3.3.3), o que permitiu análises exploratórias: (i) visuais e (ii) baseadas em técnicas de estatística espacial para a verificação dos efeitos da dependência espacial dos dados (seção 3.3.6), bem como a construção do modelo de análise para o estudo proposto por esta pesquisa.

3.3 ASPECTOS TÉCNICOS

3.3.1 PESQUISA ORIGEM-DESTINO

A pesquisa origem-destino é uma base de dados socioeconômicos robusta para identificar as concentrações e dispersões das atividades, o fluxo e escolha modal de viagens na cidade, reveladora da estrutura, dinâmica urbana e dos movimentos subjacentes da população (Ortuzar & Wilumsen, 2011). São pesquisas de seção transversal, realizadas em amostra significativa da

população, geralmente em intervalos de 10 anos, o que condiciona e restringe a análise de fenômenos recentes no processo de evolução da dinâmica urbana. Os dados são agregados em zonas de tráfego (ZT), a unidade básica de análise dos deslocamentos da população, definidas por meio de critérios que consideram o sistema de transporte e as características homogêneas de uso e ocupação do solo (Metrô, 1998).

A primeira pesquisa origem-destino na região metropolitana de São Paulo foi elaborada no ano de 1967, para subsidiar o planejamento e projeto do sistema de Metrô. Desde então, o Metrô realiza novas pesquisas no intervalo de 10 anos, sendo a mais recente disponível a do ano de 2007, que servirá de base para este estudo. Investiga os padrões de viagens que as pessoas fazem diariamente em uma região, levanta os motivos e os modos e transporte utilizados nessas viagens, bem como observa seu comportamento sob a ótica de informações socioeconômicas como renda, idade, gênero, escolaridade, os locais de residência, trabalho e estudo (Metrô, 2008). Em 2002 e 2012 foram realizadas pesquisas de mobilidade, com amostra menor, em maior nível de agregação espacial, para controle e acompanhamento das tendências identificadas nas pesquisas de 1987 e 2007. Os resultados das pesquisas são públicos, acessados pelo Portal da Transparência do Metrô (Metrô, 2017b).

A base de dados da pesquisa origem-destino é extensa, inclui mapa digital georreferenciado com a representação vetorial das 460 zonas de tráfego dos municípios da Região Metropolitana de São Paulo, relatórios e tabelas síntese nos formatos de planilha eletrônica, além dos arquivos completos de bancos de dados, o que permite análises urbanas dentro de diversas disciplinas.

3.3.2 ANÁLISE AXIAL E DE SEGMENTOS

O modelo configuracional da pesquisa foi construído e processado dentro das teorias da Sintaxe Espacial (Seção 2.4.4). O mapa axial, representação linear da malha viária da cidade de São Paulo, foi elaborado sobre mapa georreferenciado do ano de 2006 (Medeiros, 2013). Este mapa, processado em Depthmap[®], gerou análises axiais e de segmentos, representação da topologia da rede viária da cidade, em diferentes raios de alcance, ou seja, dentro de aspectos: (i) globais, para todos os eixos do sistema (R_n), ou (ii) locais, em um raio definido, que pode ser o número de eixos nas análises axiais ou um determinado raio métrico, nas análises de segmentos. A pesquisa analisa as variáveis topológicas locais dos mapas axiais até o terceiro segmento mais próximo, conectado dentro da rede (R_3). As variáveis são apresentadas em escala cromática

que vai do azul (cores mais frias), indicativo dos eixos/segmentos com menores valores, ao vermelho (cores mais quentes), os eixos/segmentos com maiores valores.

A análise axial parte da representação linear dos eixos, enquanto a análise de segmentos requer a conversão deste mapa. O mapa de segmentos é um refinamento do mapa axial, onde os eixos são fracionados em todos os cruzamentos com os demais eixos, conferindo propriedades a cada um dos trechos. Essa análise permite estudar o deslocamento com maior detalhe, pois interpreta variações angulares mínimas como a continuação de um mesmo caminho, e não como uma mudança de direção, como no mapa axial (Loureiro, 2017; Al Sayed *et al.*, 2014).

Para a correlação das variáveis calculadas nestes dois mapas com os dados da pesquisa origem-destino foi necessário transpor os dados da representação do grafo aos polígonos das zonas de tráfego. Para isso, os mapas de cada variável de interesse para o estudo foram convertidos em superfícies, transformação feita a partir do cálculo de densidade kernel, processo realizado em SIG, para cálculo do valor médio da variável em cada polígono das zonas de tráfego. Outra transformação recomendável é a normalização dos valores em base 100 (Medeiros, 2013), cujos os valores são ponderados em uma escala de 0 a 100, conferindo uma unidade na representação dos valores e facilitando a comparação dos valores de variáveis diferentes.

3.3.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são ferramentas de representação computacional de dados espacialmente referenciados, estes entendidos como localizados na superfície terrestre e representados em uma projeção cartográfica. Largamente utilizados para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos, permitem a convergência de diferentes disciplinas científicas por meio da redução de seus conceitos a algoritmos e estruturas de dados para armazenamento e tratamento de dados geográficos (Câmara & Monteiro, 2004). Um SIG viabiliza a análise espacial de dados geográficos a partir de sua organização, manipulação e visualização, com o objetivo de revelar relações, padrões e tendências (Scott & Janikas, 2010). Por exemplo, a análise da ocupação dos aglomerados urbanos pode ser trabalhada em imagens via satélite que, associadas à modelagem dos dados socioeconômicos, permitem o conhecimento do comportamento de uma população, com o objetivo de realizar diagnósticos e intervenções com maior precisão (Ribeiro, 2008).

O ambiente de um SIG é composto de ferramentas básicas cartográficas e de visualização da distribuição dos dados que, juntamente com técnicas analíticas, viabilizam consultas espaciais como sobreposição de mapas, seleção de dados, análise de *buffer*, interpolações e cálculos de proximidade. Ferramentas geoestatísticas permitem a inclusão da variável espacial nas análises, compreendem um conjunto de técnicas para descrever e modelar os dados espaciais (Scott & Janikas, 2010). A evolução dos computadores e dos SIG tornam cada vez mais amigável sua utilização, possibilitam trabalhar com grandes bases de dados espaciais e realizar complexas operações matemáticas em tempo reduzido.

Uma aplicação em SIG parte da escolha da representação geográfica computacional de dados adequada ao estudo do fenômeno em questão. Estes dados, caracterizados no espaço em função de algum sistema de coordenadas, são denominados *dados geográficos* ou *dados espaciais* (Câmara *et al.*, 2004) e assumem feições distintas de acordo com a natureza e tipo de dados a serem representados. A essas feições são associados os dados representativos do fenômeno. Câmara & Monteiro (2004) consideram duas grandes classes de representações geométricas dessas feições: *representação vetorial* e *representação matricial*, brevemente descritas a seguir:

- A representação vetorial de um elemento ou objeto procura sua reprodução de forma exata ou mais fiel possível, a partir de três formas básicas: pontos, linhas, áreas (ou polígonos). Neste tipo de representação, indicada para dados temáticos e cadastrais, a parte gráfica é armazenada em forma de coordenadas vetoriais e os atributos não gráficos armazenados em um banco de dados (Câmara & Monteiro, 2004).

- A representação matricial trata o espaço como uma superfície plana. Parte de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento a ser representado. A cada célula pode ser individualmente acessada por suas coordenadas e recebem um código referente ao atributo estudado (Câmara & Monteiro, 2004). Imagens de satélite e superfícies obtidas a partir de processos de interpolação são representadas dessa forma (Câmara & Monteiro, 2004).

3.3.4 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE DADOS ESPACIAIS

Dados espaciais apresentam *localização geográfica*, que se estabelece quando é possível descrevê-la em relação a outro objeto cuja posição seja previamente conhecida, ou quando se determina sua localização relativa a um certo sistema de coordenadas (D'Alge, 2004). A

representação de elementos em ambientes computacionais parte de um sistema de coordenadas de referência. Aplicações em sistemas do tipo CAD (*Computer Aided Design*) também seguem este princípio, mas não utilizam um importante elemento de cartografia, as coordenadas geográficas. Um mapa é a representação planejada da superfície terrestre, as projeções e transformações cartográficas aproximam as geometrias com relativa exatidão, utilizando sistemas de referência espacial.

Para que a superfície da Terra seja tratada matematicamente, as informações devem ser planejadas por meio de transformações geométricas. A cartografia aproxima a geometria da curvatura da terra por meio de uma superfície elipsoidal, posicionada em relação à região que se queira trabalhar, o chamado datum planimétrico. Este, associado a uma referência altimétrica – datum altimétrico, define o plano de projeção para um sistema de planificação geodésico. Dados de diferentes sistemas geodésicos em um mesmo mapeamento podem provocar discrepâncias de localização indesejáveis, principalmente para escalas menores que 1:250.000 (D’Alge, 2004). Um sistema geodésico de referência garante a correspondência entre um ponto em um mapa e sua real localização, bem como as transformações necessárias entre dados representados em diferentes sistemas (D’Alge, 2004). Essa correspondência entre um ponto no mapa e sua real localização na superfície da terra é dado por um sistema de projeções cartográficas, definido pelo tipo de superfície de projeção adotado e pelas propriedades de deformação que as caracterizam; o mapeamento no Brasil é feito na projeção UTM, sistema de projeção cilíndrica que preserva os ângulos e altera as áreas, com distorções abaixo de 0,5% (D’Alge, 2004).

3.3.5 ANÁLISE DE DADOS ESPACIAIS

A análise de dados espaciais estuda as propriedades e relacionamentos de fenômenos distribuídos geograficamente. Parte de uma série de procedimentos encadeados, com a finalidade de se obter um modelo inferencial que considere o relacionamento espacial entre as principais variáveis responsáveis pelo fenômeno estudado (Câmara *et al.*, 2004). Os princípios fundamentais da análise espacial são provenientes da matemática, estatística e econometria. Estudos científicos aplicados necessitam de ferramentas que façam uso de probabilidades e estatísticas e, no desenvolvimento do modelo, das técnicas econométricas e geoestatísticas (Fischer & Getis, 2010).

O conjunto de técnicas descritivas e de modelagem de dados que utilizam o espaço, comprimento, proximidade, orientação ou relações espaciais na avaliação de padrões espaciais, distribuições, tendências, processos e relacionamentos recebe a denominação de *estatística espacial* (Scott & Janikas, 2010), ferramenta que se mostra relevante nas análises dos fenômenos urbanos (Páez & Scott, 2005). Os avanços da computação, tanto na capacidade de processamento das máquinas quanto na evolução dos SIG, permitem aplicações cada vez mais elaboradas em análise espacial, sejam nas ciências ambientais, físicas ou sociais, permitindo a investigação de hipóteses de pesquisa a partir do mapeamento dos fenômenos, análise dos resíduos de regressões, tendências de concentrações e dispersões, relações espaciais entre uma dada observação e outras observações de referência e, principalmente, como pontos, linhas e áreas definidos no espaço interagem entre si, estatisticamente ou no espaço e no tempo (Fischer & Getis, 2010; Anselin, 1999). Essas ferramentas, associadas às técnicas de estatística desenvolvidas e adaptadas aos dados espaciais, viabilizam análises que considerem a complexidade dos fenômenos urbanos (Páez & Scott, 2005).

As ferramentas tradicionais de análise exploratória de dados (*exploratory data analysis* - EDA) orientam uma série de procedimentos que auxiliam na visualização dos padrões, associações e possíveis casos discrepantes (*outliers*) em grandes conjuntos de dados, auxiliando na compreensão dos fenômenos à luz dos objetivos da pesquisa (Barbetta, 2014; Anselin, 1999). A aplicação da EDA a dados espacializados pode fornecer informações iniciais sobre a heterogeneidade espacial, sugerir tendências por meio da variação sistemática de uma variável distribuída a partir de distâncias métricas, posições relativas ou mesmo a análise espacial exploratória de variância, na qual o interesse sejam as diferenças na tendência central dos dados (média, mediana) na distribuição de uma variável entre subconjuntos espaciais (Anselin, 1999). Porém, essas ferramentas apresentam limitações na análise de dados espaciais ao não considerarem os efeitos da proximidade no comportamento das variáveis (Anselin & Bao, 1997).

A investigação de fenômenos espaciais implica na análise da *dependência espacial* entre as variáveis que o caracterizam, onde os efeitos da *localização* e *não homogeneidade desse espaço* devem ser conhecidos e quantificados para maior confiabilidade nas análises (Anselin & Bao, 1997; Câmara *et al.*, 2004; Paez & Scott, 2005; Fischer & Getis, 2010). A *dependência espacial* é o fato de que a maior parte dos fenômenos espaciais não apresentarem entre si uma distribuição aleatória e sim, na sua grande maioria, um comportamento dependente da distância

entre estes. No estudo dos fenômenos urbanos, há que se considerar que locais próximos uns aos outros geralmente compartilham recursos, história, feições sociodemográficas e econômicas, manifestações que, em certa medida, seguem os princípios da Lei de Tobler, onde locais próximos tendem a apresentar maior semelhança entre si do que locais mais distantes (Müller *et al.*, 2013). A análise dos fenômenos urbanos implica na compreensão de processos resultantes das interações, definidores dos aspectos de semelhança e complementaridade dos locais, onde a explicação de sua dinâmica encontra apoio na visão sistêmica (seção 2.1.1) e no conceito de economias de aglomeração (referências nas seções 2.2 e 2.3).

A análise espacial de dados por meio de modelos estatísticos deve partir da observação do comportamento da estrutura espacial desses dados (seção 3.3.6), relacionada aos conceitos de efeitos de primeira e segunda ordem (Câmara *et al.*, 2004). O efeito de primeira ordem é o valor esperado, a média do processo no espaço, em resposta apenas a variações causais; o efeito de segunda ordem é resultado de relações, a covariância entre as áreas s_i e s_j (Câmara *et al.*, 2004; De Smith *et al.*, 2015). A verificação do comportamento desses efeitos é a base para a identificação de um conceito importante na análise espacial, o de estacionariedade. Os processos são considerados estacionários quando os efeitos de primeira e segunda ordem são constantes no espaço, não identificando tendências em sua distribuição (Câmara *et al.*, 2004).

Desta forma, um conjunto de técnicas que envolvem a análise desses aspectos à luz de suas relações espaciais vem sendo desenvolvido por pesquisadores para o auxílio na compreensão destes fenômenos, a *análise exploratória de dados espaciais (exploratory spatial data analysis – ESDA)* (Anselin, 1999; Fisher & Getis, 2010). Os procedimentos da ESDA permitem descrever e visualizar distribuições espaciais, identificar valores atípicos (*outliers*), observar padrões de associação espacial (*clusters*), identificar diferentes regimes e formas de instabilidade espacial (não-estacionariedade) (Anselin, 1995, 1999). De acordo com Fisher & Getis (2010), ferramentas da ESDA são comumente usadas antes da fase de construção do modelo de análise, porém, em algumas novas técnicas desenvolvidas, atuam também como construtoras do modelo, permitindo a visualização da associação dessas variáveis no espaço.

As ferramentas de análise espacial baseadas em SIG partem da natureza de representação geométrica das feições associadas às variáveis características do fenômeno real, apresentadas no início dessa seção. A taxonomia mais utilizada para caracterizar os problemas de análise espacial baseia-se nas seguintes representações (Kneib, 2008):

- i) *Análise de pontos*: estuda a distribuição espacial de fenômenos expressos por meio de ocorrências identificadas como pontos localizados no espaço geográfico, os chamados processos pontuais que, nesta pesquisa, representarão as estações do metrô, centroides das zonas de tráfego, dos quarteirões e das projeções das edificações;
- ii) *Análise de áreas*: utilizada quando não se dispõe ou não é vantajoso se trabalhar com as localizações exatas dos eventos, agregando os valores a partir de polígonos regulares ou não. Esta é a representação da unidade espacial básica das análises da pesquisa, as zonas de tráfego;
- iii) *Análise de redes*: utilizada quando os objetos em análise são entidades lineares, ou quando o objeto de estudo é o acesso ou o fluxo de uma região. Esta é a representação das análises configuracionais topológicas da Sintaxe Espacial (seção 2.4.4), os mapas axiais e de segmentos (seção 3.3.2);
- iv) *Análise de superfícies*: o evento é estudado de forma contínua ao longo do espaço considerado, estimado a partir de um conjunto de amostras de campo, que podem estar regularmente ou irregularmente distribuídas (Câmara *et al.*, 2004). A análise de superfícies (seção 3.3.6.4) será utilizada como parte do processo de transposição dos valores das variáveis das análises de pontos e de redes para as zonas de tráfego.

3.3.6 DEPENDÊNCIA ESPACIAL

A dependência espacial em modelos computacionais é expressão do conceito de *autocorrelação espacial* que, em linhas gerais, representa as relações que se estabelecem entre unidades espaciais próximas, baseada na verificação do comportamento de uma variável no espaço a partir da comparação entre o valor de uma amostra e dos seus vizinhos, em um processo iterativo (Kneib, 2008; Getis, 2010). A autocorrelação espacial, segundo Anselin (1999), pode ser conceituada a partir de duas perspectivas: i) perspectiva geoestatística e ii) perspectiva de rede. A perspectiva geoestatística trata as observações espaciais como uma amostra de pontos a partir de uma distribuição espacial contínua subjacente, uma superfície, modelada por meio de um *variograma*, expressão da força da associação entre pares de locais como uma função

contínua da distância que os separa. Na perspectiva de rede⁹ os locais são pontos discretos ou unidades de área, e os dados espaciais são tratados como produto de um processo estocástico espacial. As observações espaciais na análise de rede podem ser processadas em uma *matriz de proximidade espacial*, representação matemática do arranjo espacial dentro dos aspectos de topologia e contiguidade dos dados, que constitui o ponto de partida para qualquer teste ou modelo estatístico que tratem de dados especializados. A não verificação da expressão desse conceito pode levar a erros de especificação nos modelos de estudo dos fenômenos espaciais, o que inviabiliza ou torna a análise dos dados pouco confiável (Anselin, 1999; Getis, 2010).

3.3.6.1 Matriz de proximidade espacial

Se uma hipótese de pesquisa ou uma teoria indica que as relações espaciais dependem das distâncias, a matriz de proximidade espacial representa a compreensão derivada dessas relações espaciais conforme equação abaixo:

$$w_{ij} = d_{ij}^{-\alpha}, \text{ com } \alpha \geq 1 \quad (3.1)$$

Nessa expressão, o valor atribuído a uma célula (i,j) é ponderado pelo inverso da distância d entre duas localizações distintas, i e j , reduzido pelo expoente α , onde α é maior ou igual a 1 (Getis, 2010). A matriz de proximidade espacial pode ser utilizada em vários tipos de análise, quando utilizado em análises da posição relativa e variabilidade de dados de área (A_i, A_j), cada um dos elementos W_{ij} pode ser calculado a partir dos critérios abaixo (Câmara *et al.*, 2004):

- i) $W_{ij} = 1$, se o centróide de A_i está a uma determinada distância de A_j , caso contrário $W_{ij}=0$;
- ii) $W_{ij} = 1$, se A_i compartilha um lado comum com A_j , caso contrário $W_{ij}=0$;
- iii) $W_{ij} = l_{ij}/l_i$, onde l_{ij} é o comprimento da fronteira entre A_i e A_j e l_i é o perímetro de A_i .

Ao se trabalhar com dados em valores quantitativos, a normalização dos dados da matriz é recomendável. A utilização de pesos no lugar de valores absolutos, onde por exemplo a soma

⁹ Conceito de rede utilizado apenas como expressão de arranjo espacial dos dados, diferente de análise de redes, onde são analisadas propriedades como sentido de fluxos, capacidades de seus componentes, nós, entre outras.

dos pesos de cada linha seja igual a 1, facilita a compreensão das medidas e dos coeficientes de autocorrelação espacial (Getis, 2010; Câmara *et al.*, 2004).

3.3.6.2 Indicadores globais de autocorrelação espacial

Os indicadores de autocorrelação espacial são importantes ferramentas para a observação do comportamento dos fenômenos no espaço. Entre os diversos indicadores desenvolvidos, o Índice de Moran Global (I) ganha destaque na literatura científica (Getis, 2010; Scott & Janikas, 2010; Câmara *et al.*, 2004; Kneib, 2008; Anselin 1995 e 1999). O índice investiga o comportamento da distribuição espacial do fenômeno por meio da observação da dependência do valor de um atributo de uma área em relação aos valores médios dos atributos das áreas vizinhas (Getis, 2010; Câmara *et al.*, 2004). Sua estatística guarda semelhança com a estrutura do coeficiente de correlação de Pearson, porém, enquanto este último indica o grau de correlação entre duas variáveis, o Índice de Moran Global (I) é a expressão da correlação de uma única variável com si mesma, ponderada por meio de uma matriz de proximidade espacial (Getis, 2010). Este índice é obtido pela equação 3.2 (Câmara *et al.*, 2004):

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (z_i - \bar{z}) (z_j - \bar{z})}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \quad (3.2)$$

Onde:

I : Índice Global de Moran;

n : número de áreas;

z_i : valor do atributo considerado na área i ;

\bar{z} : valor médio do atributo na região de estudo;

w_{ij} : os elementos da matriz normalizada de proximidade espacial.

O Índice de Moran Global (I) é um teste estatístico cuja hipótese nula é a de independência espacial, onde os valores se comportariam de forma aleatória, nesse caso assumiria valor igual

a zero. Valores positivos (entre 0 e +1) indicam correlação direta; valores negativos (entre 0 e -1), correlação inversa (Câmara *et al.*, 2004; Getis, 2010; Páez & Scott, 2005).

3.3.6.3 Indicadores locais de autocorrelação espacial

Os indicadores locais de autocorrelação espacial (*local indicators of spatial association – LISA*) são testes estatísticos que apontam para instabilidades espaciais no universo de estudo. A partir da decomposição dos indicadores globais, que fornecem um único valor como medida de associação espacial de todo o conjunto, avaliam a contribuição de cada observação na composição e comportamento do fenômeno (Anselin, 1995; Getis, 2010; Câmara *et al.*, 2004).

De acordo com Anselin (1995), um indicador local de associação espacial (LISA) é uma estatística que atende a dois requisitos:

- i) O LISA para cada observação indica a existência de significativo agrupamento espacial de valores semelhantes no entorno dessa observação;
- ii) A soma dos LISAs de todas as observações encontra correspondência com o indicador global de associação espacial.

Entre os indicadores locais de associação espacial, o índice local de Moran é um dos mais utilizados na literatura pesquisada. As estatísticas apresentadas por este índice identificam agrupamentos (*clusters*) de valores altos ou baixos, bem como valores atípicos (*outliers*) no espaço (Scott & Janikas, 2010), objetivo desta pesquisa. Valores de atributos locais muito afastados da média ou mediana do conjunto podem indicar locais que contribuam mais que o esperado em uma estatística global (Anselin, 1995). Desta forma, valores representativos de maiores concentrações de atividades em uma área sugerem centralidades no tecido urbano. O índice pode ser expresso para cada área i a partir dos valores normalizados z_i do atributo por meio da equação 4.3 (Câmara *et al.*, 2004):

$$I_i = \frac{z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j}{\sum_{j=1}^n z_j^2} \quad (3.3)$$

Onde:

I_i : índice local de Moran para área i ;

w_{ij} : elementos da matriz normalizada de proximidade espacial;

z_i, z_j : valores normalizados dos atributos (desvios)¹⁰.

Testes de significância devem ser aplicados, usualmente por permutações aleatórias (ver Anselin, 1995); indicam padrões de agrupamentos das variáveis no espaço, que devem ser considerados nas análises – a possível existência de autocorrelação global afeta as interações de I_i (De Smith *et al.*, 2015; Câmara *et al.*, 2004; Anselin, 1995; Anselin & Bao, 1997; Getis, 2010). Após a determinação da significância estatística de I_i é recomendável mapear as regiões que apresentam correlação significativamente diferente do conjunto de dados, que podem ser vistas como “bolsões” de não-estacionariedade (instabilidade) (Câmara *et al.*, 2004).

3.3.6.4 Análise de superfícies

A análise de superfícies estuda o evento de forma contínua no espaço. Muito utilizada em geostatística, seu objetivo é reconstruir uma superfície de onde foram extraídas e caracterizadas amostras, interpolando valores a partir de um modelo inferencial de dependência espacial (Câmara *et al.*, 2004). Representações computacionais de superfícies são compostas por conjuntos de unidades básicas (células) organizadas em uma malha regular, denominadas *pixels*, em uma representação conhecida por modelos de dados *raster* (Burrough & McDonnell, 1998). Nestes modelos, cada célula pode ser individualmente acessada por suas coordenadas e recebem um código referente ao atributo estudado (Câmara & Monteiro, 2004).

A definição do modelo de variabilidade espacial é essencial para a representação do fenômeno estudado de forma que mais se aproxime da realidade. Os procedimentos de interpolação que geram essas superfícies representam, em geral, a variável em estudo como uma combinação da variabilidade em larga e pequena escala a partir de três grandes abordagens (Camargo *et al.*, 2004):

- i) Modelos determinísticos de efeitos locais: cada ponto da superfície é estimado apenas a partir da interpolação das amostras mais próximas, utilizando funções

¹⁰ Para cálculo do índice e normalização dos valores ver também De Smith *et al* (2015)

como inverso do quadrado da distância. A suposição implícita é que predominem os efeitos puramente locais, compondo uma superfície cujo valor seja proporcional à local intensidade de amostras. Neste caso, não é feita qualquer hipótese estatística sobre a variabilidade espacial. Entre os interpoladores desta categoria estão os *kernel estimators*, um estimador mais refinado, cujos parâmetros básicos são (a) um raio de influência que define a vizinhança do ponto a ser interpolado; (b) uma função de estimação com propriedades “convenientes” de suavização do fenômeno. Os interpoladores kernel são alternativa viável a métodos sofisticados de interpolação, não requerem a parametrização da estrutura de correlação espacial, como no caso da geoestatística. As superfícies interpoladas são suaves e aproximam muitos fenômenos naturais e socioeconômicos. As desvantagens destes estimadores são a forte dependência no raio de busca e excessiva suavização da superfície, que podem esconder variações importantes em alguns casos. Estes modelos são utilizados para transposição dos valores médios das variáveis da Sintaxe Espacial nas zonas de tráfego (seção 4.2.3);

- ii) Modelos determinísticos de efeitos globais: a suposição implícita nesta classe de interpoladores é que, para a caracterização do fenômeno em estudo, predomina a variação em larga escala, e que a variabilidade total não é relevante. Neste caso estão os *interpoladores por superfícies de tendência*, baseados em um processo de regressão múltipla entre os valores do atributo e as localizações geográficas. Segundo o autor, esses modelos são simples e de cálculo fácil, a desvantagem é que a suposição implícita negligencia a variabilidade local, o que não condiz com a maior parte dos fenômenos naturais, e são muito sensíveis a valores extremos. Apesar desses problemas, são úteis para remover os efeitos de primeira ordem, quando a média varia de forma consistente no espaço. Outra grande utilidade é na análise dos resíduos de estimação, que mostram a existência de agrupamentos que apresentam diferenças significativas na tendência geral;
- iii) Modelos estatísticos de efeitos locais e globais (*krigagem*): cada ponto da superfície é estimado apenas a partir da interpolação das amostras mais próximas, utilizando um estimador estatístico. Esses estimadores apresentam propriedades de não serem tendenciosos e de procurar minimizar os erros inferenciais; são utilizados no cálculo de altura média dos edifícios nas zonas de tráfego (seção 4.2.3).

3.3.6.5 Modelos de regressão ponderados espacialmente

Modelos de regressão ponderados espacialmente consideram a dependência espacial das variáveis nas análises, cujos efeitos não podem ser captados de forma confiável em métodos estatísticos tradicionais (Anselin & Bao, 1997; McMillen & McDonald, 1997). A pesquisa utiliza modelo de regressão do tipo *Globally Weighted Regression* – GWR, modelo com efeitos espaciais de variação local contínua (Câmara *et al.*, 2004; Páez & Scott, 2004; Fischer & Getis, 2010). A técnica prevê o ajuste de um modelo de regressão a cada ponto observado, ponderando todas as demais observações como função da distância a este ponto, apresentados visualmente para identificar como se comportam espacialmente os relacionamentos entre as variáveis (Câmara *et al.*, 2004). A matriz de proximidade espacial é calculada por meio de um interpolador kernel, o que minimiza eventuais falhas de especificação do modelo. As seções 5.2 e 5.3 apresentam a aplicação dos modelos ao estudo de caso.

3.3.7 VARIÁVEIS DE ANÁLISE

A revisão bibliográfica identificou as variáveis mais recorrentes para a investigação das centralidades, bem como dos aspectos de configuração (forma urbana) associados à estas áreas, com foco na utilização de sistema de transporte de massa (Tab. 2.4). Desta forma, foram pesquisadas bases de dados abertos oficiais da Prefeitura de São Paulo (GeoSampa, 2017), e da Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô, 2017b), para a caracterização do estudo de caso, bem como a serem testadas estatisticamente para definição do modelo de análise.

3.3.7.1 Uso do solo

O tipo de uso do solo é expressão da natureza das atividades a que estes dão suporte. A fonte de dados das variáveis dessa categoria de análise é a Pesquisa Origem-Destino da região metropolitana de São Paulo do ano de 2007 (Metrô, 2008). O estudo parte da análise dos dados em unidades de agregação que não apresentam as mesmas características de ocupação. Um valor relativamente alto de empregos em uma zona dispersa não permite a observação e comparação das concentrações dessa variável. A utilização de valores expressos em densidades, o valor da variável em uma unidade de área padronizada, permite a normalização para estudo do seu comportamento espacial.

- i) Empregos

O sistema urbano como um conjunto de origens e destinos tem no acesso aos empregos um importante princípio de movimento em sua rede de transportes. A variável empregos é largamente utilizada nos estudos de identificação das centralidades (McDonald, 1987; Giuliano & Small, 1991) e de demanda de transportes (Cervero, 2006; Pushkarev & Zupan, 1977). A observação de sua distribuição e o perfil das atividades são bons indicadores do tipo de uso do solo nas regiões metropolitanas.

ii) População

No sistema urbano, a acessibilidade da força de trabalho é uma variável importante para a compreensão de sua dinâmica (Giuliano *et al.*, 2012; Levinson *et al.*, 2017). Enquanto os empregos estão relacionados aos destinos do movimento, a distribuição da população é reveladora das características da origem do movimento, bem como de uma série de aspectos socioeconômicos associados.

iii) Geração de viagens

A variável geração de viagens nesta pesquisa assume um conceito distinto do empregado em análises de transportes tradicionais, como os modelos de quatro etapas, que considera apenas as viagens que tem origem em uma determinada zona. Como em estudos sobre polos geradores de tráfego (Andrade & Portugal, 2009), o foco está no total de viagens cuja a origem é a unidade espacial de estudo, bem como as viagens que tem esse local como destino. Assim, os valores de geração de viagens em cada zona de tráfego foram obtidos a partir da soma dos valores das viagens produzidas e atraídas por esses locais. A centralidade concentra atividades que exercem efeito significativo sobre a estrutura espacial urbana, desta forma, é responsável por importante quantidade de viagens dentro dessa estrutura, premissa também assumida em Kneib (2008). Por meio dos motivos associados a essas viagens, podemos também inferir os tipos de uso em cada região (Kneib, 2008). A pesquisa assume geração de viagens como variável dependente nas análises que serão elaboradas para a construção do modelo.

3.3.7.2 Rede de transportes

A rede de transportes é grande responsável pela acessibilidade nas cidades, viabiliza e dá suporte aos movimentos intra-urbanos. A eficiência dos deslocamentos num sistema urbano

está fortemente associada às características de resposta dessa rede ao atendimento das demandas da população. Transportes e uso do solo se desenvolvem de maneira recíproca, viabilizando e sendo viabilizados pelas concentrações das atividades no sistema. O foco da pesquisa são centralidades associadas a estações de transporte de massa, com estudo de caso no Metrô de São Paulo. Dessa forma, essa categoria de análise se baseia nos seguintes dados:

i) Infraestrutura do Metrô (linhas/estações)

A infraestrutura do Metrô foi representada em Sistema de Informações Geográficas para a compreensão das manifestações em sua zona de influência imediata. Foram utilizados arquivos digitais georreferenciados do portal GeoSampa (2017), banco de dados oficial de informações georreferenciadas da prefeitura de São Paulo, que fornece a configuração do sistema no ano de 2015, editados para a representação do sistema no ano de 2007.

ii) Modos de transporte (viagens nos modos coletivo, individual, metrô)

Os dados sobre modo de transporte da pesquisa origem-destino (Metrô, 2008) serão utilizados para verificar a associação entre viagens em modo coletivo e individual e configuração urbana. Em viagens que incluam vários modos de transporte, a pesquisa origem-destino considera como principal o modo de maior hierarquia dentre os utilizados que, em ordem decrescente, segue a seguinte escala: 1) metrô; 2) trem; 3) ônibus; 4) transporte fretado; 5) transporte escolar; 6) táxi; 7) dirigindo automóvel; 8) passageiro de automóvel; 9) motocicleta; 10) bicicleta; 11) outros e 12) a pé. Dentro deste conceito, qualquer viagem que considere metrô e outro modo, o modo principal é considerado o metrô. O percentual de viagens geradas em modo metrô será avaliado para verificação da contribuição desse modo de transporte na mobilidade das zonas servidas diretamente pelo sistema, bem como no sistema urbano da cidade de São Paulo.

3.3.7.3 Configuração

As variáveis de configuração são a representação do ambiente construído dentro do modelo de análise. Dessa maneira, a pesquisa buscou variáveis que representem de forma quantitativa as características desse ambiente. Foram utilizadas na análise variáveis puramente geométricas (altura média dos edifícios e densidade de quarteirões), bem como indicativas de propriedades topológicas da rede lidas por meio da Sintaxe Espacial.

i) Variáveis geométricas

i.a) Altura média das edificações

O valor de altura média das edificações em uma Zona de Tráfego foi utilizado como medida de concentrações de atividades no território, representação do potencial agregador ds centralidades, bem como representação dos aspectos simbólicos que a associam as centralidades à verticalização das suas construções. Os valores foram obtidos no Mapa Digital da Cidade (MDC, 2017), mapa oficial da cidade de São Paulo em formato vetorial, georreferenciado, editado por setores fiscais, com base cartográfica e base cadastral contendo os setores, as quadras e os lotes, bem como a indicação da projeção da área construída das edificações e suas alturas. Devido à escala da cidade, e os setores fiscais não encontrarem correspondência com as zonas de tráfego, foi utilizado um processo de krigagem para o cálculo e transposição dos valores. Cada edificação foi convertida em um centroide, uma representação vetorial em forma de ponto, que mantém as propriedades de banco de dados associadas à feição. O passo seguinte foi a conversão desses valores em uma superfície (pixels), representação estatística contínua das alturas dos edifícios, transpostas de forma mais prática para as geometrias das zonas de tráfego por meio das ferramentas SIG.

i.b) Densidade de quarteirões

A densidade de quarteirões é uma medida a partir da qual se permite inferir a densidade de vias de uma região, dado que essas unidades são definidas pelas vias que os tangenciam. Regiões com quarteirões menores permitem maior diversidade de caminhos, além de possibilitar ligações mais curtas entre dois pontos de um sistema (Hillier, 1999; Handy; 1992; Ewing & Cervero, 2010). A variável foi calculada também com base no Mapa Digital da Cidade (MDC, 2017), a partir da conversão dos quarteirões em representação de pontos (centroides). Como a variável de interesse era a simples contagem de pontos em uma zona de Tráfego e não o valor de uma variável associada à essas representações, o processo pode ser realizado em SIG sem depender de outras transformações.

ii) Variáveis topológicas

ii.a) Integração

Medida de centralidade, variável indicativa da acessibilidade topológica dos eixos. Valores altos de integração revelam locais de mais fácil acesso, valores baixos são indicativos de locais segregados no sistema. Foram testadas as variáveis de integração axial global (HH Rn, em relação a todos os demais elementos do sistema) e local (HH R3, até o terceiro elemento mais próximo) e de integração angular normalizada (NAIN, mapa de segmentos).

ii.b) Escolha

Valor calculado a partir da verificação de todas as menores rotas entre pares de eixos ou segmentos do sistema, indicativo do potencial de um eixo ou segmento ser parte de um caminho, ou seja, ser escolhido por pedestres e motoristas como o menor caminho em um deslocamento. Foram testadas as variáveis de escolha axial global e local (Escolha Rn e R3) e de escolha angular normalizada (NACH, mapa de segmentos).

ii.c) Medida combinada integração e escolha

Medida combinada entre integração angular e escolha angular (HH CH), indicativa do potencial de um segmento ser ao mesmo tempo destino e percurso, o que tem relação com a estrutura geral de um sistema.

3.4 TÓPICOS CONCLUSIVOS

A pesquisa parte da modelagem da dinâmica do sistema urbano através de diferentes abordagens: (i) economia urbana, (ii) comportamento de viagens associados ao ambiente construído e (iii) configuração geométrica e topológica, esta última lida através das teorias da Sintaxe Espacial. As centralidades, representação indireta dos efeitos da acessibilidade, são resultado de sua localização relativa ao sistema e potencial de movimento proporcionado pelas características de sua malha viária e sistemas de transportes.

A metodologia da pesquisa utiliza como base a Pesquisa Origem-Destino do ano de 2007, a mais recente disponível no período do estudo, que fornece dados consistentes sobre a dinâmica urbana, seus fluxos, características de uso e ocupação das unidades espaciais de análise (zonas de tráfego). O processamento dos dados em SIG possibilita análises consistentes e correlações com outras fontes de dados, bem como a modelagem estatística do ambiente construído dentro do recorte proposto na pesquisa. A associação de diferentes abordagens teóricas em um modelo

estatisticamente significativo procura investigar o espaço urbano como um sistema complexo, produto da associação de diferentes fatores responsáveis por sua estrutura.

O modelo em SIG permitiu análises visuais iniciais da distribuição das atividades no sistema. As ferramentas baseadas em estatística espacial, bem como o cálculo das variáveis de configuração da Sintaxe Espacial, quantificam matematicamente a intensidade dessas distribuições de atividades (uso do solo), e os aspectos qualitativos relacionados às características e qualidades da rede viária, o que reduz a dependência de conhecimento prévio da estrutura e/ou avaliações subjetivas.

A modelagem da rede viária a partir das ferramentas da Sintaxe Espacial tem o objetivo de avaliar a acessibilidade potencial da rede de caminhos, expressa em sua rede viária, em uma abordagem relacional (Karimi, 2012). A metodologia proposta permitiu investigar matematica e estatisticamente o potencial de intensificação de usos em localizações servidas por uma rede de transporte de massa como o metrô, apresentado nos capítulos seguintes.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 BREVE HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO DA CIDADE DE SÃO PAULO

O povoamento da cidade de São Paulo de Piratininga obedeceu a razões estratégicas de defesa, facilidade de acesso e aos objetivos religiosos da catequese. Partindo das cidades de São Vicente (1532) e Santos (1545), a ocupação tem início na colina entre os rios Tamanduateí e Anhangabaú, em 25 de janeiro de 1554, em ponto mais favorável à ocupação e dominação dos povos indígenas locais. Sua ocupação se deu de forma espontânea, sem o planejamento verificado em outras cidades como Salvador e Rio de Janeiro. Confluência de acessos importantes para o interior, o povoado ganhou importância no período das bandeiras (séc. XVII) e ciclo do ouro. Nos três primeiros séculos de existência era quase impossível determinar os seus limites. A configuração de São Paulo começa a mudar no ano de 1711, quando a vila passa à categoria de cidade, e se estabelece a Praça da Sé como seu marco zero (Viveiros, 2011; Hochtief *et al.*, 1968).

No início do século XIX, com o ciclo do café e a abertura dos portos ao comércio internacional, a cidade começa a se consolidar como importante centro econômico. Em 1827 é fundada a Faculdade de Direito do Largo São Francisco, fazendeiros e estudantes começam a se fixar na cidade. A partir de 1867, com o início das operações da estrada de ferro Santos-Jundiaí, as transformações sociais e econômicas se aprofundam; tem início seu parque industrial e as primeiras vilas operárias. Em 1872, ano do primeiro censo nacional, a população da cidade era de 31.885 habitantes. Neste ano entram operação os bondes de tração animal (Viveiros, 2011).



Figura 4.1 Mapa da cidade de São Paulo no ano de 1842
Fonte: GeoSampa (2017)

Em 1900, com população próxima a 240.000 habitantes, entra em operação o sistema de bondes elétricos que, à época, era único sistema de transporte coletivo da cidade. A velocidade de deslocamento do novo sistema de transporte favoreceu a ocupação de bairros mais afastados, como Barra Funda. Em 1920 surgiam os primeiros congestionamentos causados pelos bondes, que não trafegavam em via exclusiva, o que fez a concessionária, em 1927, propor a construção de um sistema de trânsito rápido como um metrô, recusado pela prefeitura (Hochtief *et al.*, 1968; Rolnik & Klinovitz, 2011).

Os projetos urbanísticos para São Paulo no início do século XX previam a expansão da cidade em um modelo de anéis concêntricos a partir do seu núcleo original, cortados por vias radiais, definidor de sua estrutura de mobilidade. A cidade cresce de forma intensa, enquanto a revolução tecnológica do automóvel popularizava este novo modo de transporte, transformando também a cultura da mobilidade (Rolnik & Klinovitz, 2011). Dentro deste contexto, é apresentado o Plano de Avenidas de Prestes Maia, nos anos 1930, composto por um sistema de avenidas formando uma grelha “radioperimetral” de circulação. A proposta de descongestionamento do centro parte de um modelo de expansão horizontal baseada no

“perímetro de irradiação”, que o envolve com um sistema de avenidas e viadutos para transportar os obstáculos físicos, como rios e encostas, e sucessivos anéis viários de contorno da cidade. O transporte sobre trilhos deixa de ser prioridade para a administração municipal, a flexibilidade de operação dos ônibus à gasolina era uma resposta imediata ao novo padrão de expansão e mobilidade da cidade, substituindo gradativamente a rede de bondes que atingia seu auge neste período.

Os ônibus a gasolina entram em operação em 1925, com boa aceitação devido a sua maior rapidez e flexibilidade, fazendo competição aos bondes. O transporte sobre trilhos na cidade de São Paulo deixou de ser prioridade para a administração municipal, o concessionário suspendeu os investimentos até o repasse das linhas, em 1947, à Companhia Municipal de Transportes Coletivos – CMTC e, em 1968, o sistema foi extinto (Hochtief *et al.*, 1968).

4.1.1 O METRÔ DE SÃO PAULO

Dados do censo de 1960 mostram que a cidade de São Paulo ultrapassa os 3,6 milhões de habitantes. A proposta de mobilidade baseada no sistema de avenidas e vias expressas já não atendia as necessidades de acesso à região central, que se encontrava saturada. No ano de 1966 é implantado o grupo executivo do Metrô de São Paulo, para elaboração dos estudos socioeconômicos, de tráfego, de viabilidade econômica financeira e pré-projeto de engenharia para implantação de novo sistema de transporte de massa da cidade, baseado nos corredores de transportes sobre trilhos. Projeções estimavam a população de 10.000.000 de habitantes na cidade de São Paulo no ano de 1990, confirmada pelo censo de 1991. Para garantir a satisfatória mobilidade dessa população, foram estimados 390 km de vias expressas e 360 km de linhas de Metrô (Hochtief *et al.*, 1968). Em 2015, o sistema atinge 5 linhas e apenas 68 estações, com 77,4 km de extensão.

A implantação do Metrô de São Paulo inicia pela linha 1-azul – ligação norte-sul (Jabaquara-Tucuruvi). Entra em operação em 1972, no trecho entre as estações Jabaquara e Saúde. Em 1974 o Metrô alcança a estação Santana. Em 1979 entra em operação a linha 3-vermelha, ligação leste-oeste, entre as estações Palmeiras-Barra Funda e Corinthians-Itaquera. No ano de 1991 entra em operação a linha 2-verde, ligação Vila Prudente-Vila Madalena. A linha 4-amarela, inicia sua operação no ano de 2010. Em 2011 é concluído o trecho entre as estações Luz e Butantã. A linha 5-lilás, originalmente parte do sistema da CPTM – Companhia Paulista

de Trens Metropolitanos, foi transferida ao Metrô no ano de 2001. O trecho de 8,4 km de extensão tem início das operações em 2002, fazendo a ligação entre Capão Redondo e Chácara Klabin. Trecho não considerado no estudo, devido à aspectos temporais e falta de integração com as demais linhas em operação. No ano de 2015 entra em operação experimental o primeiro trecho da linha 15-prata, em sistema de monotrilho, ligação entre Ipiranga e Cidade Tiradentes, para desafogar o fluxo da linha 2-verde.



Figura 4.2 Mapa da rede de metrô, trens urbanos e corredores de ônibus da cidade de São Paulo, 2015
 Fonte: Metrô (2017a)

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo definida como *sistema urbano* compreende 308 das 320 zonas de tráfego da cidade de São Paulo (Fig 4.3), o que exclui as áreas de proteção ambiental: ao sul, junto às principais represas de abastecimento de água da região metropolitana, e uma zona ao norte. Para a compreensão da relação entre as centralidades de São Paulo e o sistema do Metrô, foi realizado um estudo comparativo entre os valores médios das variáveis da pesquisa entre a amostra global e as zonas diretamente servidas por suas estações, conjunto denominado como *região do metrô*. As zonas atendidas pela Linha 5 - Lilás não foram selecionadas por não estarem diretamente integradas às demais linhas do sistema no período da pesquisa.

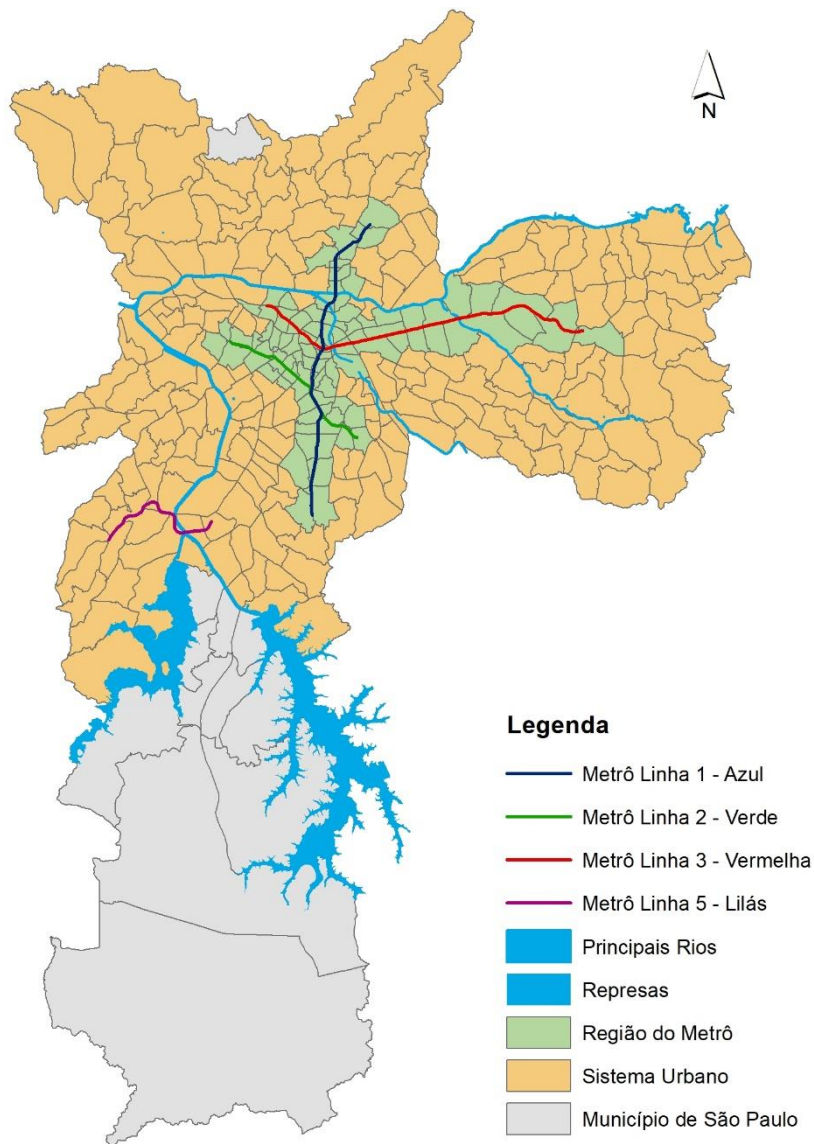


Figura 4.3 Área de estudo

A região do metrô foi definida pela seleção das zonas que atendessem a dois requisitos: (i) zonas em um raio de 800 metros de uma estação do metrô; (ii) os centróides dessas zonas devem estar em um raio de até 1500 metros das estações. Esse critério foi estabelecido dentro das características geométricas locais, pois as zonas de tráfego, unidade básica de agregação dos dados, não apresentam dimensões uniformes que, no geral, são maiores na periferia e menores nas áreas mais densamente ocupadas. Dessa forma, foram excluídas das observações as zonas com baixo percentual de sua área dentro do raio de 800 metros, o que poderia levar a desvios no comportamento das variáveis. A Figura 4.4 representa um trecho ampliado, com a demonstração do processo.

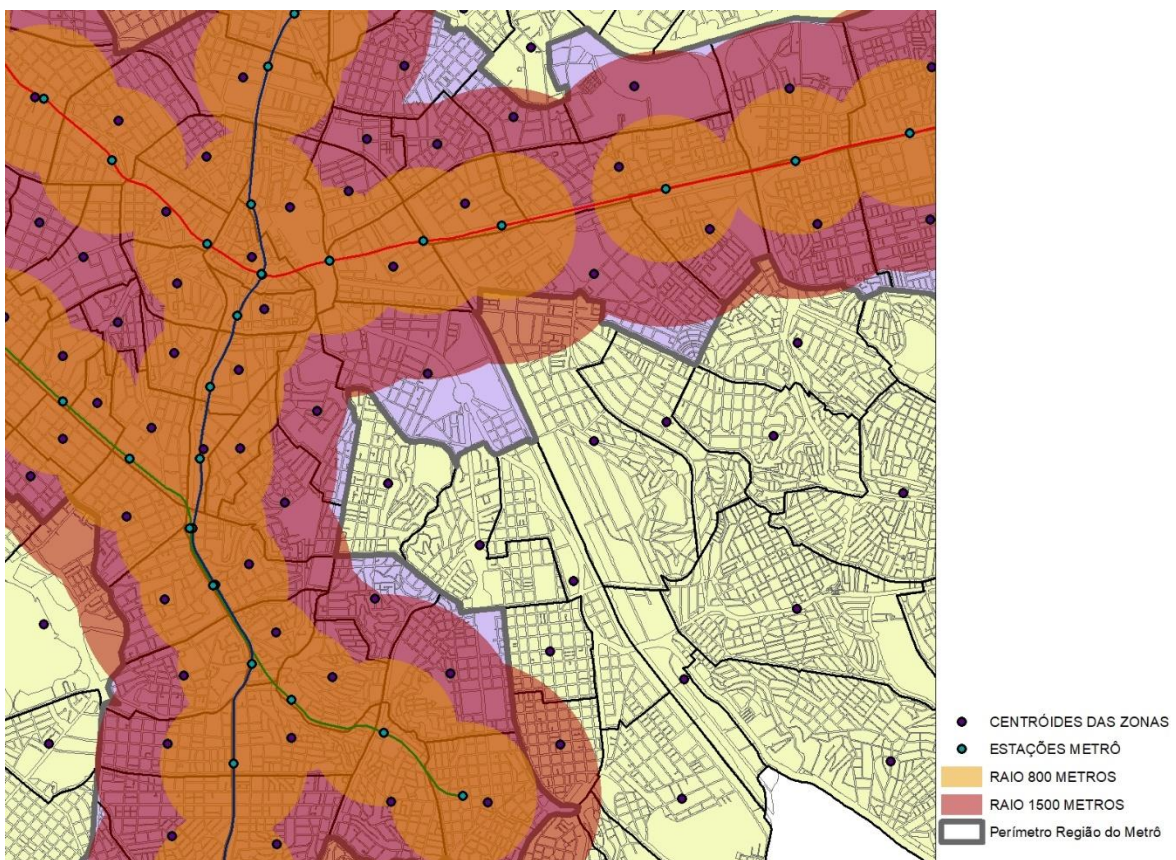


Figura 4.4 Seleção das zonas de tráfego da região do metrô

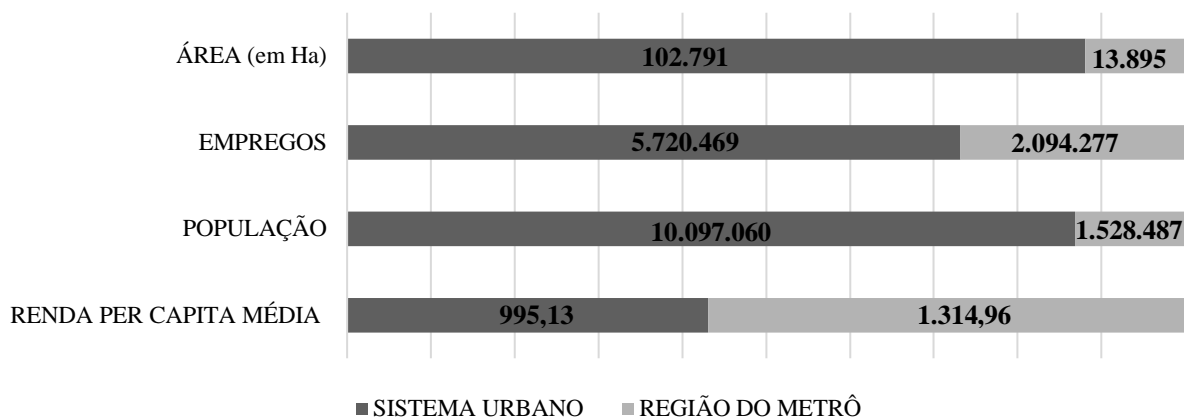
A primeira etapa da pesquisa consiste na caracterização do sistema urbano a partir da análise visual das distribuições das variáveis selecionadas, e a verificação da magnitude dessas variáveis na região do metrô em relação ao sistema geral.

4.2.1 USO DO SOLO E ASPECTOS DEMOGRÁFICOS

O sistema urbano (Fig. 4.3) compreende uma área de 102.791 Ha, com uma população de 10.097.060 habitantes, 5.720.469 empregos, e total de 44.380.105 viagens geradas diariamente¹¹. As variáveis de uso do solo de interesse da pesquisa são a distribuição de empregos (Fig. 4.5) e da população (Fig. 4.6), na forma de densidades, bem como a renda per capita média (Fig 4.7), para observação do perfil socioeconômico dessa população e sua distribuição no território.

A região do metrô corresponde a 14% da área total do sistema, concentra 15% da população, com renda per capita média 37% superior à da população geral e 37% dos empregos (Gráf. 4.1). Desta forma, podemos inferir que é uma região de alta concentração de atividades e, por consequência, maior valor associado às suas localizações.

Gráfico 4.1 Dados gerais sistema urbano x região do metrô



*Valores médios em R\$, base nov. 2007

Fonte: Elaboração do autor sobre dados Pesquisa Origem-Destino 2007 (Metrô, 2008)

As maiores densidades de empregos (Fig. 4.5), com valores acima de 2,5 desvio-padrão, estão na região do metrô. Essas são as zonas que compreendem o centro histórico da cidade (Sé, República e Santa Ifigênia) - encontro das Linhas 1 – Azul e 3 – Vermelha, seguido por um trecho ao longo da Linha 2 – Verde (Bela Vista, São Carlos do Pinhal, Campinas, Trianon, Masp e Consolação¹²), que correspondem a região da avenida Paulista. Não há concentrações acima de 1,5 desvio-padrão fora dos limites dessa região, cujas maiores concentrações estão no

¹¹ Dados obtidos na Pesquisa Origem-Destino do ano de 2007 (Metrô, 2008), especializados e processados pelo próprio autor.

¹² Para legenda com a identificação das zonas ver Anexo I.

novo centro financeiro da cidade, que compreende as zonas Pinheiros, Jardim Paulistano, Chácara Itaim, Vila Olímpia, Hélio Pellegrino e Berrini.

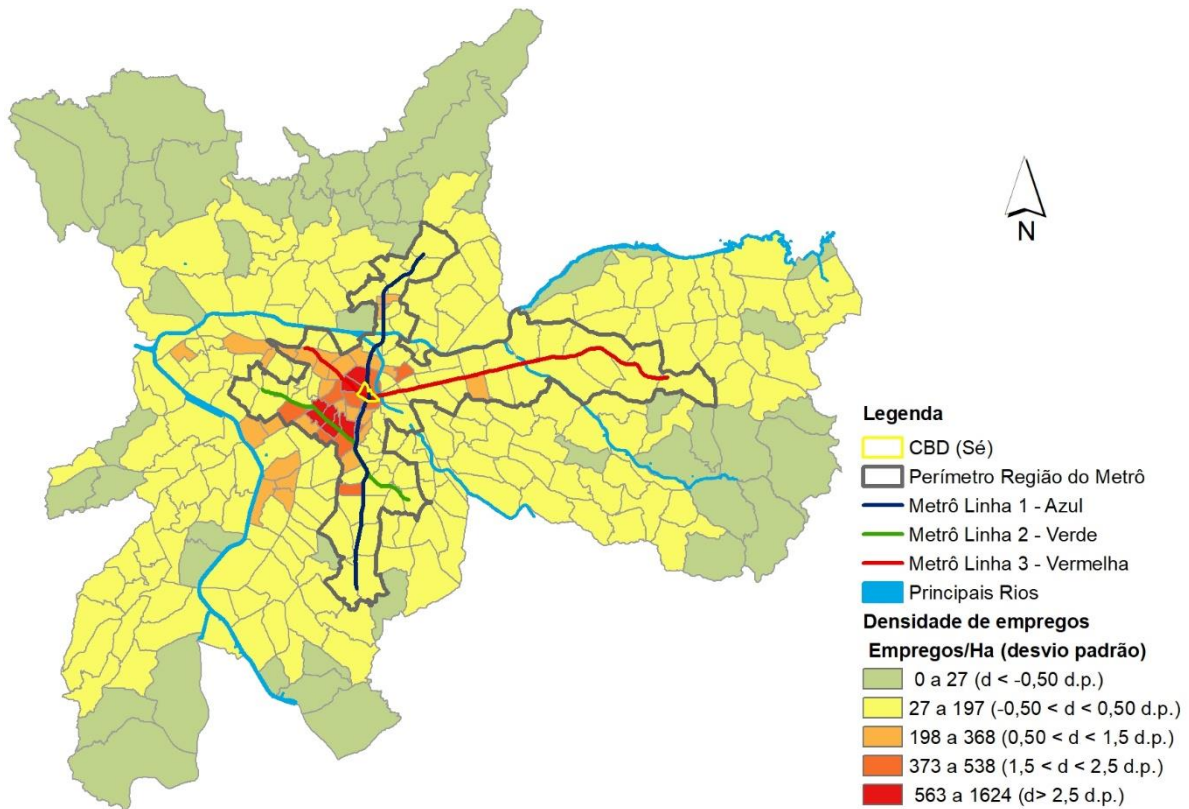


Figura 4.5 Densidade de empregos

As maiores densidades de população na região do metrô (Fig. 4.6) estão associadas à população de mais alta renda (Fig. 4.7). As grandes concentrações de população de baixa renda estão na periferia, o que implica em longos deslocamentos diários para as regiões de maior densidade de empregos na cidade.

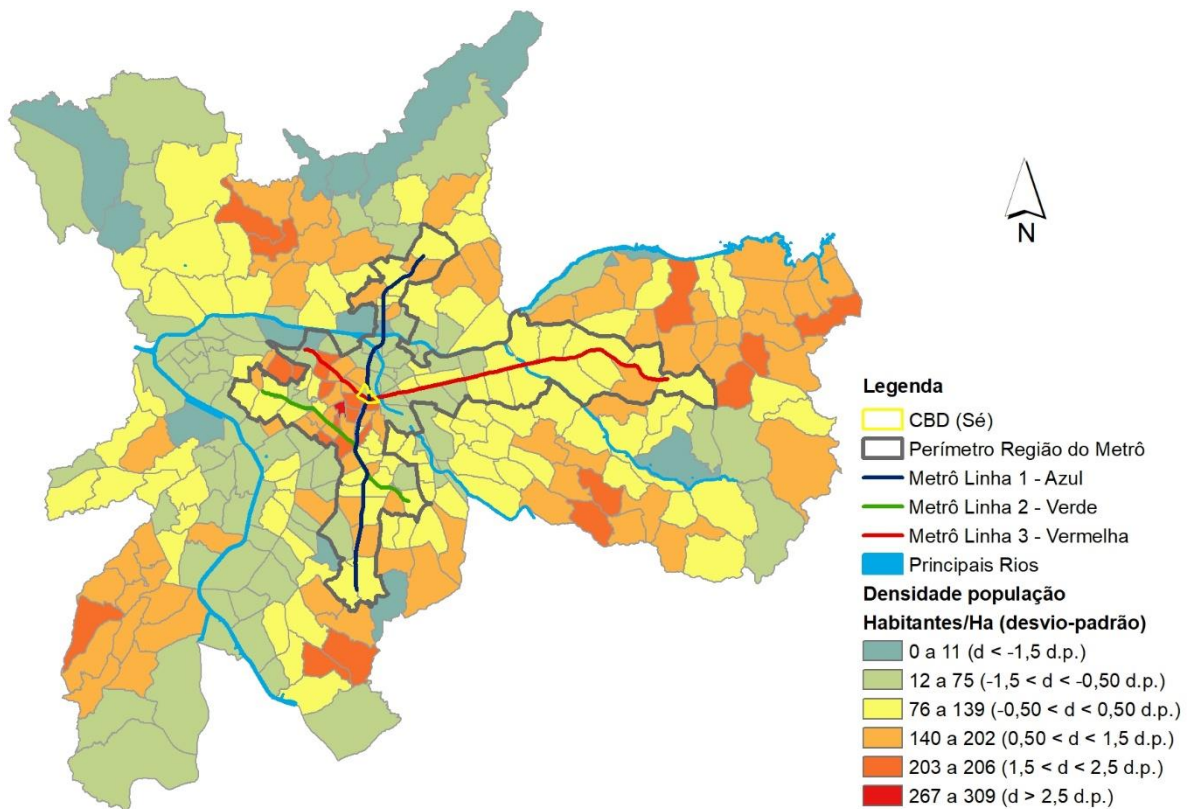


Figura 4.6 Densidade população

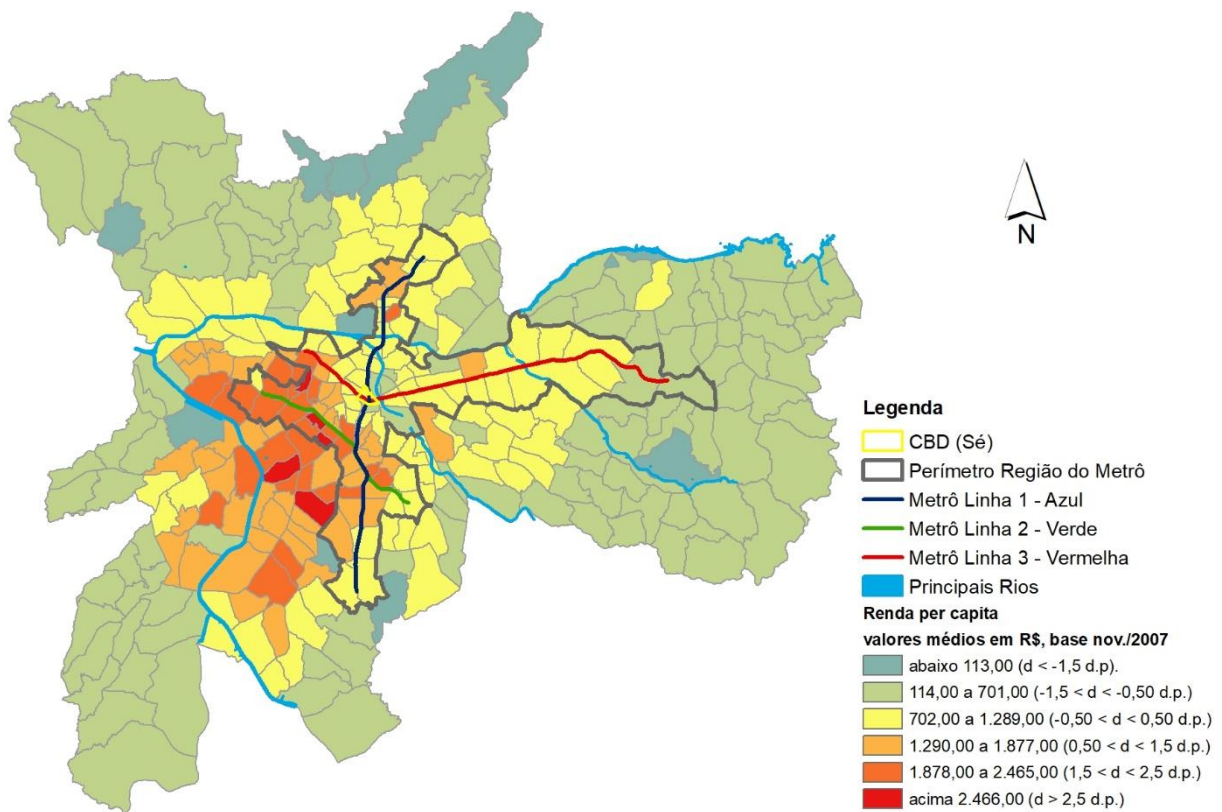
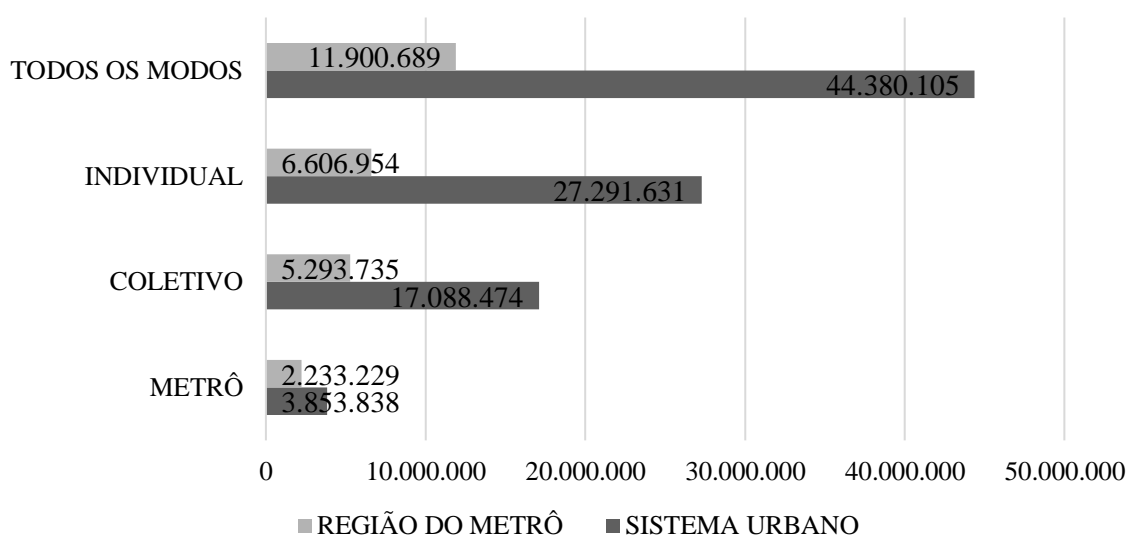


Figura 4.7 Renda per capita

4.2.2 GERAÇÃO DE VIAGENS

A variável geração de viagens é a representação subjacente do uso do solo e do sistema de transportes, bem como da preferência dos indivíduos por determinados modos de transporte em seus deslocamentos diários. A alta concentração de atividades e empregos faz com que a região do metrô seja responsável por 27% das viagens geradas diariamente no sistema urbano, em apenas 14% do seu território. A análise da distribuição dos modos de viagem no sistema geral indica a forte presença do transporte individual como meio de transporte principal, responsável por 61% dos deslocamentos diários. A região do metrô apresenta maior adesão ao transporte coletivo, com 44% das viagens utilizando este modo, contra 39% no sistema geral. O metrô é responsável por 22,5% dos deslocamentos em modo coletivo do sistema urbano de estudo.

Gráfico 4.2 Geração de viagens



Ainda que a região do metrô seja área bem servida por sistema de transporte coletivo (Fig. 4.10), apresenta as maiores densidades de utilização do transporte individual (Fig. 4.9) Este fato pode estar associado ao maior poder aquisitivo da população local. A análise visual aponta para maiores densidades de viagens geradas em modo coletivo associadas às zonas de maior densidade de empregos.

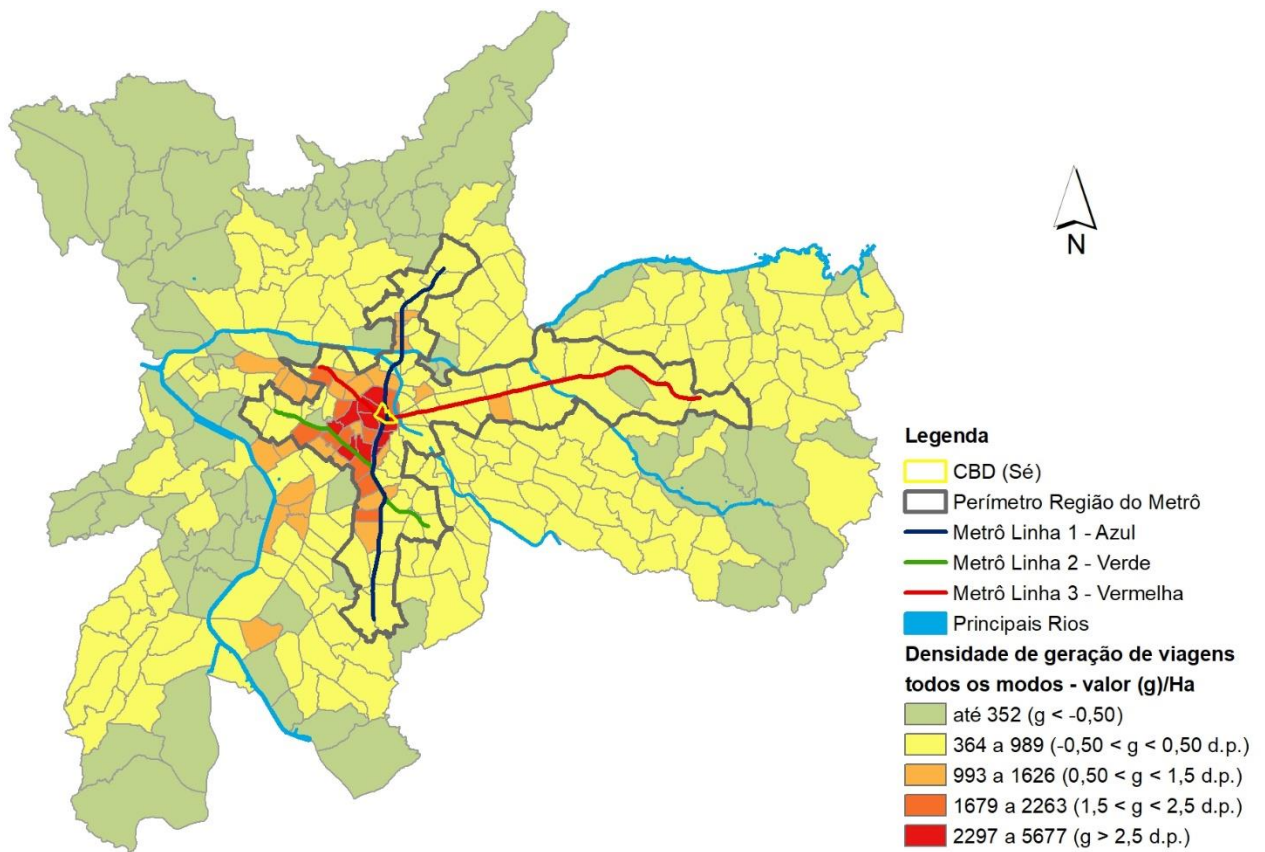


Figura 4.8 Densidade de geração de viagens (todos os modos)

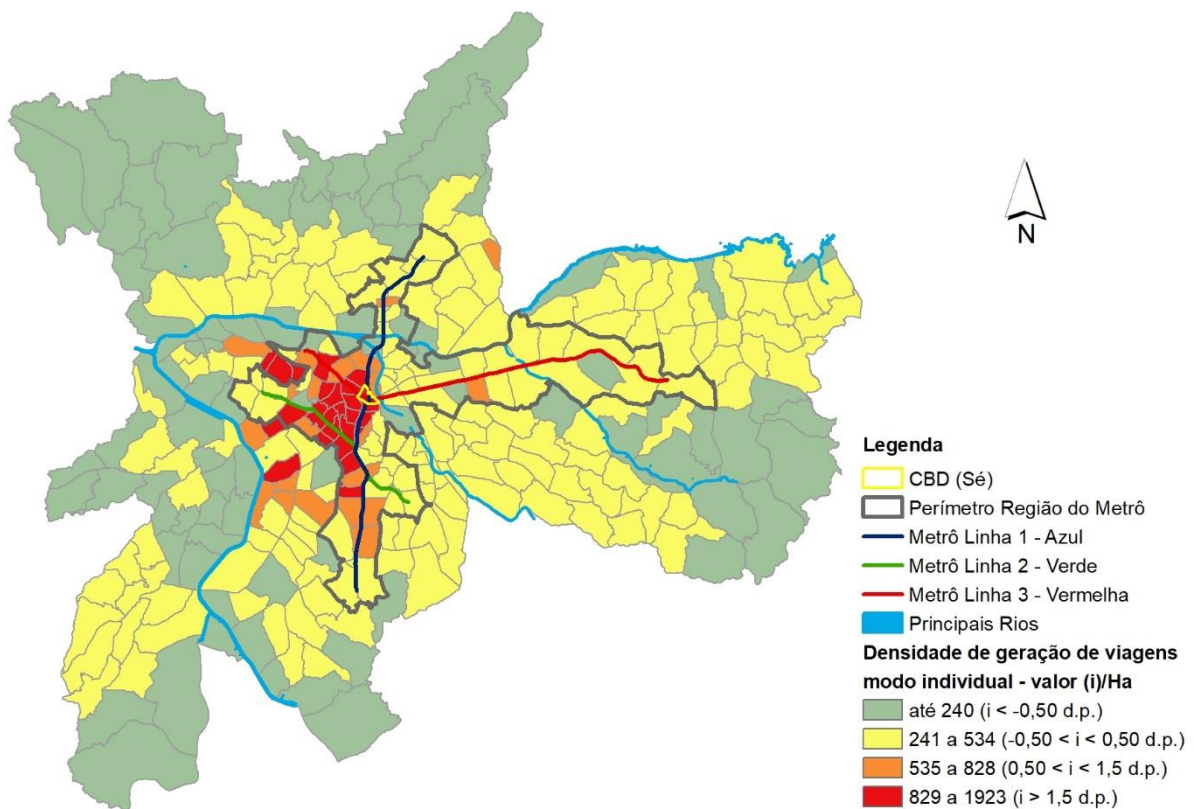


Figura 4.9 Densidade de geração de viagens modo individual

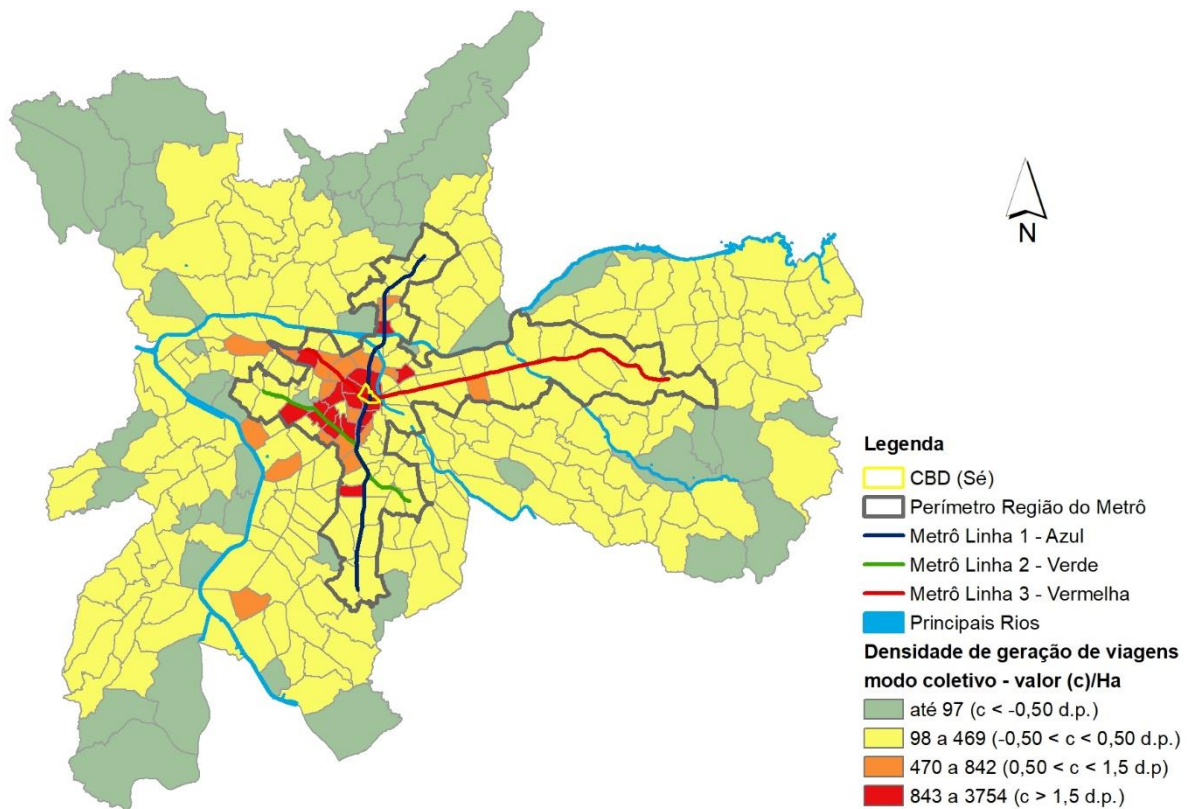


Figura 4.10 Densidade de geração de viagens modo coletivo

As maiores densidades de geração de viagem em modo metrô (Fig. 4.11), como em modo coletivo em geral, estão associadas às principais concentrações de empregos do sistema urbano. Observamos valores expressivos de viagens em modo metrô (42%) em zonas fora de seu perímetro de influência imediata, indicativo de grande parcela de viagens que contemplem outros modos em seu percurso. A maior proporção de viagens em modo metrô (Fig. 4.12) em relação aos demais modos de transporte coletivo está concentrada ao redor do centro histórico (CBD), cujo valor máximo é da ordem de 46%.

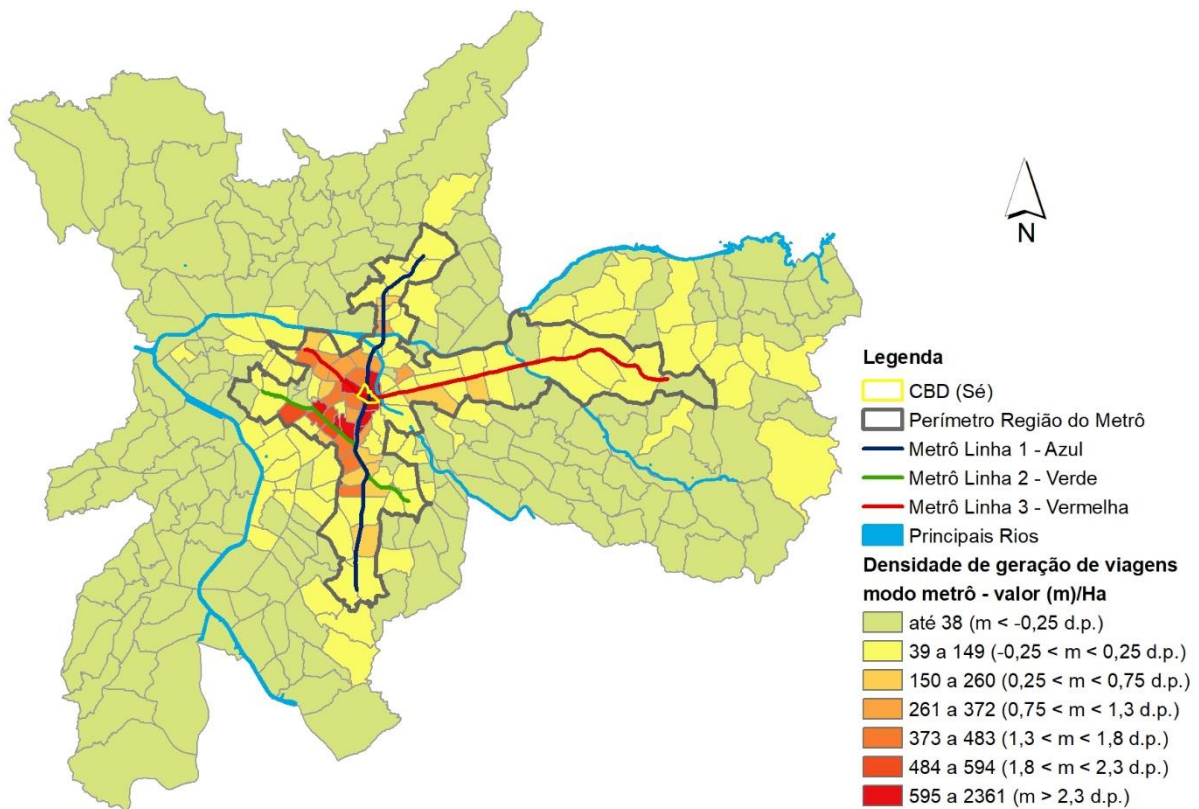


Figura 4.11 Densidade de geração de viagens modo metrô

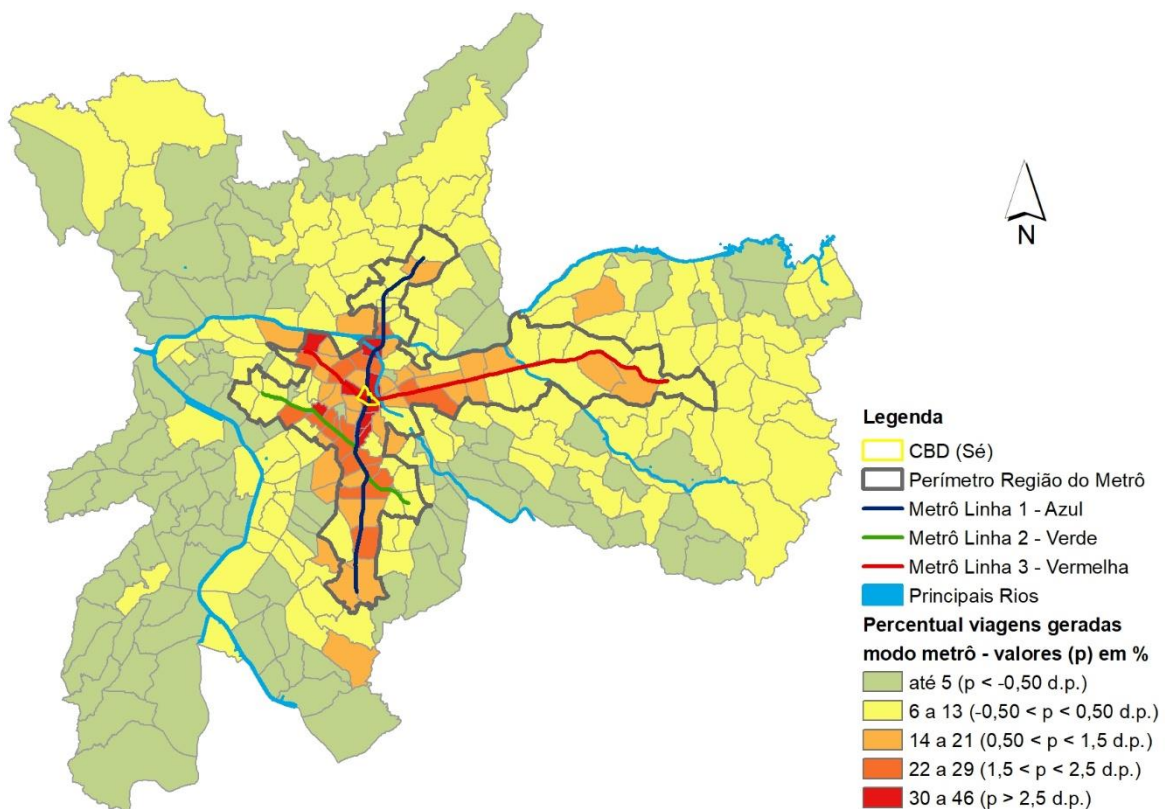


Figura 4.12 Modo coletivo - percentual de viagens geradas modo metrô

4.2.3 CONFIGURAÇÃO

As variáveis de configuração (geométrica e topológica) representam o ambiente construído no modelo de análise. A transposição dos valores médios dessas variáveis nas zonas de tráfego foi realizada por meio de transformações apresentadas na seção 3.3.6.4. A figura 4.13 apresenta um exemplo da aplicação do processo:

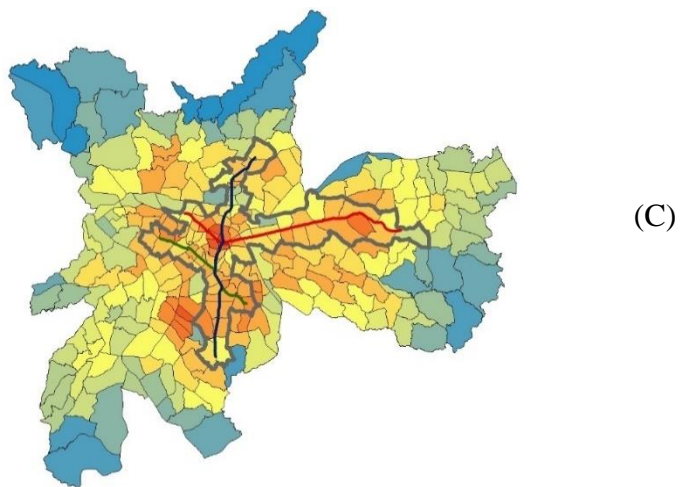
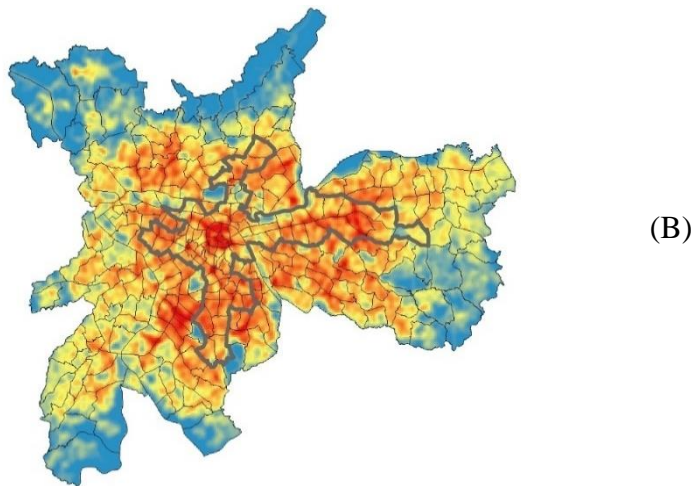
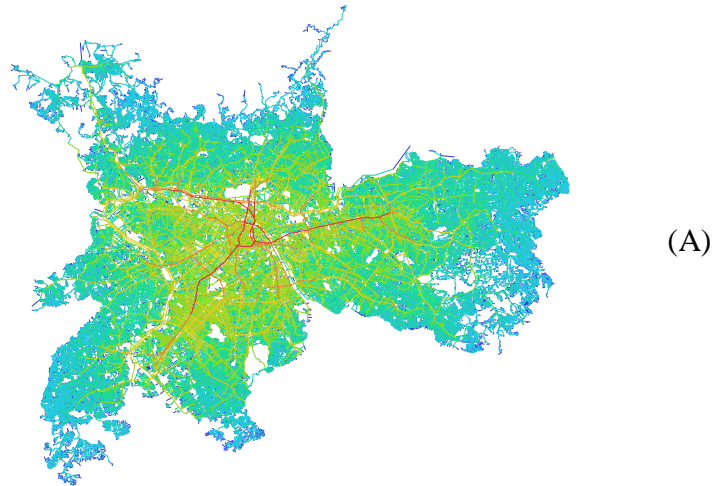


Figura 4.13 Processo de transposição valores médios das variáveis de configuração nas zonas de tráfego

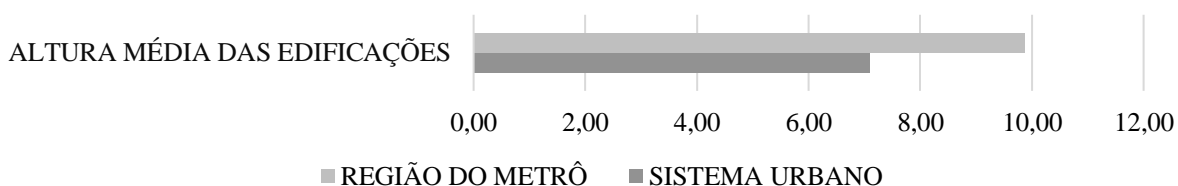
O mapa de segmentos processado - grafo (A) é convertido para representação em pixels, por meio do cálculo de densidade kernel dos valores das variáveis (B), o que permitiu transpor os valores médios dessas variáveis para cada uma das zonas de tráfego (C). Processo similar foi realizado para as medidas de configuração geométrica.

4.2.3.1 CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA

a) Altura média das edificações

As edificações da região do metrô apresentam altura cerca de 40% superior à média do sistema urbano (Gráfico 4.3), indicativo de maiores densidades de ocupação do território, manifestado em maior grau de verticalização da paisagem.

Gráfico 4.3 Altura média das edificações



Os maiores valores da variável (Fig. 4.14) concentram-se nas regiões do CBD e entorno, bem como no trecho da Avenida Paulista, ao longo da Linha 2 – Verde, do metrô, que apresentam as maiores densidades de empregos no sistema urbano.

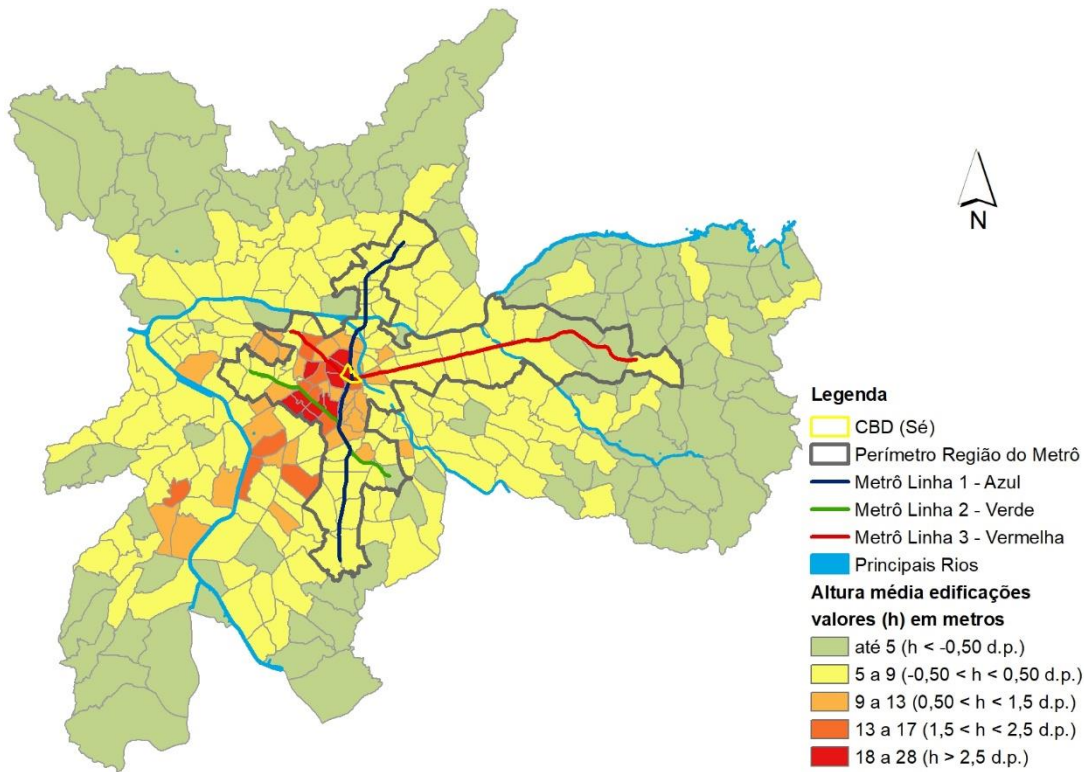
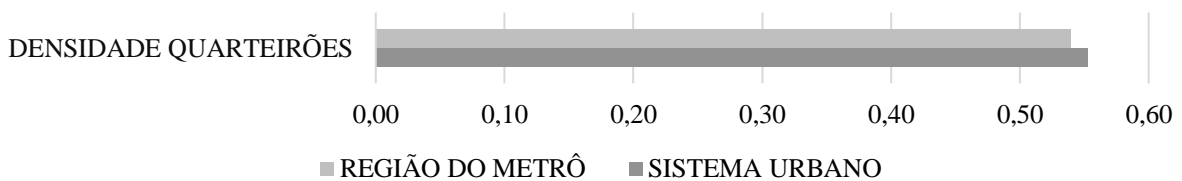


Figura 4.14 Altura média das edificações

4.2.3.2 DENSIDADE DE QUARTEIRÕES

A região do metrô não apresenta diferença significativa dos valores médios da variável em relação ao sistema urbano (Gráf. 4.4):

Gráfico 4.4 Densidade de quarteirões



Zonas com maiores valores da variável implicam em quarteirões menores (Fig. 4.15), percebidas principalmente na periferia. Empreendimentos de maior porte requerem maiores áreas para sua implantação, não há como se desenvolver em quarteirões urbanos de dimensões muito reduzidas.

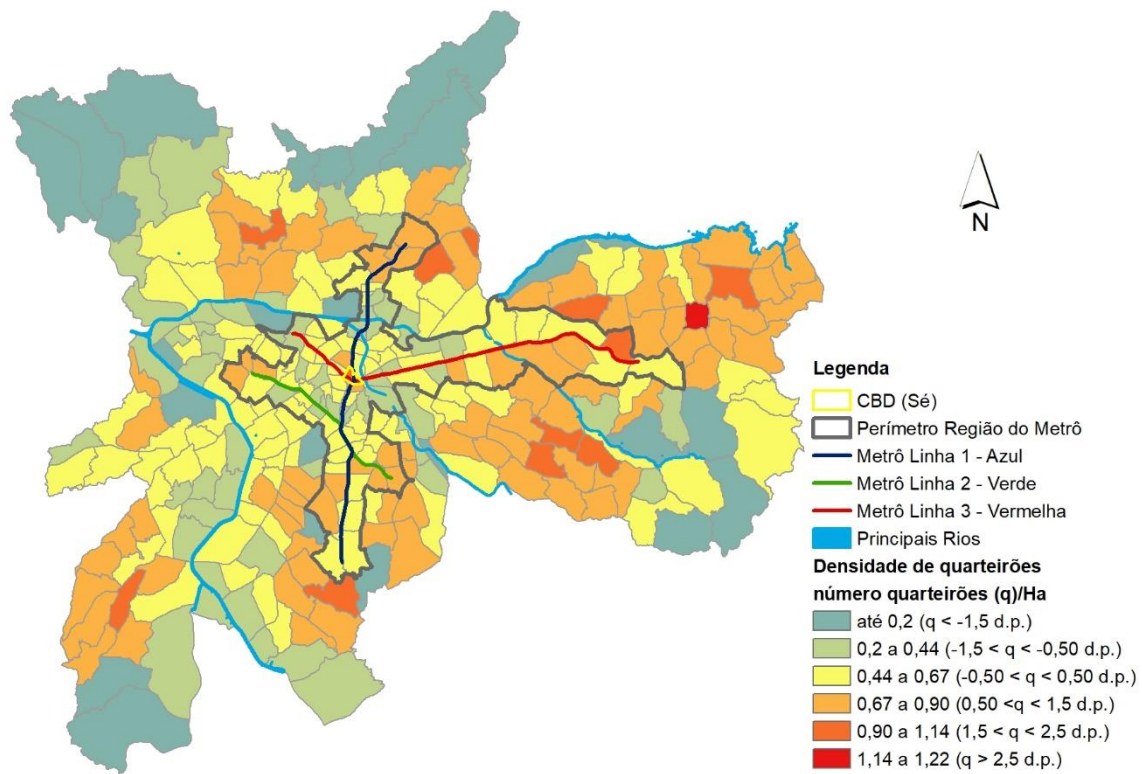


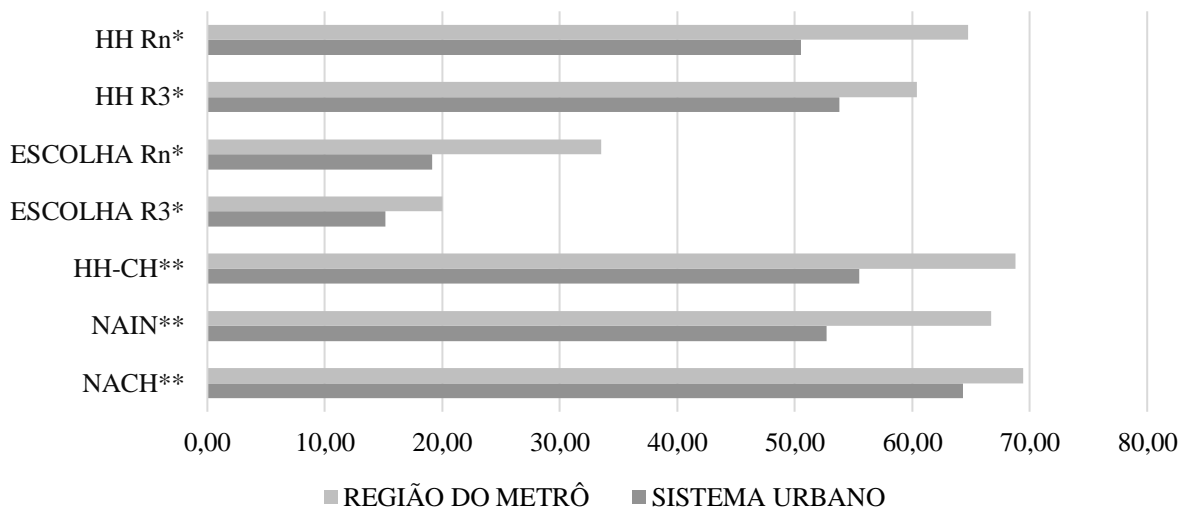
Figura 4.15 Densidade de quarteirões

4.2.3.3 CONFIGURAÇÃO TOPOLÓGICA

Os valores médios das variáveis topológicas na região do metrô são mais altos que a média de seus valores para o sistema urbano (Gráf. 4.5), representação da centralidade e acessibilidade topológica das zonas servidas por esse modo de transporte. As variáveis calculadas em mapa de segmentos apresentam valores médios superiores às calculadas em mapa axial.

As variáveis de integração axial global (HH Rn, Fig. 4.16) e integração angular normalizada (NAIN, Fig. 4.21) apresentam valores médios cerca de 27% maiores na região do metrô, indicativo da concentração de zonas de alta acessibilidade do sistema urbano. A variável de integração axial local (HH R3, Fig. 4.17), os eixos mais integrados nos aspectos locais, aponta para a existência de valores superiores da variável até 1,5 desvio-padrão nas zonas servidas pelo metrô.

Gráfico 4.5 Valores médios das variáveis de configuração topológica



*Variáveis calculadas em mapa axial

**Variáveis calculadas em mapa de segmentos

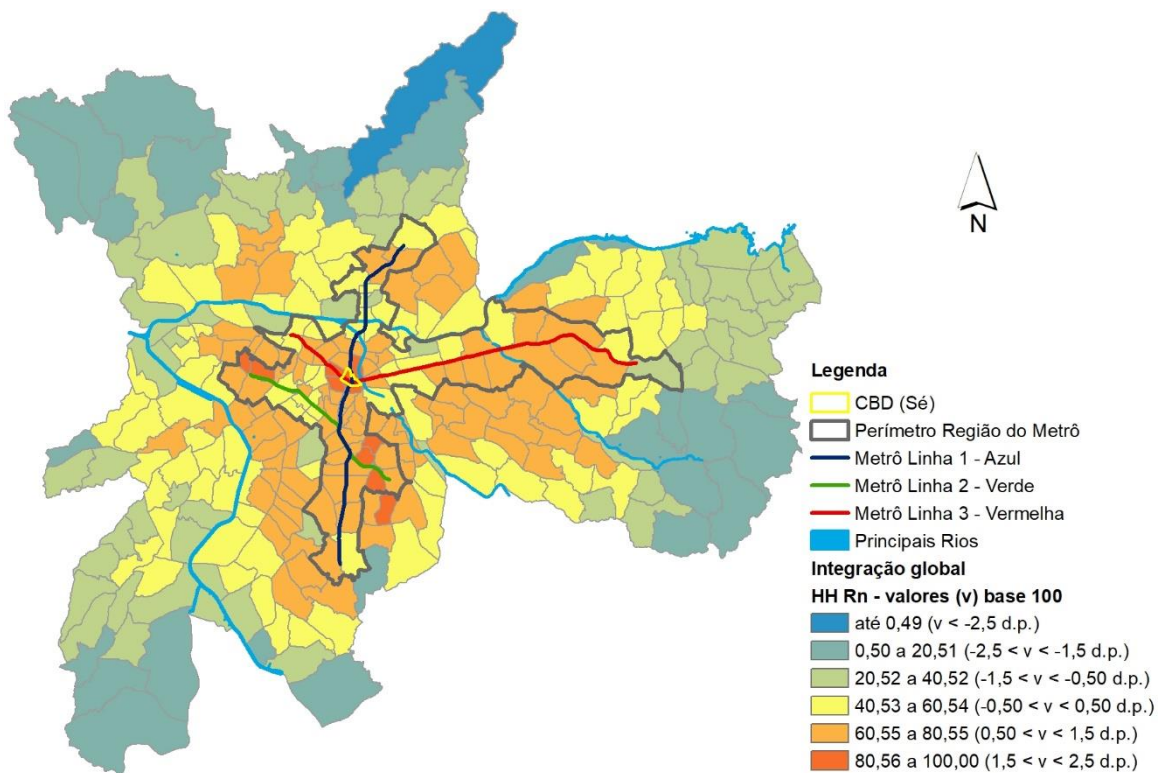


Figura 4.16 Integração axial global (HH Rn)

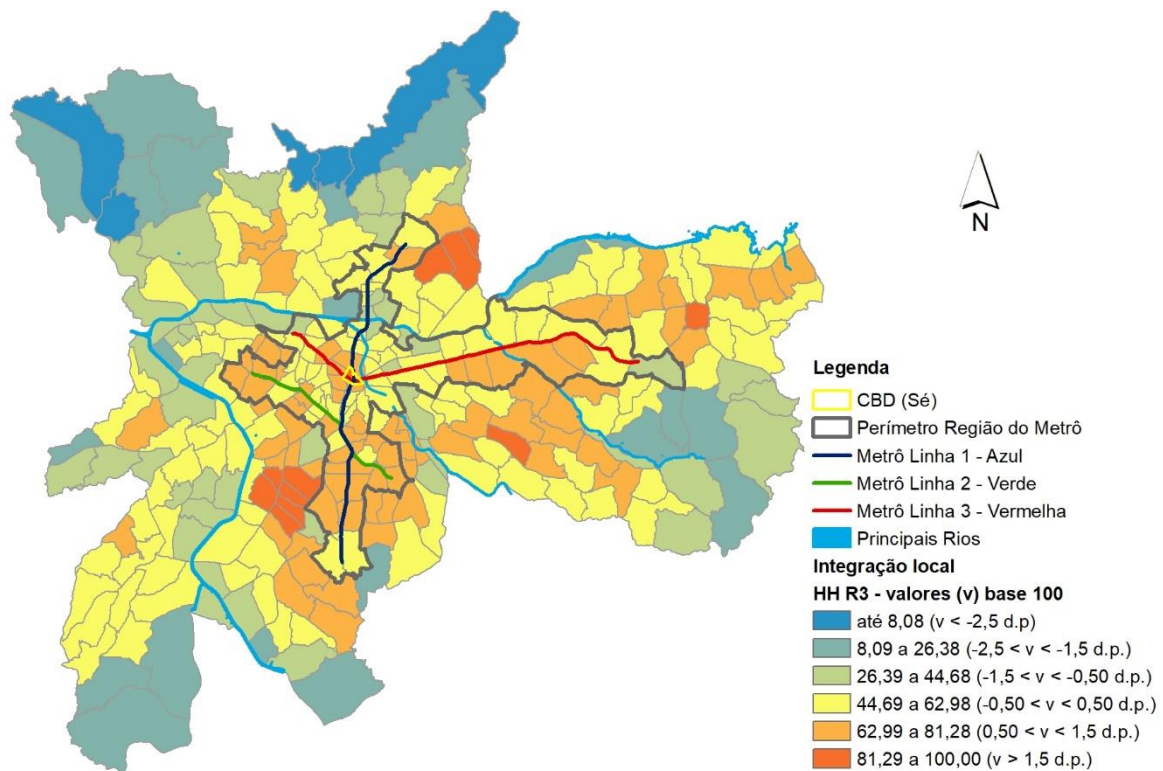


Figura 4.17 Integração axial local (HH R3)

A variável de escolha global (Escolha Rn, Fig. 4.18), indicativa dos eixos com maior potencial em ser parte de um deslocamento entre dois pontos no sistema, apresenta valores médios 75% superiores à média do sistema geral, indicativo de que a região concentre as vias de maior potencial de circulação da sua centralidade. A variável escolha angular normalizada (NACH, Fig. 4.22) apresentou valores médios pouco superiores, cerca de 8% maiores na região do metrô. A região do metrô apresenta zonas com valores da variável escolha local (Escolha R3, Fig. 4.19), eixos com maior potencial de serem parte de um deslocamento nos aspectos locais, cerca de 32% maiores que do sistema urbano geral.

A medida combinada integração e escolha (HH CH, Fig. 4.20), indicativa do potencial de um segmento ser ao mesmo tempo destino e parte de um percurso nos deslocamentos pela rede, apresenta valor médio 24% maior na região do metrô. A seção 5.2 apresenta o resultado dos testes de significância estatística para a escolha das variáveis de pesquisa, entre elas a que melhor represente os aspectos de acessibilidade topológica e comportamento de viagens no modelo de análise.

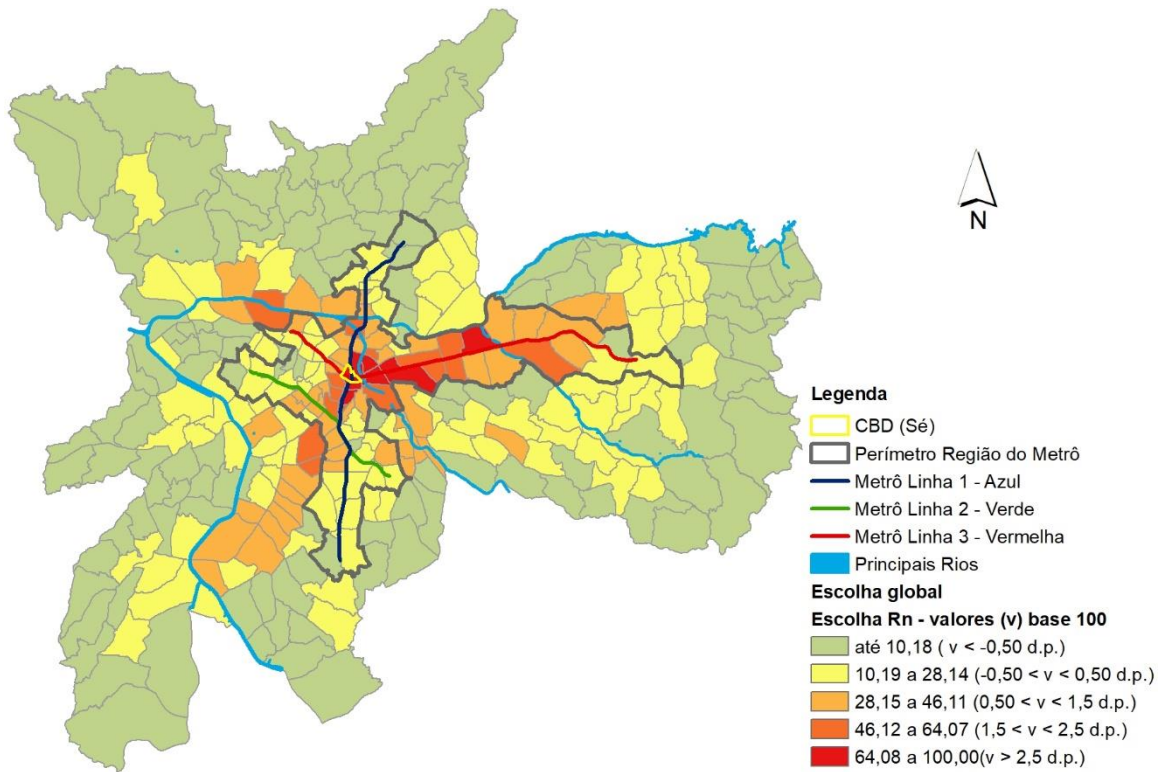


Figura 4.18 Escolha axial global (Escolha Rn)

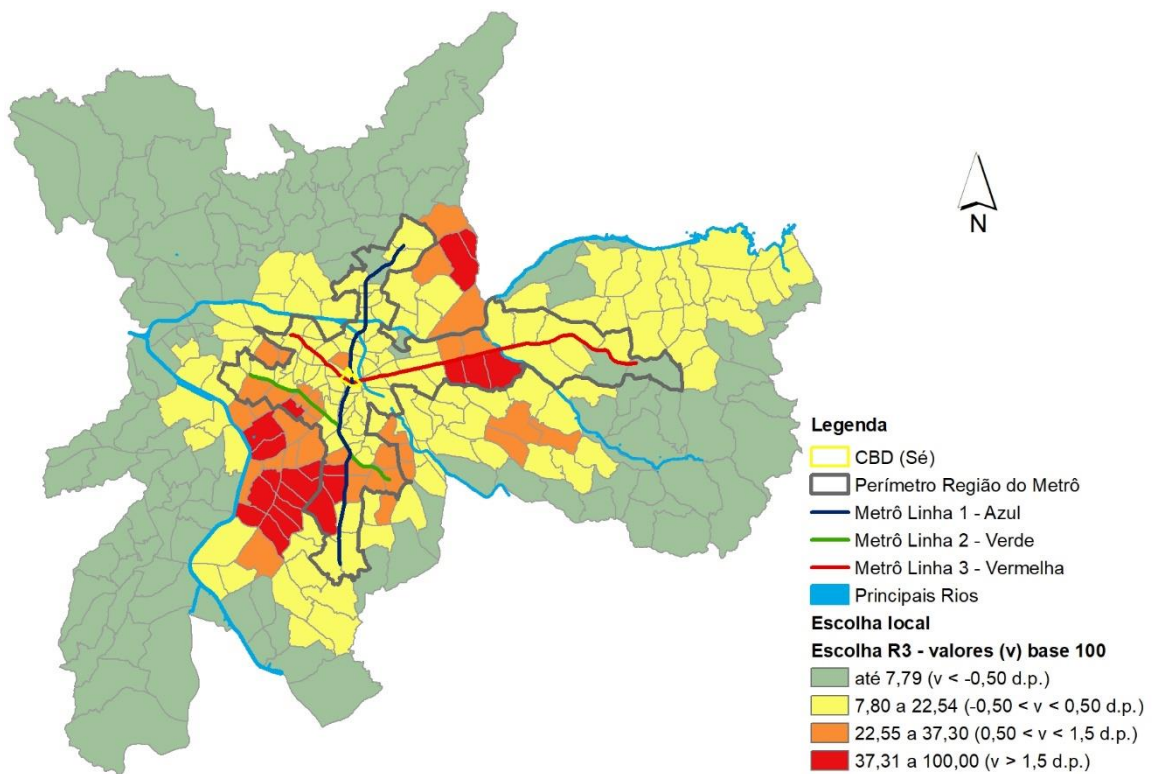


Figura 4.19 Escolha axial local (Escolha R3)

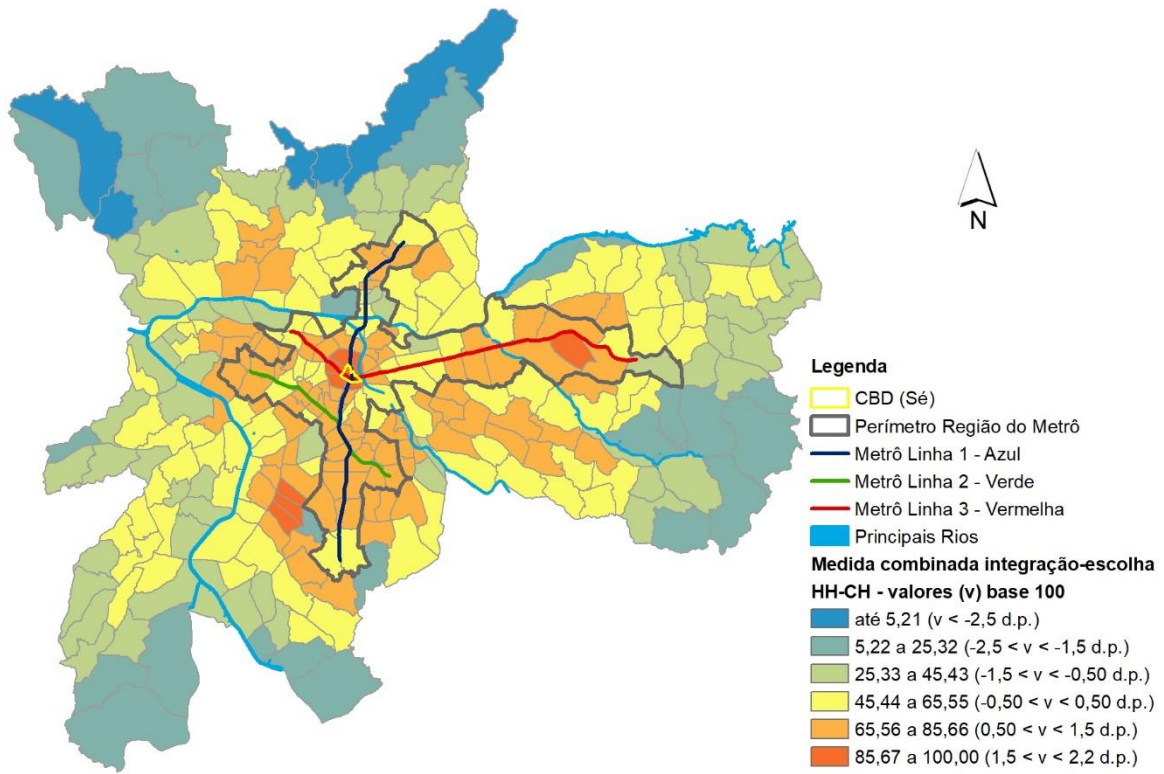


Figura 4.20 Medida combinada integração e escolha (HH CH)

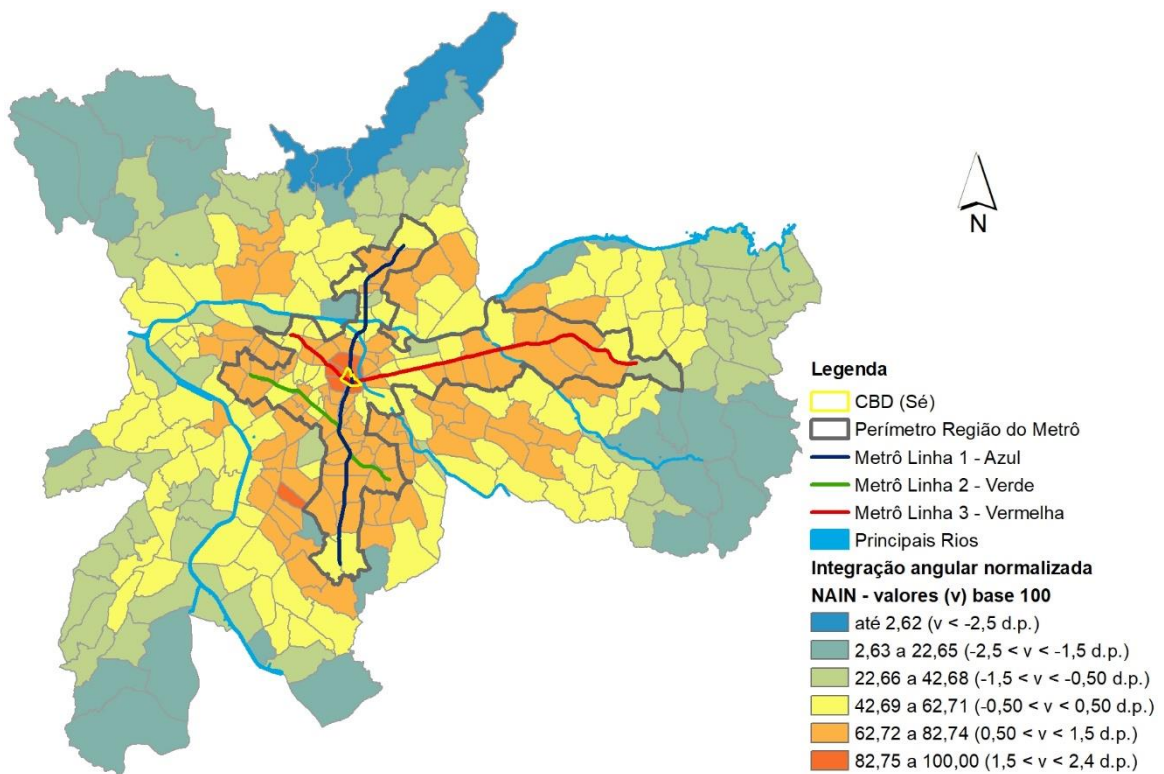


Figura 4.21 Integração angular normalizada (NAIN)

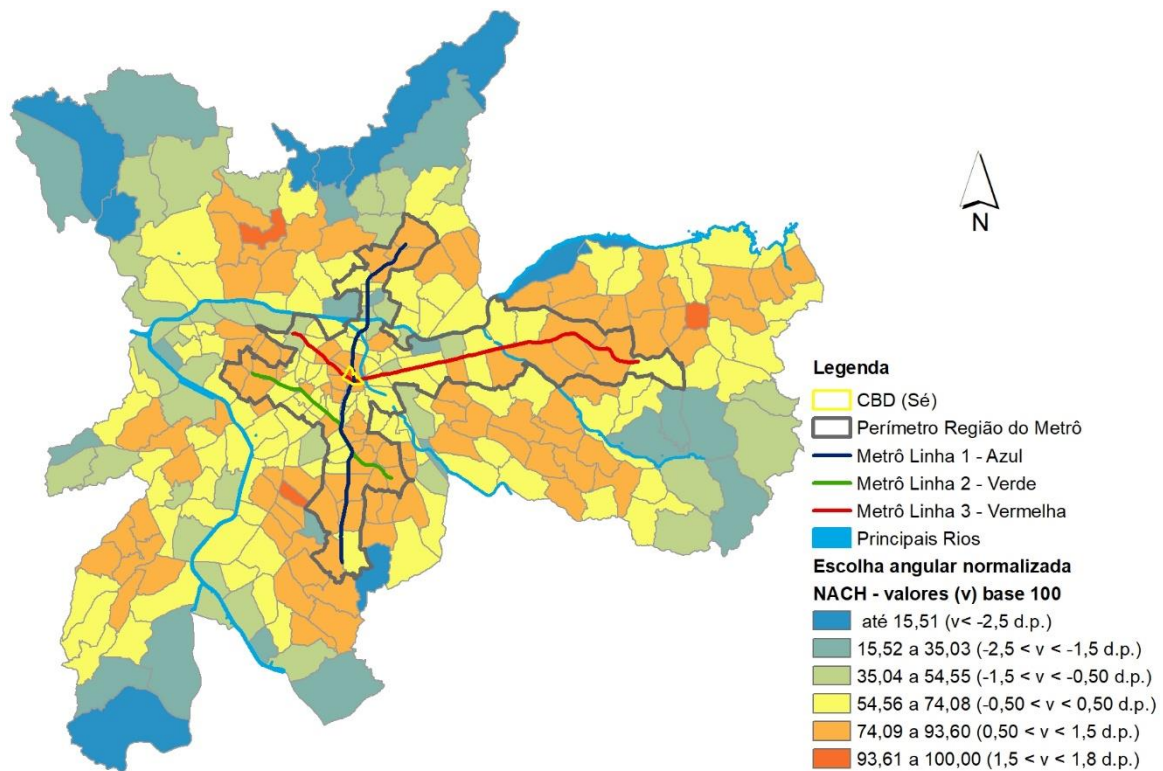


Figura 4.22 Escolha angular normalizada (NACH)

4.3 TÓPICOS CONCLUSIVOS

A espacialização das variáveis nas zonas de tráfego permitiu a caracterização visual do sistema urbano de estudo. O metrô serve à região de maior concentração de empregos e atividades, o centro expandido da cidade de São Paulo, as zonas de melhor acessibilidade do sistema. A análise da Sintaxe Espacial permitiu a caracterização do movimento potencial associado às localizações, proporcionado pela configuração topológica de sua rede de caminhos. O processo de transposição dos valores médios das variáveis do grafo, representativo da topologia dessa rede, nas zonas de tráfego permite a correlação das qualidades da rede viária, calculadas matematicamente, com os dados socioeconômicos e de transportes associados à essas zonas.

A análise visual da distribuição das variáveis da pesquisa aponta para concentrações de atividades e ocupação sensivelmente mais altas na região do metrô, considerando os valores médios em estado bruto, sugestivos de certo grau de dependência espacial (seção 3.3.6), calculada por meio de ferramentas da estatística espacial, seção 5.1.

5 MODELO DE ANÁLISE

O objetivo do capítulo é a seleção das variáveis que, associadas, sejam explicativas das densidades de viagens geradas associadas às diferentes localizações, para aplicação de modelo de regressão ponderada espacialmente (GWR). Desta forma, foram aplicadas as ferramentas e métodos discutidos no capítulo 3, para seleção do modelo de análise, que parte da densidade de viagens como função de variáveis representativas dos aspectos teóricos discutidos no capítulo 2.

5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS ESPACIAIS (ESDA)

A análise exploratória de dados espaciais (ESDA) utiliza um conjunto de ferramentas que auxiliam na compreensão do grau de dependência espacial das variáveis e orienta o modelo a ser aplicado na caracterização do fenômeno. O sistema urbano compreende um conjunto de dados discretos espacialmente localizados que, para o estudo de suas relações, é necessário definir a estrutura de vizinhança a ser utilizada na construção da matriz de proximidade espacial (seção 3.3.6.1). A pesquisa conceitua como vizinhas as unidades espaciais com limites contíguos. A unidade espacial de agregação dos dados, as zonas de tráfego, possuem dimensões distintas para garantir seus aspectos de homogeneidade de uso do solo. Arbitrar uma distância fixa para os vizinhos pode mascarar relações existentes entre as unidades, conferindo um padrão homogêneo subjacente ao espaço que pode não ser a representação da realidade. As análises foram elaboradas em SIG, na ferramenta ESRI® ArcMap™, versão 10.5.

5.1.1 ÍNDICE DE MORAN GLOBAL (I)

O Índice de Moran Global (I), indica o grau de associação espacial existente no conjunto de dados, por meio da verificação da correlação entre o valor de uma variável no espaço e a média do valor dessa variável entre seus vizinhos. Valores próximos de zero indicam ausência de correlação espacial significativa, ou seja, os valores das variáveis estão distribuídos no espaço de forma aleatória, sem associação espacial aparente. Valores positivos indicam correlação positiva, o valor da variável tende a ser semelhante ao dos seus vizinhos. Valores negativos, por sua vez, indicam correlação espacial negativa. Os valores do índice calculado para cada uma das variáveis são apresentados na Tabela 5.1:

Tabela 5.1 Índice de Moran Global (*I*)

VARIÁVEL	ÍNDICE DE MORAN GLOBAL (<i>I</i>)
Densidade de empregos	0,619
Densidade de população	0,470
Renda per capita	0,730
Densidade de viagens	0,644
Densidade de viagens modo coletivo	0,584
Densidade de viagens modo individual	0,665
Densidade de viagens modo metrô	0,538
% viagens modo metrô	0,671
Altura média edificações	0,676
Densidade de quarteirões	0,465
Integração HH Rn	0,722
Integração HH R3	0,582
Escolha Rn	0,690
Escolha R3	0,690
HH CH	0,655
NAIN	0,685
NACH	0,502

**p*-valor>0,01

O índice apresenta correlação positiva para todas as variáveis, indicativo da existência de associação espacial desses valores. Chama atenção o alto valor do índice para a variável renda per capita, indicativo de alta segregação social no território urbano. A densidade de empregos apresenta maior correlação do que a densidade de população, sugestivo de maior concentração dos empregos em regiões específicas e maior diversidade de locais de habitação. Entre as variáveis de configuração geométrica, a altura média das edificações apresenta maior grau de correlação do que densidade de quarteirões, as regiões com edifícios mais altos tendem a se concentrar mais próximo, e vice-versa. Entre as variáveis de configuração topológica, os maiores valores de correlação espacial estão entre as variáveis axiais.

5.1.2 ÍNDICE DE MORAN LOCAL

O Índice de Moran Local é a decomposição do Índice de Moran Global (*I*), indica o padrão de agrupamento espacial dos valores das variáveis das unidades básicas do estudo. Sua distribuição

é apresentada graficamente nas figuras a seguir, onde é possível fazer a leitura do grau de relacionamento entre os valores da variável e a média dos valores dos seus vizinhos, identificando agrupamentos de áreas com valores de variáveis semelhantes e/ou discrepantes.

A análise da distribuição das variáveis do estudo aponta para a influência do CBD (o centro histórico) e dos principais rios, Pinheiros (a oeste do CBD) e Tietê (ao norte do CBD), na distribuição das concentrações pela cidade. A literatura conceitua centralidades como concentrações de empregos significativamente maiores que os locais vizinhos, com efeito significativo na distribuição geral de empregos do sistema geral (seção 2.3.2). A pesquisa utiliza a variável geração de viagens na investigação das centralidades, capaz de refletir as demais características inerentes aos subcentros: i) simbolismo; ii) acessibilidade; iii) concentração de pessoas e de atividades e iv) valorização do solo (Kneib, 2008).

A distribuição da variável densidade de empregos (Fig. 5.1) aponta para a formação da subcentralidade que compreende as zonas da Vila Olímpia, Chácara Itaim e Berrini. A variável geração de viagens (Fig. 5.4) não sugere a presença de subcentralidades expressivas na estrutura urbana. A distribuição das duas variáveis reforçam a noção de centro expandido, com alta concentração de atividades, irradiado a partir do CBD em direção à porção sudoeste da cidade. A expansão do centro é limitada por bairros residenciais de alta renda nos quadrantes oeste, sul e sudeste, e pelas antigas zonas industriais nos quadrantes norte e nordeste. Essa região apresenta alta densidade de viagens geradas em transporte individual (Fig. 5.5), ainda que seja bem servida por modos de transporte coletivo (Fig. 5.6).

A distribuição das principais concentrações de população (Fig. 5.2) e de renda per capita (Fig. 5.3) são reflexo da segregação social na cidade de São Paulo. As regiões centrais, de melhor acessibilidade, concentram a população de maior renda, enquanto as concentrações periféricas são formadas pela população de menor renda. Podemos observar que as regiões vizinhas ao CBD não aparentam atrativas para a população de renda mais alta. As regiões atravessadas pelos rios Pinheiros e Tietê, ladeados por importantes vias expressas de circulação, conformam um cinturão de baixa densidade populacional, sugestivo de áreas pouco favoráveis às moradias.

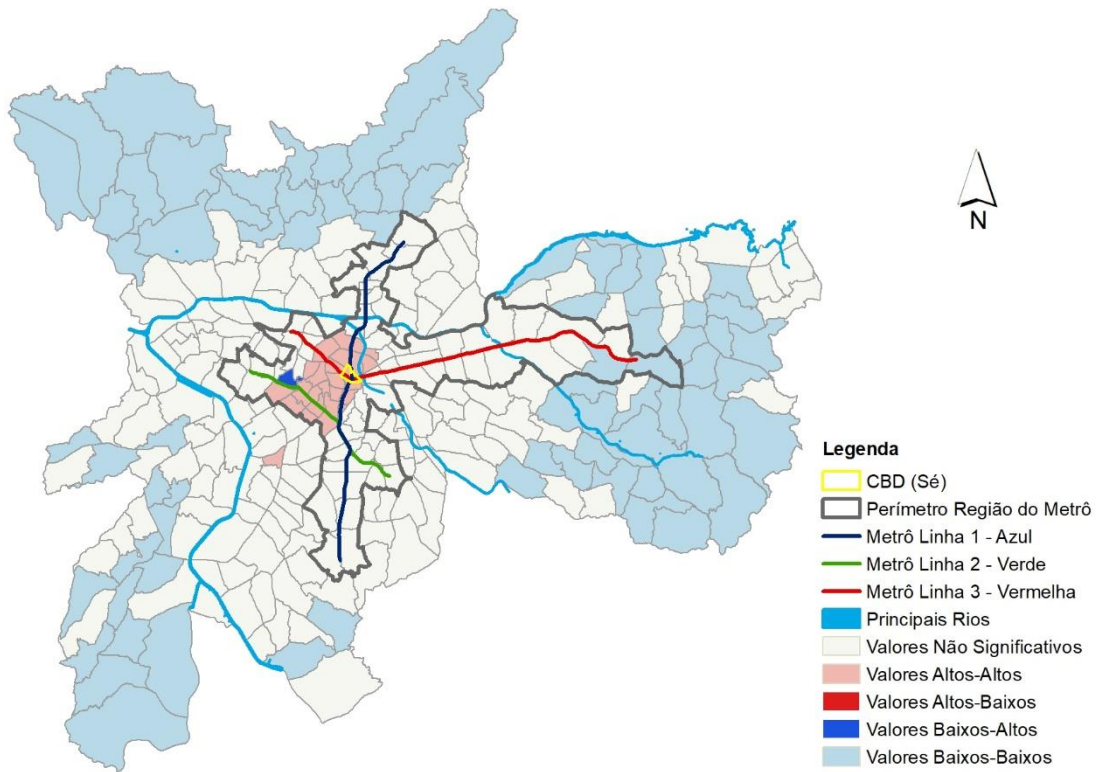


Figura 5.1 Distribuição densidade de empregos

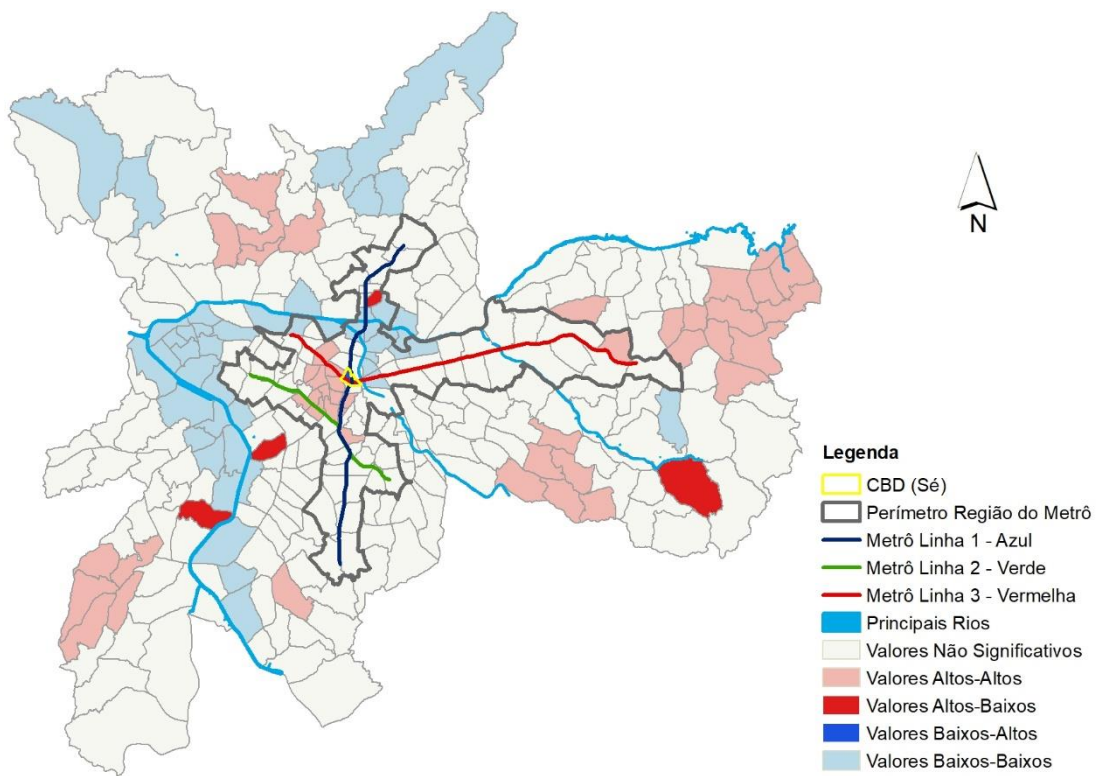


Figura 5.2 Distribuição densidade população

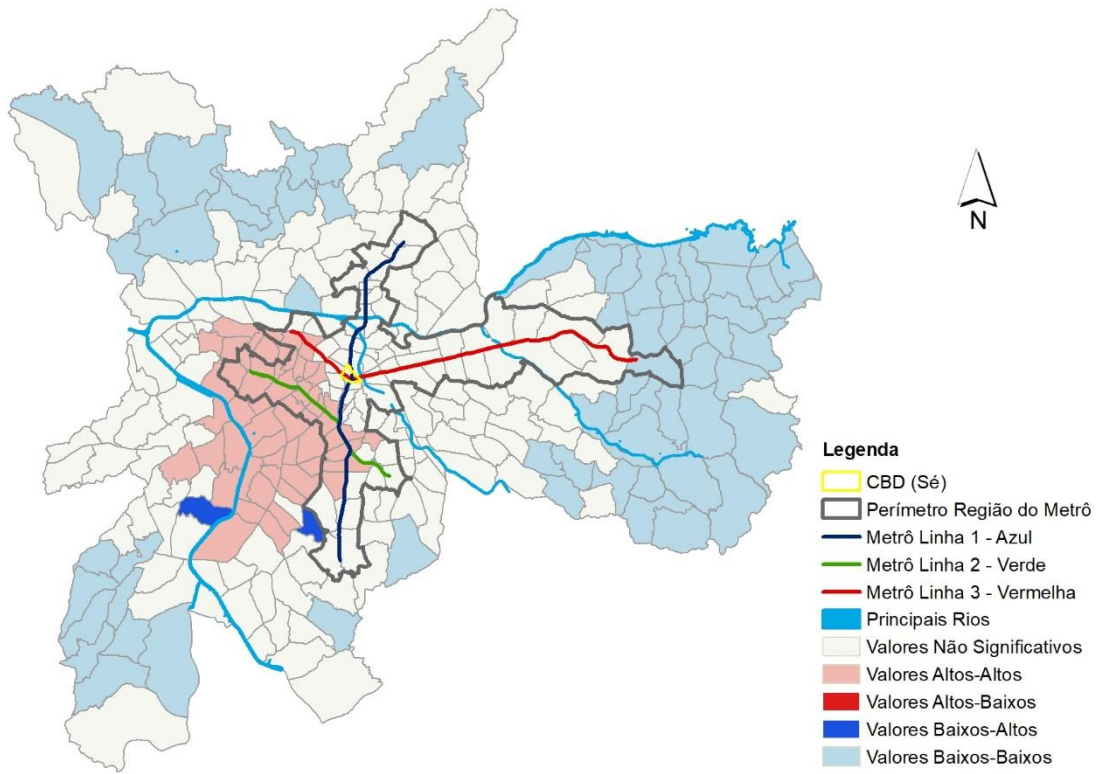


Figura 5.3 Distribuição renda per capita

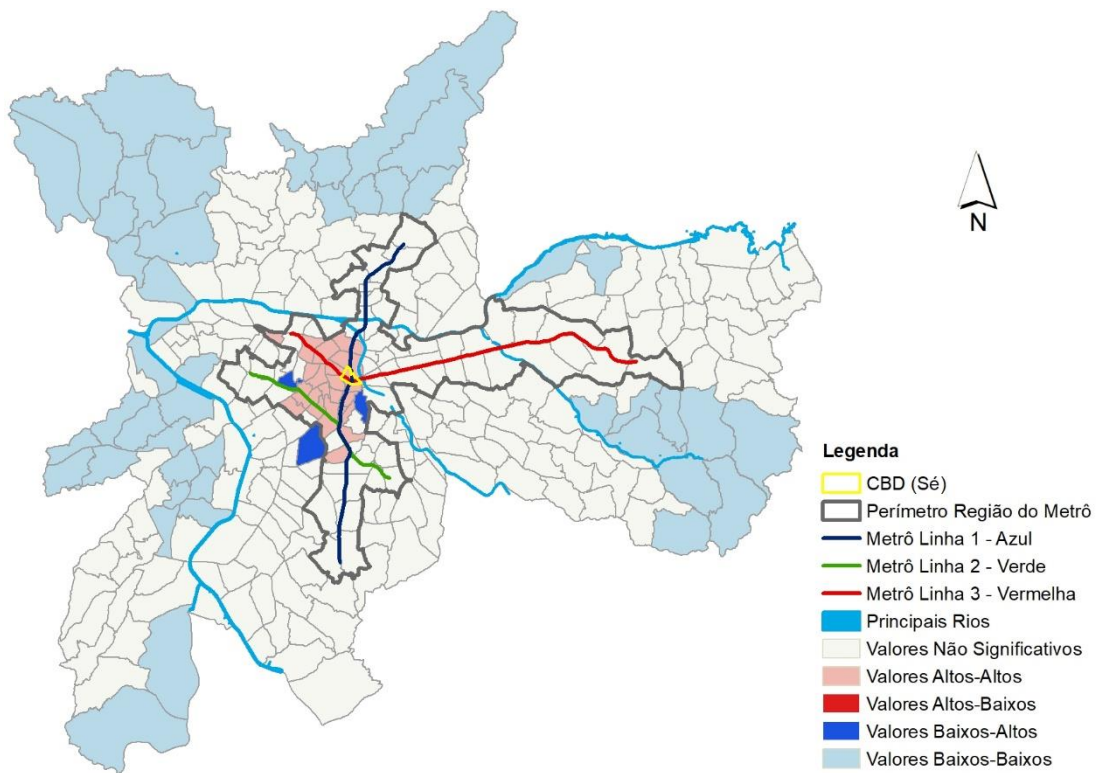


Figura 5.4 Distribuição densidade de viagens geradas (todos os modos)

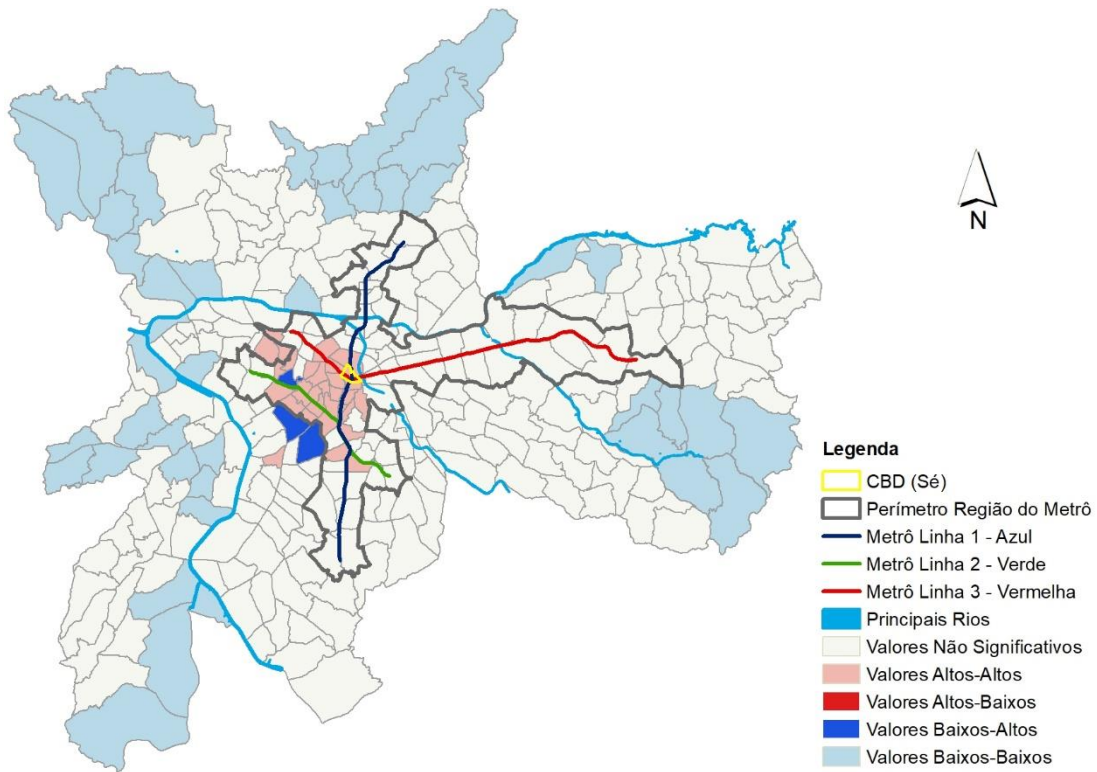


Figura 5.5 Distribuição densidade de viagens geradas em modo individual

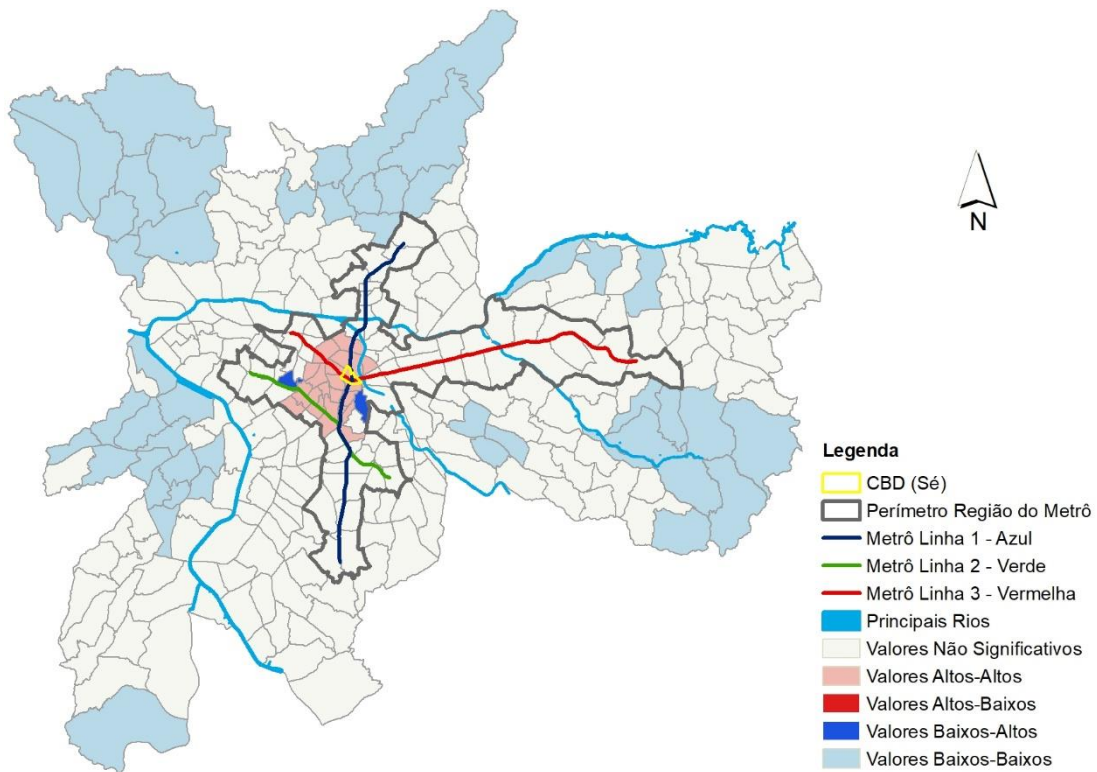


Figura 5.6 Distribuição densidade de viagens geradas em modo coletivo

O sistema de metrô não serve diretamente as zonas de moradia da população de menor renda do sistema urbano (Fig. 5.3), enquanto se percebe a presença de grande parte das zonas com população de maior renda em áreas servidas por este modo de transporte, indicativo de maior valorização dos imóveis nas regiões de melhor acessibilidade. A maior densidade de viagens em modo metrô (Fig. 5.7), bem como de transporte individual e coletivo (Fig. 5.5 e Fig 5.6) está associada às zonas de maiores densidades de empregos (Fig. 5.1). O maior percentual de utilização do metrô como modo de transporte principal (Fig. 5.8), como o esperado, está na região diretamente servida por este modo de transporte, sobretudo na região do centro expandido.

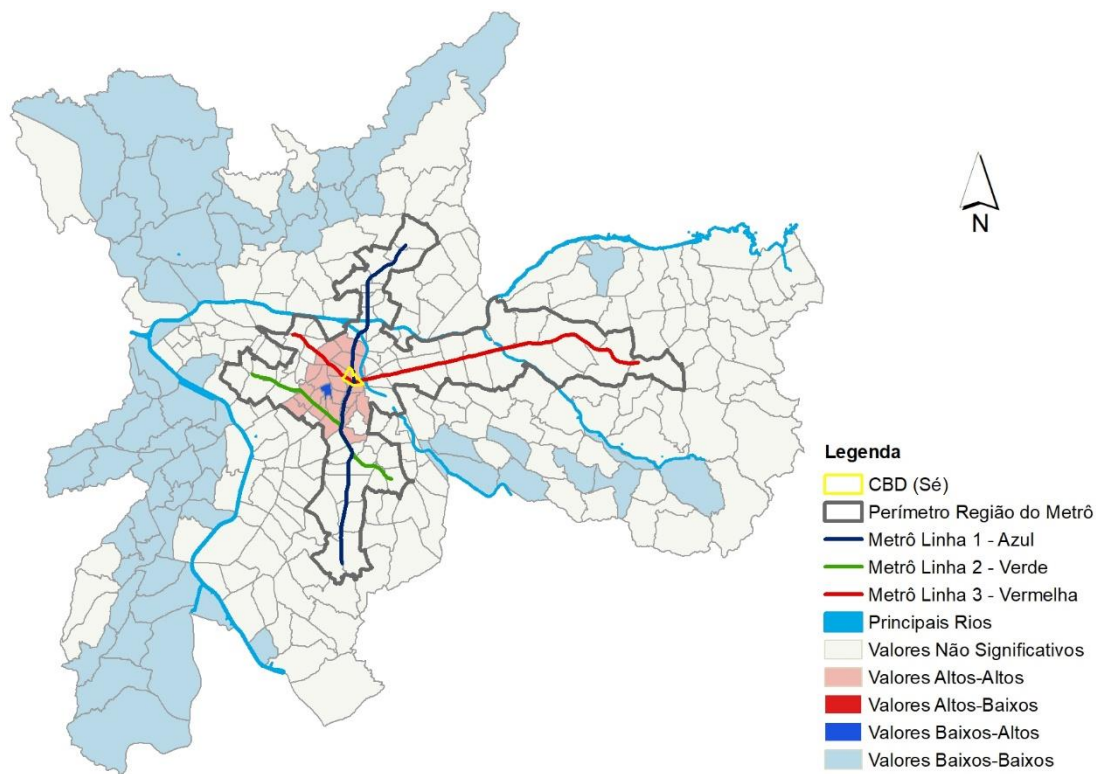


Figura 5.7 Distribuição densidade de viagens em modo metrô

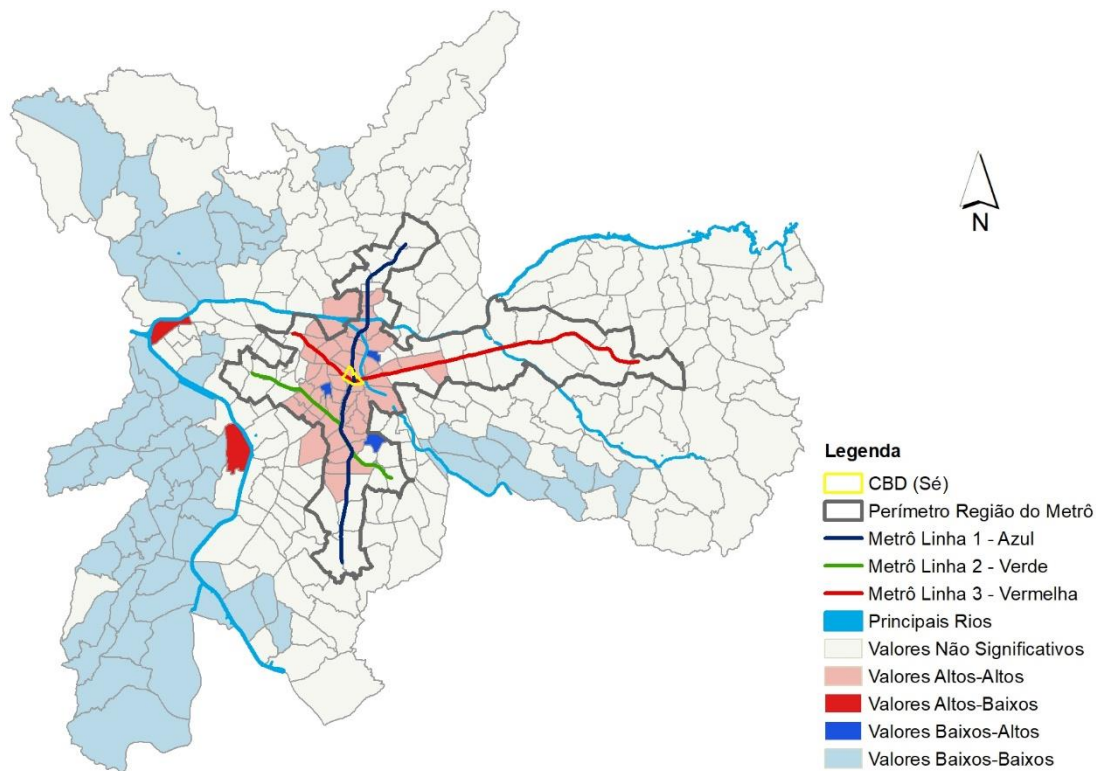


Figura 5.8 Distribuição percentual de viagens geradas modo metrô

A distribuição da variável altura média das edificações (Fig. 5.9) está fortemente associada às concentrações de empregos e geração de viagens, indicativo de paisagem mais verticalizada nas centralidades urbanas. A variável também aponta para as ocupações verticais de população de alta renda, da zona dos Jardins, imediatamente após o perímetro da região do metrô. A verticalização segue em direção à Vila Olímpia, atravessando outro bairro de população de alta renda, Vila Nova Conceição. A zona correspondente ao Parque do Ibirapuera foi identificada de forma equivocada, sugestivo de falha no cálculo da variável neste local. A variável proposta pela pesquisa consegue refletir o perfil de ocupação distinto entre as regiões centrais, mais verticalizadas, e a periferia de baixa renda, predominantemente horizontal.

A variável densidade de quarteirões (Fig. 5.10) aparenta pouco poder explicativo, mas pode identificar padrões locais diferenciados de ocupação. Quarteirões menores favorecem o deslocamento de pedestres, porém, quarteirões muito reduzidos não permitem empreendimentos capazes de concentrar maior número de usos e atividades em um mesmo local.

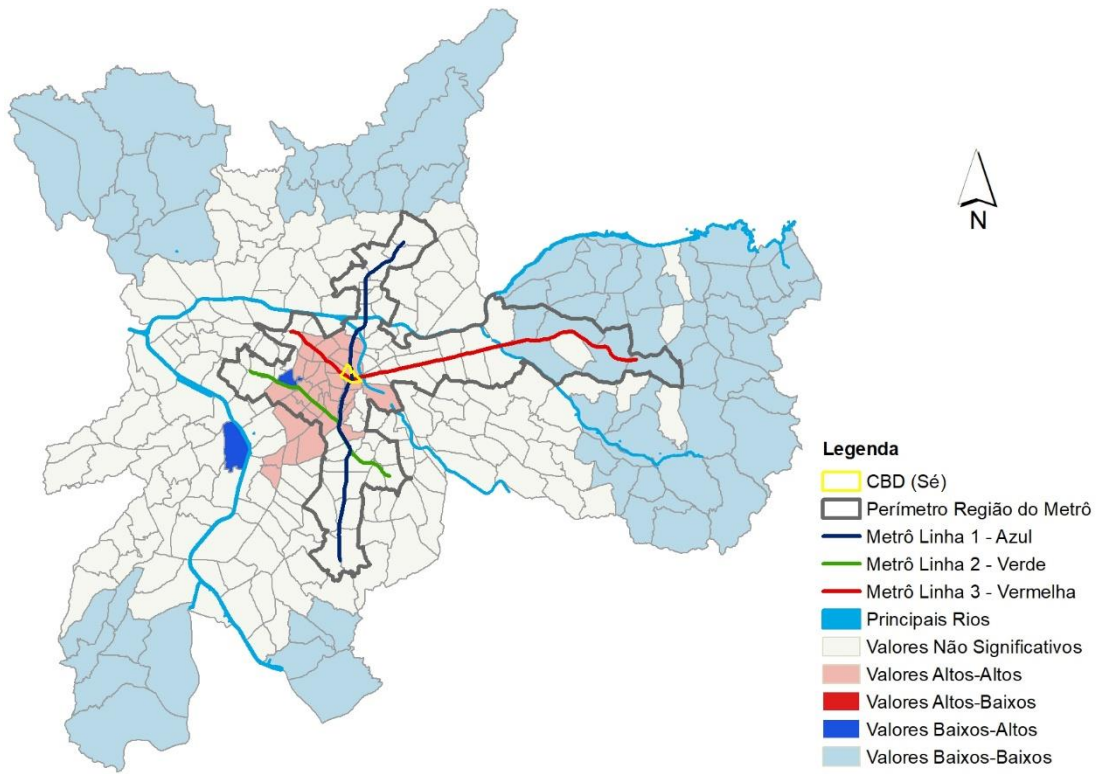


Figura 5.9 Distribuição altura média das edificações

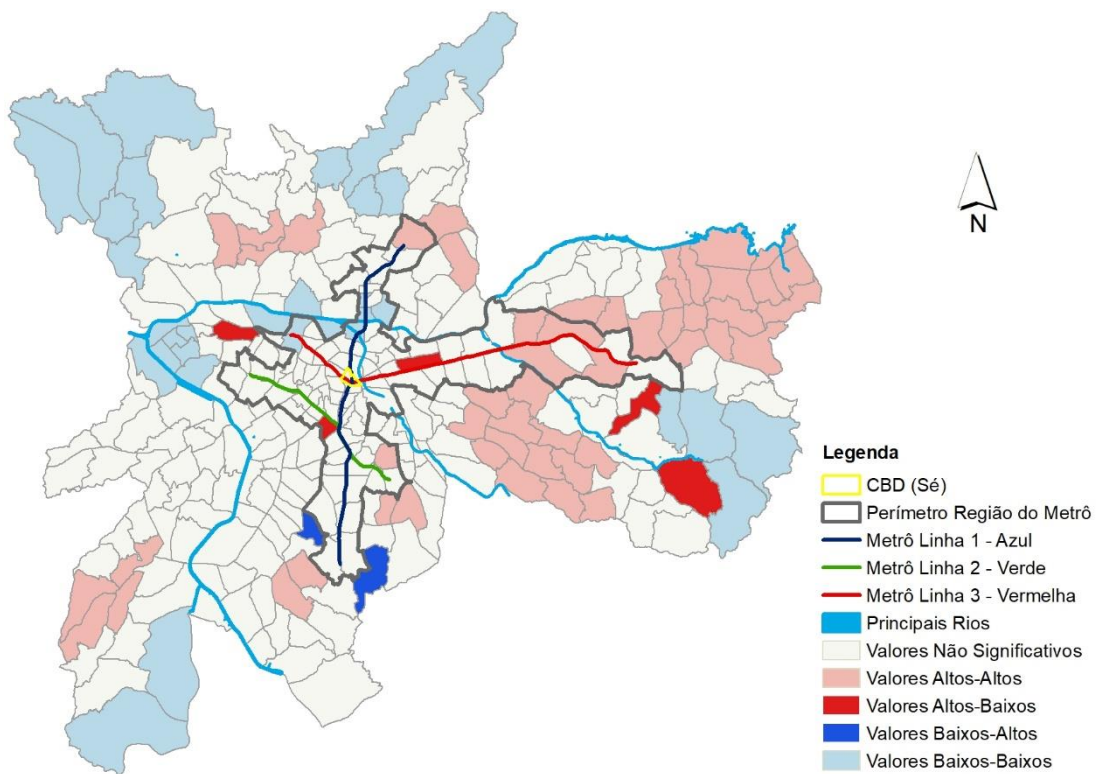


Figura 5.10 Distribuição densidade de bairros

As variáveis de configuração topológica lidas por meio da Sintaxe Espacial reforçam a noção de centros como áreas acessíveis. A análise visual identifica associação entre zonas de maiores valores das variáveis integração axial global (HH Rn, Fig. 5.11), medida combinada integração e escolha angular (HH CH, Fig. 5.15) e integração angular normalizada (NAIN, Fig. 5.16) com as zonas de maior concentração de empregos (Fig. 5.1) e de geração de viagens (Fig. 5.4), variáveis associadas às centralidades urbanas.

A variável de escolha axial global (Escolha Rn), ainda que agregada em zonas de tráfego, conseguiu indicar importantes eixos de circulação da cidade. As zonas servidas pela Avenida Radial Leste, ao longo da Linha 3 – Vermelha, e o corredor de ligação norte-sul ao longo do mais central da Linha 1 – Azul, conforme trecho eixo de ligação norte-sul que atravessa o CBD, foram identificadas (Fig. 5.13). A variável escolha angular normalizada (NACH, Fig. 5.17) agregada nas zonas de tráfego, não apresentou o mesmo poder de identificação das zonas servidas por importantes eixos viários como a variável axial.

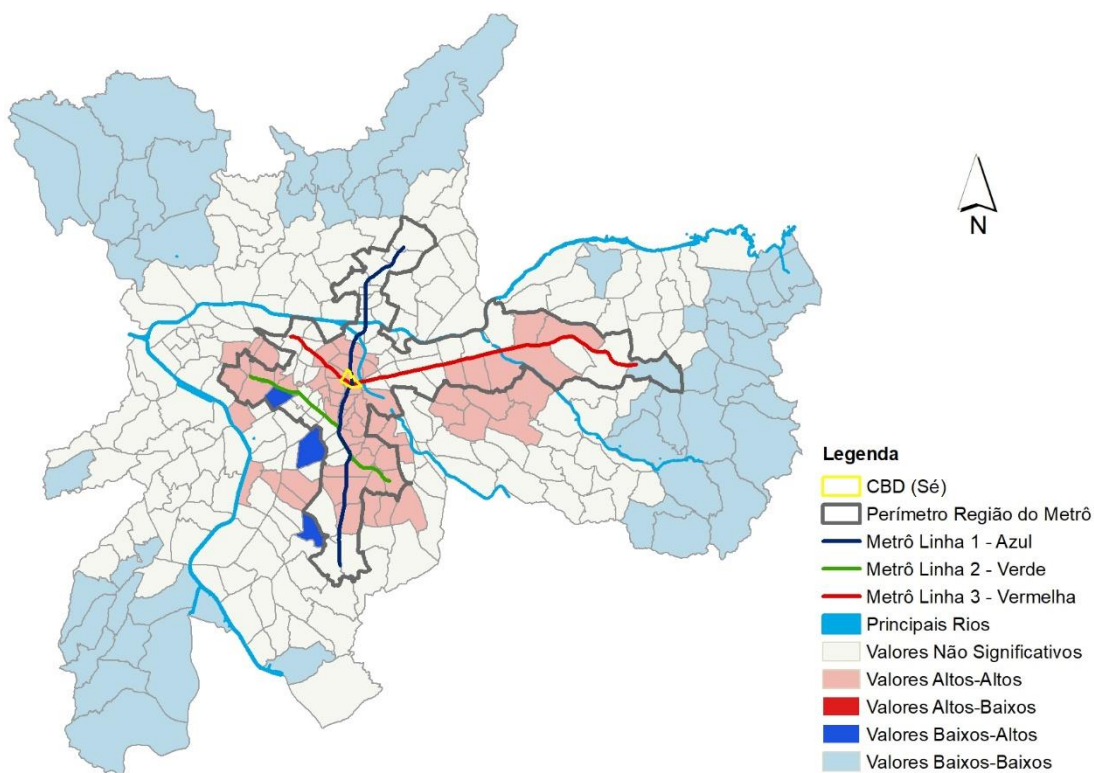


Figura 5.11 Distribuição integração axial global (HH Rn)

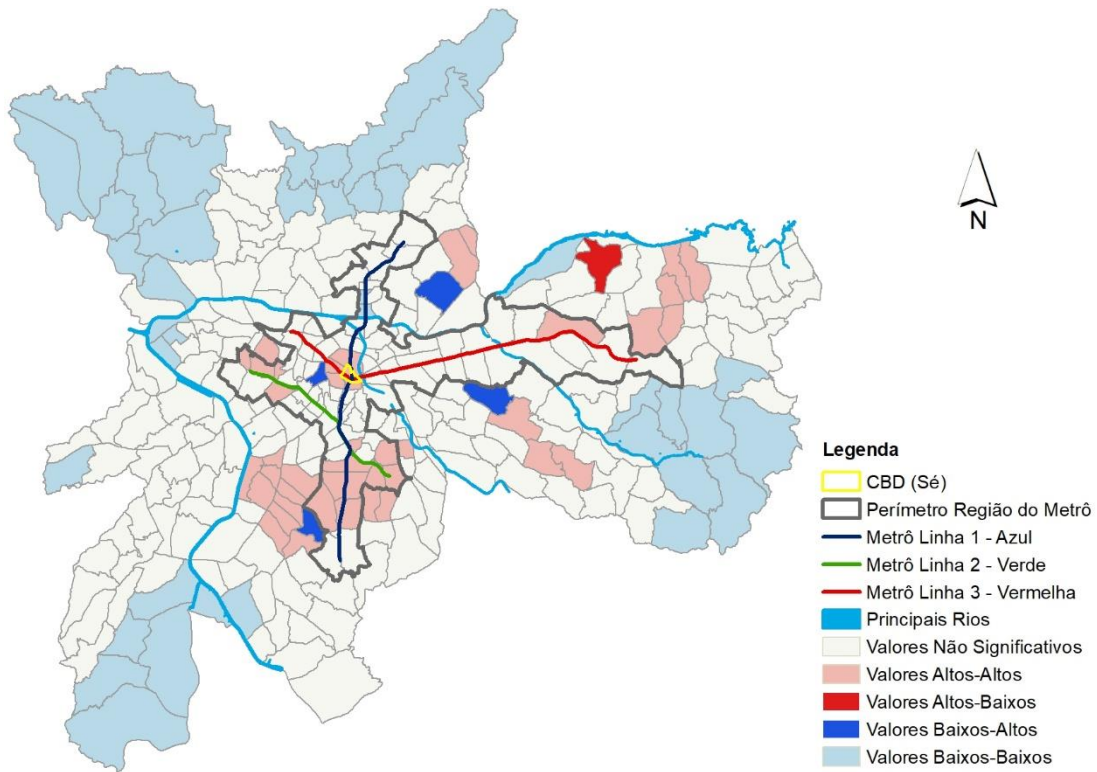


Figura 5.12 Distribuição integração axial local (HH R3)

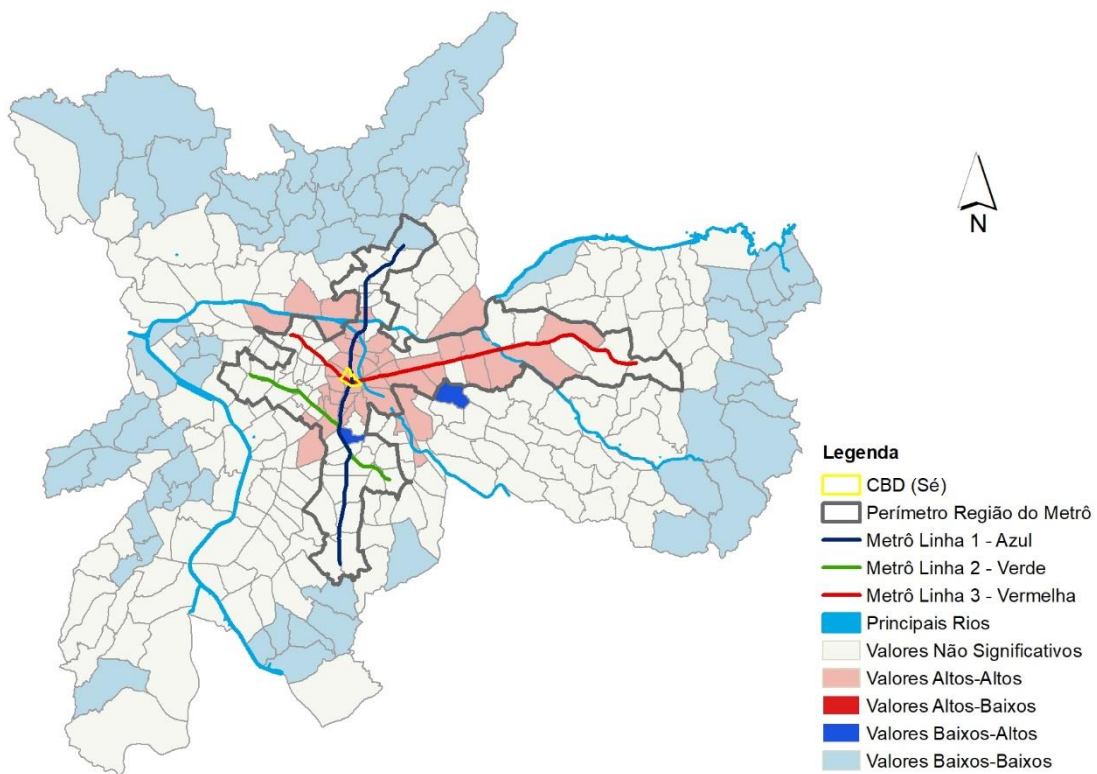


Figura 5.13 Distribuição escolha axial global (Escolha Rn)

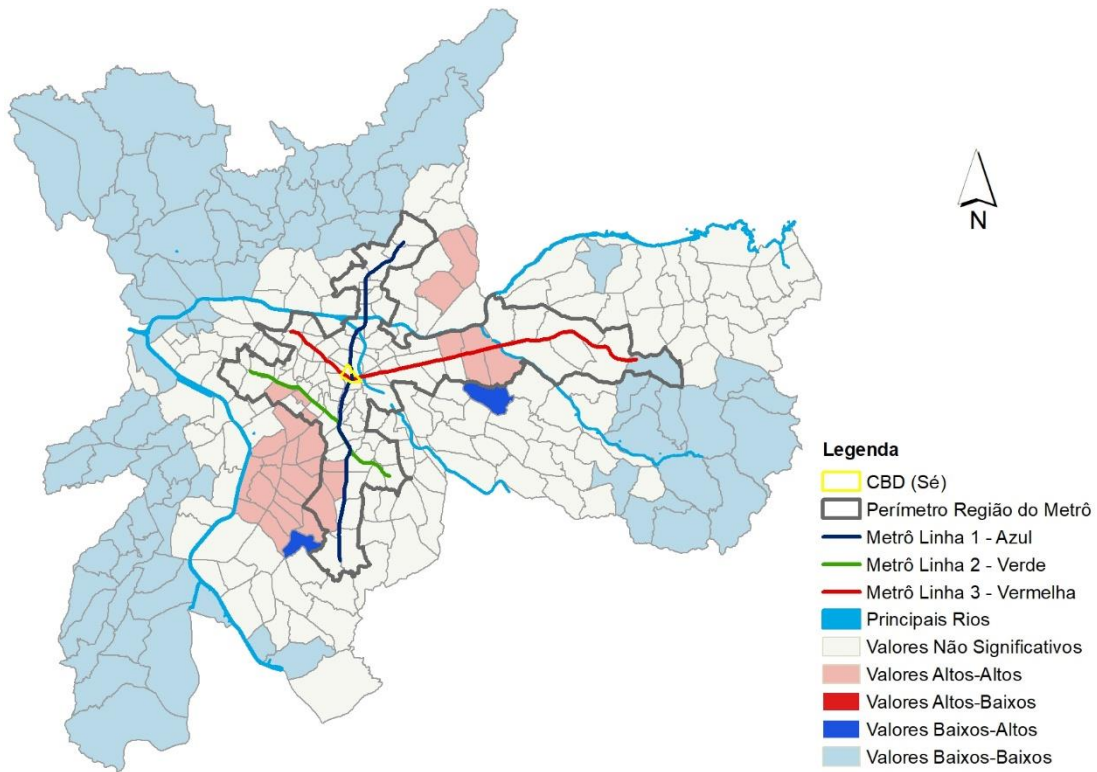


Figura 5.14 Distribuição escolha local (Escolha R3)

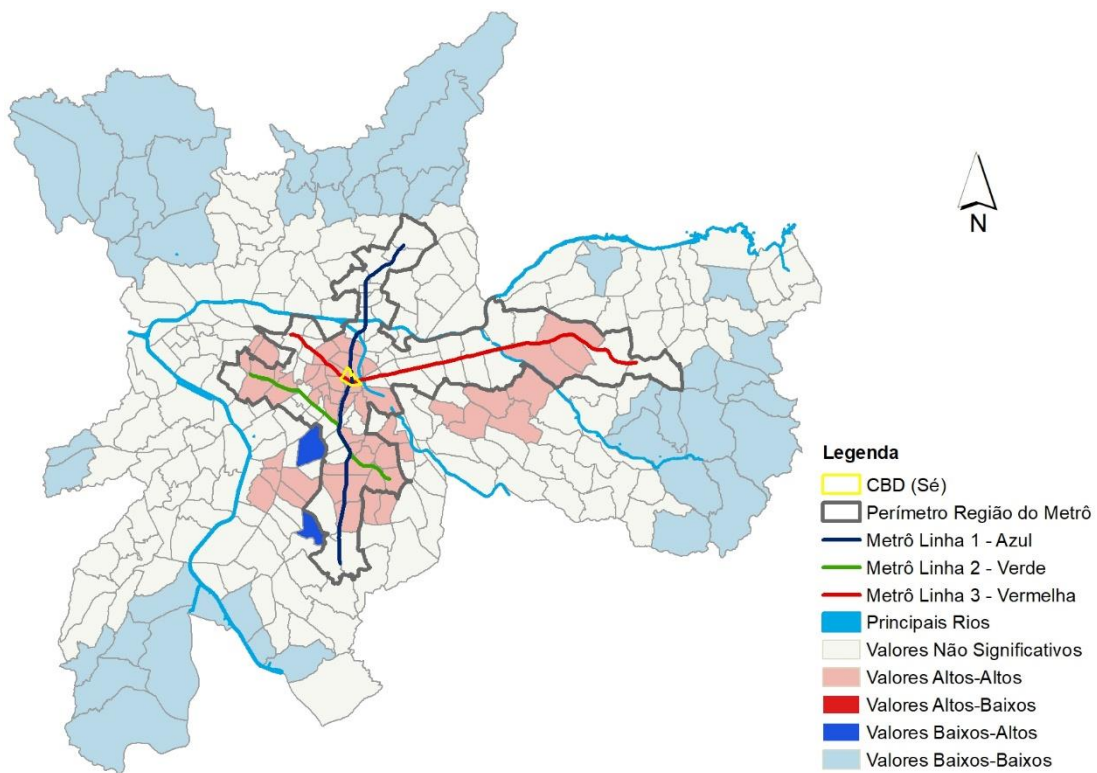


Figura 5.15 Distribuição medida combinada integração e escolha angular (HH CH)

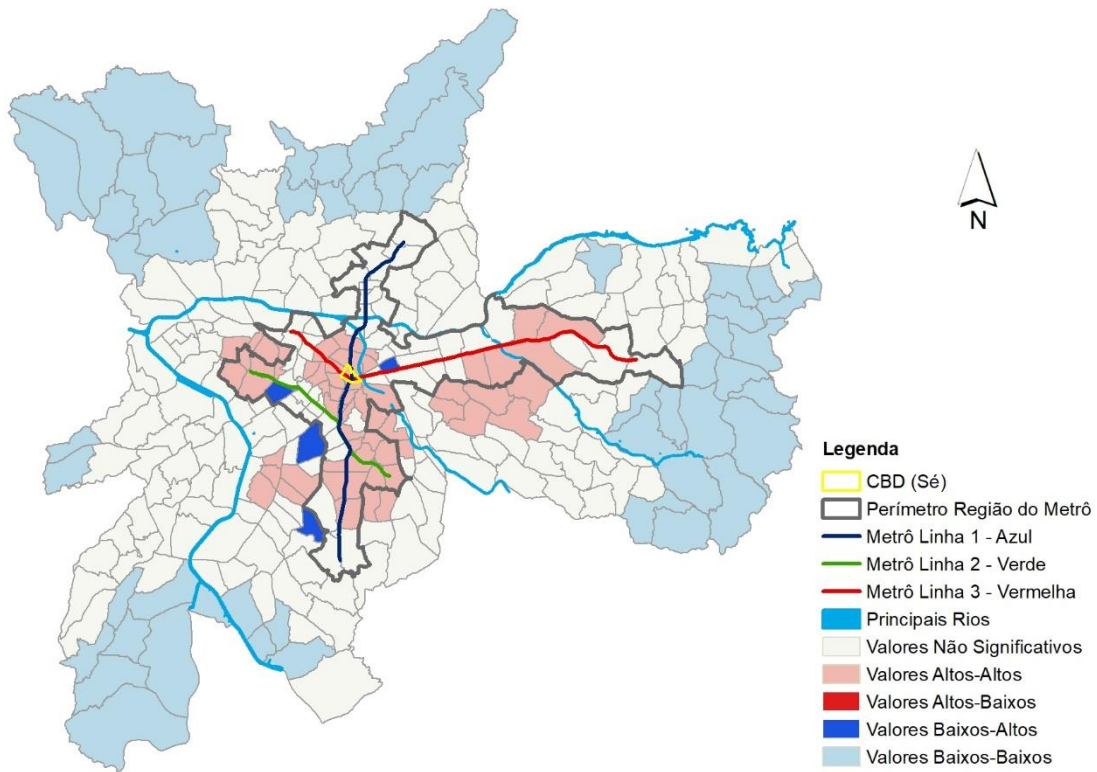


Figura 5.16 Distribuição integração angular normalizada (NAIN)

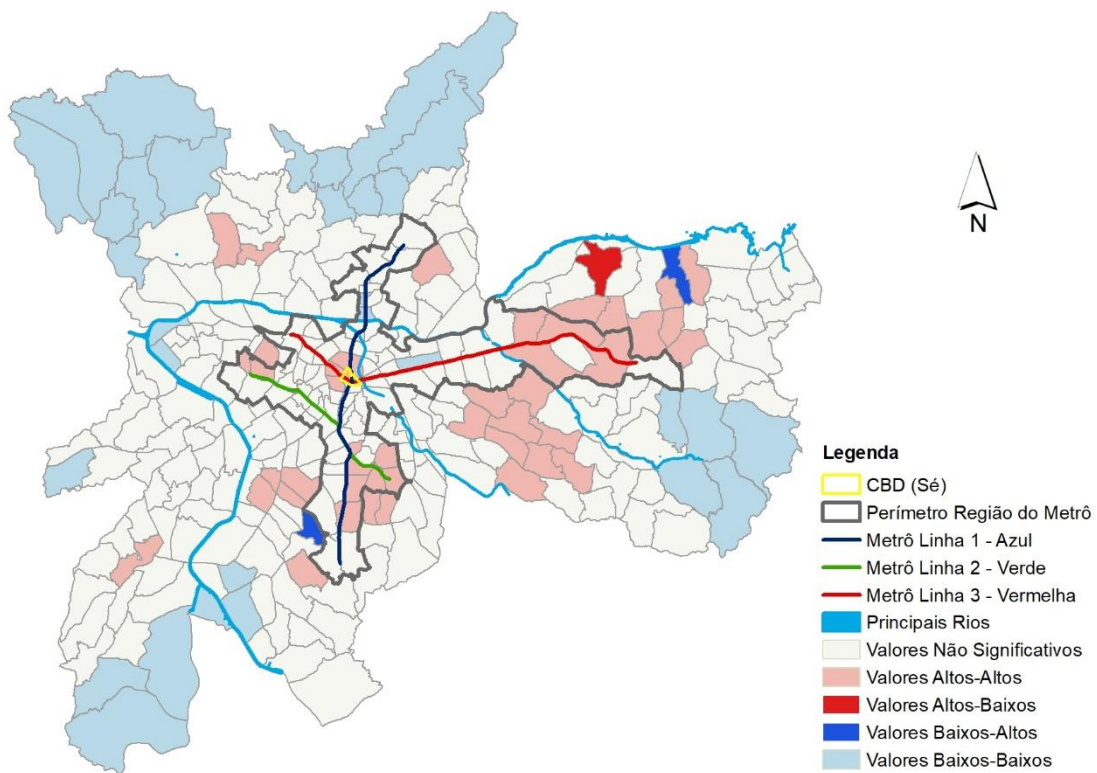


Figura 5.17 Distribuição escolha angular normalizada (NACH)

5.2 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS

Esta etapa compreende na avaliação preliminar do comportamento das relações entre as variáveis selecionadas. Para seleção das variáveis que irão constituir o modelo de análise foi realizada uma análise de regressão simples (OLS), ponderando os resíduos espacialmente (ESRI, 2017a). Este processo verifica a significância estatística de cada possível associação entre as variáveis, em um modelo global que aplica uma única equação de regressão a todas as unidades da amostra.

A pesquisa parte da variável densidade de geração de viagens como variável dependente, as centralidades, tratadas em seus aspectos de produção e atração de viagens, indicativo da magnitude de acessibilidade e atratividade de uma região. É representação indireta das concentrações de atividades de uma determinada zona, resultado do potencial de movimento promovido por sua malha viária, sistemas de transportes e posição relativa no sistema urbano. A utilização da variável densidade de empregos, como em muitas pesquisas sobre centralidades, pode não captar corretamente a diversidade de usos em um local, uma das premissas da pesquisa.

Foi testada a significância estatística de 6475 combinações possíveis entre as variáveis aqui estudadas, associadas de uma a seis em equações de regressão, excluídas as variáveis indicativas de geração de viagens nos diversos modos de transportes. A análise testou ainda a variável *distância ao CBD* (McMillen & McDonald, 1997, McMillen, 2001; Readfern, 2007; Lee, 2007). A ferramenta SIG utilizada fornece um relatório detalhado dos resultados dos testes¹³, apresentando os modelos mais significativos para cada uma das associações, de uma a seis das variáveis (Tab. 5.2).

¹³ Para definições dos testes estatísticos ver ESRI (2017b).

Tabela 5.2 Significância estatística da associação das variáveis

Nº	R ² AJUST.	AICc	JB	K (BP)	VIF	AS	VARIÁVEIS						
1	0,88	4.203,44	0,00	0,00	1,00	0,00	+D. EMP.						
2	0,63	4.546,94	0,00	0,00	1,00	0,00	+H. ED.						
3	0,48	4.654,68	0,00	0,00	1,00	0,00	+% METRÔ						
4	0,93	4.056,55	0,00	0,00	1,01	0,00	+D. POP.	+D. EMP					
5	0,90	4.140,91	0,00	0,00	1,04	0,00	+D. EMP.	+NACH					
6	0,90	4.147,12	0,00	0,00	1,10	0,00	+D.EMP.	+HH R3					
7	0,94	4.006,79	0,00	0,00	1,73	0,01	+D. POP.	+D. EMP	+% METRÔ				
8	0,93	4.038,81	0,00	0,00	1,30	0,00	+D. POP.	+D. EMP	+ESC. Rn				
9	0,93	4.041,08	0,00	0,00	1,37	0,00	+D. POP.	+D. EMP	-DIST. CBD				
10	0,94	4.000,35	0,00	0,00	1,84	0,01	+D. POP.	+D. EMP	+ % METRÔ	+HH CH			
11	0,94	4.000,99	0,00	0,00	1,80	0,01	+D. POP.	+D. EMP	+ % METRÔ	+HH R3			
12	0,94	4.001,54	0,00	0,00	1,82	0,02	+D. POP.	+D. EMP	+ % METRÔ	+NAIN			
13	0,94	3.991,58	0,00	0,00	4,60	0,18	+D. POP.	+D. EMP	+REND.	-H. ED.	+% METRÔ		
14	0,94	3.997,15	0,00	0,00	4,20	0,01	+D. POP.	+D. EMP	-H. ED.	+% METRÔ	+HH CH		
15	0,94	3.997,45	0,00	0,00	4,21	0,02	+D. POP.	+D. EMP	-H. ED.	+% METRÔ	-DIST. CBD		
16	0,94	3.948,43	0,00	0,00	6,05	0,14	+D. POP.	+D. EMP	-H. ED.	-D. QUART.	+% METRÔ	+HH R3	
17	0,94	3.990,80	0,00	0,00	4,74	0,20	+D. POP.	+D. EMP	+REND	-H. ED.	+% METRÔ	-DIST. CBD	
18	0,94	3.991,53	0,00	0,00	4,61	0,20	+D. POP.	+D. EMP	+REND	-H. ED.	+% METRÔ	+ESC. Rn	

Legenda:

D. POP – Densidade de população; D. EMP – Densidade de empregos; DIST. CBD – Distância ao CBD; % METRÔ – Percentual de viagens geradas modo metrô; H. ED. – Altura média das edificações; D. QUART. Densidade de quarteirões; REND. Renda per capita média; HH CH – Medida combinada integração e escolha angular; NAIN – Integração angular normalizada; NACH – Escolha angular normalizada; ESC Rn – Escolha axial global; HH R3 – Integração axial local.

Os fenômenos urbanos são resultado da associação de diferentes variáveis e condicionantes, sua compreensão requer abordagens que os contemplem como produto de um sistema complexo. Entre as diferentes equações de regressão apresentadas, as de maior significância estatística entre as combinações testadas reforçam essa qualidade. A associação de maior número de variáveis revela em maior grau a complexidade dos processos urbanos, aumenta o poder explicativo dos modelos (Ewing & Cervero, 2010; Batty, 2009; Roth *et al.*, 2011).

O passo seguinte foi a verificação das variáveis dos modelos quanto à adequação à teoria aplicada na pesquisa, discutida no capítulo 2. A variável de uso do solo mais significativa na

geração de viagens, densidade de empregos, é a que apresenta maior coeficiente de correlação isoladamente, explica 88% na variação da variável dependente. A variável altura média das edificações explica 63% na variação da geração de viagens, porém, associada a outras variáveis, apresentou variação negativa em sua variação. Desta forma, as equações propostas com essa variável foram desconsideradas. A variável percentual de viagens geradas modo metrô explica 48% da variação da variável dependente; o metrô, transporte de alta capacidade, atende às regiões de alta demanda por transportes, como observado nas análises do capítulo 4.

Os modelos de maior significância estatística associam as duas variáveis de uso do solo da pesquisa, densidade de população e densidade de empregos, como o esperado. São as variáveis de maior relevância na geração de viagens – a primeira indica os principais locais de origem dos movimentos urbanos, enquanto a segunda é sugestiva dos principais destinos em um sistema urbano. A associação equilibrada dessas variáveis vai ao encontro das diretrizes do TOD (seção 2.4.3.1), que estabelecem padrões de desenvolvimento urbano compacto por meio de zonas de uso misto que associem moradias, serviços e empregos em áreas servida por transporte de massa (Calthorpe, 1993).

A rede de transportes será representada pela variável *percentual de viagens geradas modo metrô*. Indicativa dos aspectos de escolha deste modo de transporte associados às diferentes localizações – origens e destinos - no sistema urbano, os aspectos de atratividade do modo de transporte e as concentrações de atividades nas suas imediações.

As variáveis topológicas e geométricas de configuração lidas a partir da Sintaxe Espacial são indicativas do potencial de movimento associado à malha viária, que pode ser correlacionado à diferentes tipos de uso do solo. Ao representar a magnitude das qualidades da malha urbana por meio da investigação dos aspectos geométricos e topológicos do sistema, se mostram relevantes nos modelos. Ao apresentar as zonas com maior potencial de movimento, revela o grau de acessibilidade potencial de uma zona em relação ao sistema urbano, aspecto associado às centralidades urbanas (Medeiros & Barros, 2014; Medeiros, 2013; Chiaradia *et al.*, 2009; Hillier, 1999; Alarcón, 2004). A pesquisa investiga as características de configuração associadas à geração de movimento, que implica em regiões de maior atratividade para o desenvolvimento de atividades no sistema urbano. As variáveis de configuração topológica estão presentes na grande maioria dos modelos da tabela 5.2, indicativo do potencial dessas

variáveis na explicação do fenômeno, que será representada no modelo por meio da variável medida combinada integração e escolha angular (HH CH).

A associação de variáveis que se mostra mais significativa para a análise, por meio dos critérios discutidos, é a de número 10, que se destacou, tanto por seu potencial poder explicativo quanto por associar as três dimensões do método proposto: (i) *uso do solo*, lido a partir das *variáveis densidade de população e densidade de empregos*; (ii) *rede de transportes*, lida por meio da variável *percentual de viagens geradas modo metrô* e (iii) medida combinada integração e escolha angular (HH CH). Modelos regressão simples como o OLS são úteis para avaliação preliminar do potencial da associação das variáveis na explicação da variável dependente, densidade de geração de viagens. Como a teoria apresentou, esses modelos não são capazes de captar com precisão as variações do fenômeno associadas às diferentes localizações, que será lida por meio do modelo GWR, regressão ponderada espacialmente, apresentado na próxima seção.

5.3 MODELO GWR DE GERAÇÃO DE VIAGENS

O modelo GWR trata as relações entre as variáveis localmente, cria uma equação diferente para cada feição da amostra da pesquisa. As relações no sistema urbano se processam de maneira diferente em cada local, o que é captado por essa categoria de modelos. A matriz de proximidade espacial é calculada por meio de um interpolador kernel, o que minimiza eventuais falhas de especificação do modelo. A análise utilizou um kernel do tipo adaptativo, o contexto espacial é função de um número específico de vizinhos, e não de uma distância determinada, o que permite compensar as variações de densidade das variáveis dentro do sistema.

O modelo proposto associa as variáveis (i) densidade de população, (ii) densidade de empregos (iii) percentual de viagens geradas modo metrô e (iv) medida combinada integração e escolha angular (HH CH) na compreensão da variável dependente geração de viagens.

A tabela 5.3 apresenta os resultados dos testes estatísticos aplicados ao modelo¹⁴:

¹⁴ Para detalhes sobre a interpretação dos resultados ver ESRI (2017c).

Tabela 5.3 Teste de significância estatística do modelo GWR

VARIÁVEL	VALOR	DESCRIÇÃO
Vizinhos	85	
Soma dos valores quadráticos dos resíduos	5.816.897,57	
<i>EffectiveNumber</i>	49,3254	
Sigma	149,9577	
AICc	39990,4799	
R ²	0,9534	
R ² Ajustado	0,9447	
Variável dependente	0	Densidade de viagens geradas
Variável explicativa	1	Densidade população
Variável explicativa	2	Densidade empregos
Variável explicativa	3	Altura média dos edifícios
Variável explicativa	4	Medida combinada integração e escolha (HH CH)

O modelo apresentou o coeficiente de correlação R² e R² ajustado em valor muito alto, o que pode significar um bom poder de predição ou erro de especificação do modelo, com a existência de autocorrelação espacial dos resíduos. Desta forma, foi testada a significância para a distribuição espacial dos resíduos da regressão, por meio do cálculo do Índice Global de Moran. Resíduos espacialmente correlacionados inviabilizam os resultados do modelo. O Índice Global de Moran aplicado aos resíduos de regressão apresentou valor de 0,027862, com *p-valor* da ordem de 0,378412, sugestivo de um padrão aleatório na distribuição da variável, o que confere significância estatística ao modelo.

O modelo de regressão capta áreas de instabilidade das variáveis, apontando para zonas com geração de viagens acima ou abaixo do seu potencial teórico calculado. Desta forma, possibilita a identificação de áreas com potencial de intensificação de uso.

O resultado da aplicação do modelo é apresentado na Fig. 5.18:

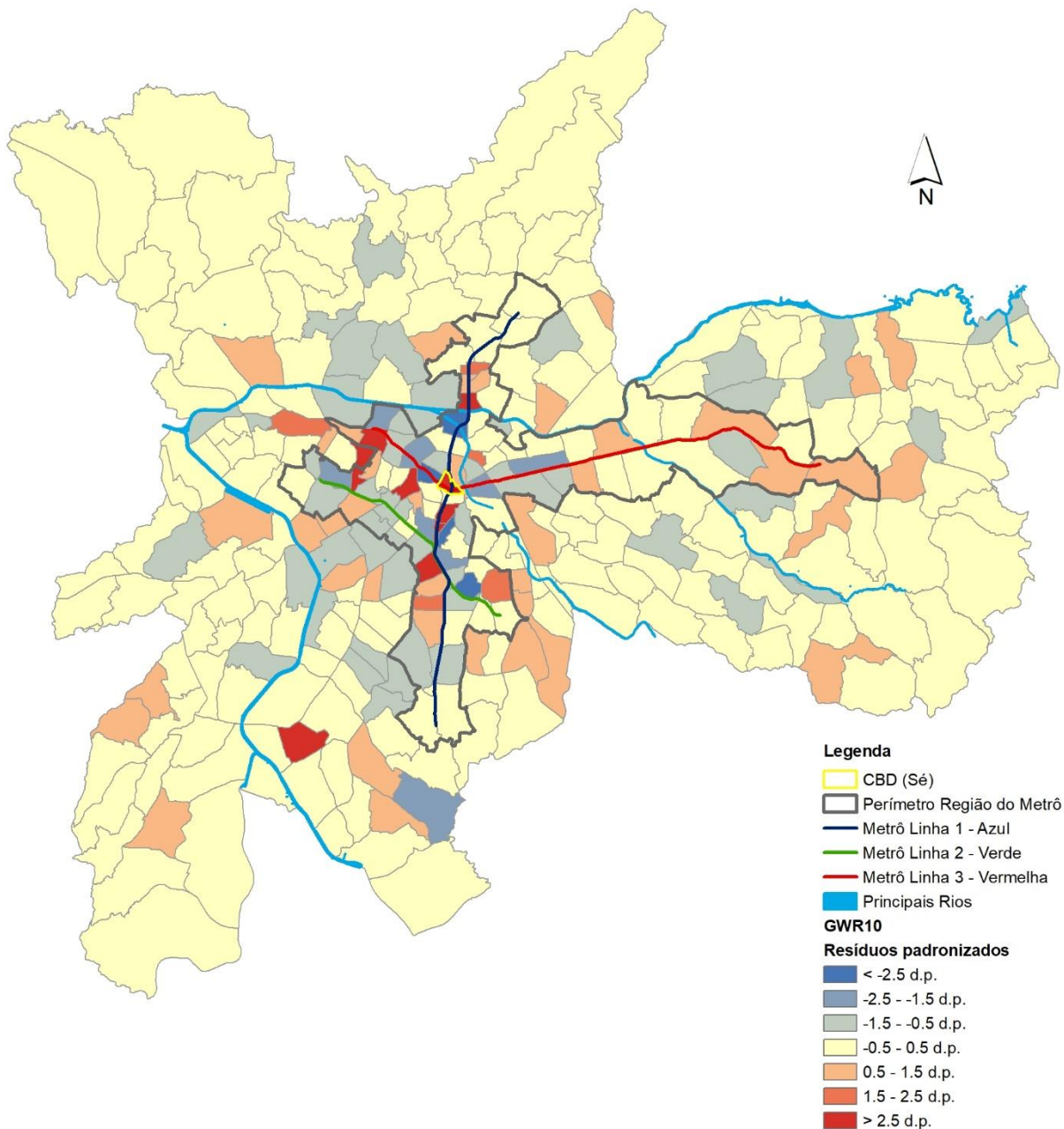


Figura 5.18 Aplicação do modelo GWR

Os resultados apresentam zonas de valores atípicos (*outliers*) positivos e negativos bastante concentrados na região do metrô. Valores negativos sugerem regiões com geração de viagens abaixo do potencial teórico do modelo, ou seja, áreas subutilizadas em seu potencial de geração de viagens, que podem ser objeto de incentivo ao desenvolvimento de novas atividades ou intensificação das atividades existentes. Por outro lado, zonas de valores atípicos positivos podem sugerir centralidades urbanas com atividades que geram importante quantidade de viagens, por outros motivos que não estejam considerados nos usos de solo propostos no

modelo - concentração de empregos ou de habitantes, ou ainda saturados, apresentando valores além de seu potencial teórico de geração de viagens.

O modelo permite a compreensão de como as variáveis selecionadas, combinadas, são responsáveis pela geração de viagens em uma determinada zona. Desta forma, serve como ferramenta auxiliar na identificação de locais potencialmente subutilizados que, por meio de uma análise aprofundada das características de uso e ocupação do solo, sistemas de transportes, bem como dos aspectos de configuração local, sejam objeto de planos e políticas de incentivo a novas atividades.

5.4 IDENTIFICAÇÃO DAS CENTRALIDADES

A pesquisa define centralidades como pontos focais capazes de exercer efeito significativo sobre a estrutura espacial urbana, que a pesquisa investiga por meio da variável densidade de geração de viagens. Desta forma, foi aplicado método com base em McMillen (2001) modificado, para identificação dos picos de concentração da variável em função da distância ao CBD, principal concentração de atividades que orienta e coordena o desenvolvimento e funcionamento do sistema urbano (Fig. 5.19).

Subcentros são resultado do desenvolvimento saudável das aglomerações urbanas, permite a manutenção de atividades e população nas zonas periféricas das cidades (Petersen, 2004). Deste modo, a identificação dessas zonas é condição fundamental para compreensão da dinâmica urbana e dos fluxos a ela associados. Os principais fluxos urbanos têm como destino os lugares de trabalho, o que os estudos exploratórios da seção 5.1.2 apontam para forte concentração na região conhecida como centro expandido, sem sugerir subcentralidades relevantes segundo os critérios aplicados. A regressão ponderada espacialmente capta essas variações com maior grau de refinamento.

A figura 5.19 identifica as concentrações dos picos de geração de viagens geradas ponderadas espacialmente, sugestivo de subcentralidades, zonas com resíduos de regressão positivos. As pesquisas sobre centralidades, discutidas no capítulo 3, identificam essas zonas por meio das concentrações de empregos. Assim, o método também foi utilizado para verificar o comportamento das concentrações dessa variável em função da distância do CBD (Fig. 20).

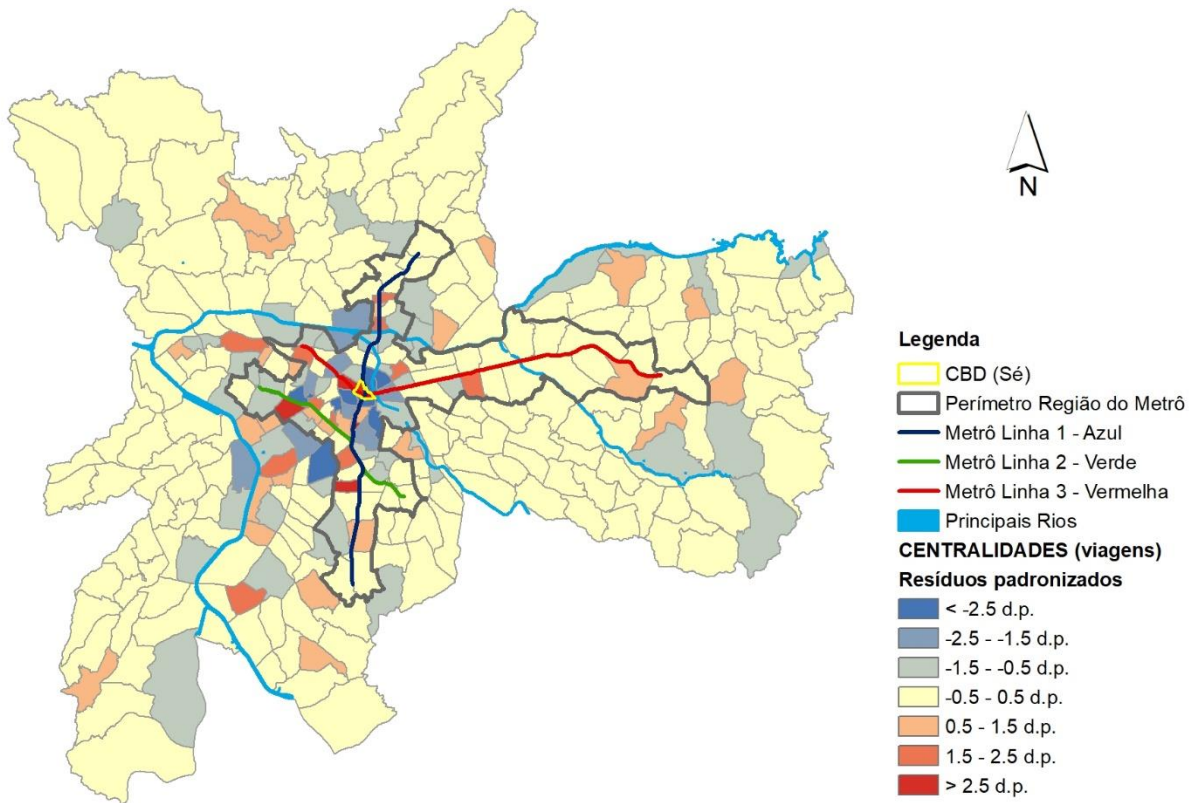


Figura 5.19 Identificação das centralidades – variável densidade de geração de viagens

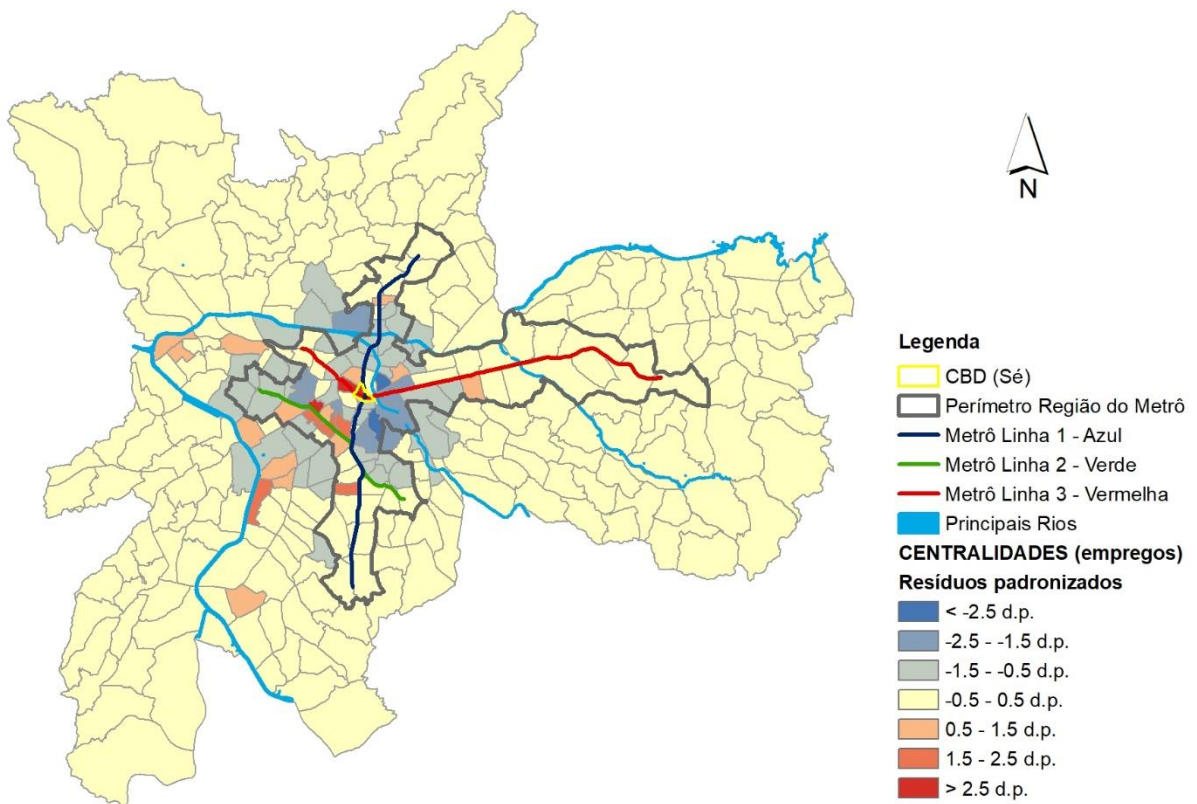


Figura 5.20 Identificação das centralidades – Variável densidade de empregos

A figura 20 aponta para a carência de zonas de empregos na periferia da cidade, o que obriga a população a grandes deslocamentos diários, saturando os sistemas de transporte nos horários de pico - entrada e saída dos locais de emprego. A distribuição equilibrada de população e empregos pelo sistema urbano é desejável, para otimização dos deslocamentos da população e da infraestrutura de transportes.

5.5 TÓPICOS CONCLUSIVOS

A análise exploratória de dados espaciais (ESDA), por meio do Índice de Moran Global (I) e Índice de Moran Local, permitiu avaliar o grau de dependência espacial (autocorrelação espacial) e a magnitude das concentrações das variáveis pelo território, em análise estatística e visual. A região do chamado centro expandido, que pode ser verificada na figura 5.4, é o principal polo de atração de viagens, principal concentração de atividades do sistema urbano.

As variáveis de configuração geométrica propostas, densidade de quarteirões e altura média das edificações, não apresentaram resultados satisfatórios nos modelos. Porém, variáveis de configuração geométrica e topológica da Sintaxe Espacial se mostraram úteis no refinamento dos modelos de análise.

A análise, baseado em modelo de regressão ponderado espacialmente, permite a identificação das zonas de concentração atípica das variáveis da pesquisa. Zonas com resíduos de regressão positivos são indicativo dessas concentrações, potenciais centralidades no sistema urbano (McMillen, 2001). A identificação das centralidades por meio da variável densidade de geração de viagens indica as zonas de maior geração de movimento no sistema urbano (Fig. 5.19). Essa análise apontou para concentrações de viagens dissociadas de concentrações de empregos (Fig. 5.20), sugestivo do predomínio de uso residencial nesses locais, e da carência de atividades que atendam a população localmente.

A associação das variáveis em modelo de regressão (seção 5.3) resultou em uma ferramenta de cálculo do potencial de geração de viagens por meio das variáveis de uso do solo, sistema de transporte e configuração, premissa da pesquisa. Sugere áreas de com potencial de geração de viagens acima ou abaixo do esperado. A investigação dos motivos de viagens, representação subjacente dos tipos de uso do solo de uma determinada zona, associada à representação das centralidades urbanas (Figs. 5.19 e 5.20), pode orientar políticas de promoção de novos usos, de incentivo à novas atividades, para a melhor distribuição dos fluxos pelo território.

6 CONCLUSÃO

Para o entendimento das complexas relações no interior do espaço urbano é necessária a investigação dos princípios que regem sua dinâmica, de como suas partes se organizam, interagem, se estruturam, na qualidade de um sistema. Desta forma, a investigação conduzida apoia-se nas três dimensões propostas pela pesquisa: uso do solo, rede de transportes e configuração (forma urbana)

A estrutura urbana é resultado de sua dinâmica, orientada por processos econômicos, sociais e das condições de deslocamento em sua rede de caminhos. Centralidades são pontos focais na estrutura urbana, formadas por processos de atração e dispersão das atividades pelo espaço, resultado das economias de aglomeração, sua posição relativa ao sistema e condições de acessibilidade.

Sistemas de transportes, facilitadores da mobilidade, promovem acessibilidade. Sistemas de transporte de massa em si não promovem centralidades urbanas, atendem a uma demanda observada ou planejada. A posição relativa ao sistema é fator relevante na definição do perfil das ocupações. O caráter agregador de suas estações promove condições locais de adensamento e desenvolvimento de atividades que se beneficiem do movimento de seus usuários. Essas qualidades são exploradas pelos princípios de desenho, uso e ocupação do solo estabelecidos pelo TOD (*Transit-Oriented Development*), que orientaram a definição das variáveis de pesquisa e análises.

Fenômenos urbanos são resultado da associação de diversos fatores que conferem características e padrões de ocupação diferenciados no contexto da estrutura urbana. A formação de subcentralidades faz parte do desenvolvimento saudável das aglomerações urbanas. Ao se criar condições de manutenção de atividades e população nas zonas periféricas, possibilita-se a redução da pressão do tráfego nas vias de acesso e sistemas de transportes que dão acesso ao centro principal (Anas *et al.*, 1998; Petersen, 2004).

Geração de viagens é variável relevante na representação das centralidades urbanas, capaz de refletir suas principais qualidades: (1) simbolismo, (2) acessibilidade, (3) integração e concentração de pessoas e atividades e (4) valorização do solo (Kneib, 2008). A pesquisa investiga geração de viagens em função da associação das variáveis de uso do solo, rede de

transportes e configuração em modelo matemático. A escolha das variáveis do modelo requer criterioso processo de avaliação estatística. Sua associação pode apresentar efeitos de multicolinearidade e inviabilizar os resultados de sua aplicação.

A investigação dos fenômenos urbanos em uma abordagem relacional deve considerar a análise da dependência espacial das variáveis, locais próximos tendem a apresentar maior semelhança entre si do que locais mais distantes. O modelo de regressão ponderado espacialmente (GWR) apresentou resultados estatisticamente confiáveis para a análise da pesquisa.

A compreensão dos movimentos urbanos deve contemplar a leitura dos aspectos que os condicionam em sua origem, destino e percurso, produto de sua configuração (forma urbana). A leitura relacional da rede de caminhos por meio da Sintaxe Espacial se mostrou relevante na pesquisa. Ao realizar análise com base nas relações topológicas e geométricas da rede de caminhos da cidade, calcula-se matematicamente as qualidades dos diferentes trechos dessa rede, revelando as condições de movimento potencial que podem ser correlacionadas com diferentes tipos de uso do solo e perfis de ocupação.

A metodologia para a elaboração dos modelos de regressão se mostra útil para o cálculo do potencial de geração de viagens no sistema urbano por meio da associação de variáveis de uso do solo, sistema de transportes e configuração urbana em uma abordagem sistêmica. A modelagem do sistema urbano proposta permite simular o efeito de intervenções, seja de incentivo à novas atividades e intensificação de ocupação de zonas potencialmente subutilizadas, ou ainda ajustes nos aspectos de configuração urbana e rede de transportes que permitam o aumento do potencial de acessibilidade local. Desta forma, pode orientar avaliações para promoção de políticas de uso e ocupação do solo que permitam a otimização dos fluxos diários da população pelo território.

6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa utilizou como base de dados principal a Pesquisa Origem-Destino da Região Metropolitana de São Paulo do ano de 2007 (Metrô, 2008). A unidade básica de agregação dos dados, as zonas de tráfego, não permite a análise precisa das concentrações ao redor das estações do metrô, ou o estabelecimento de um raio uniforme para a limitação da sua área de influência. Porém, é uma fonte de dados robusta, o que garante a confiabilidade do estudo. O estudo do sistema global em unidades menores de agregação encontra dificuldades técnicas na

obtenção e manipulação de grande quantidade de dados, que pode ser elaborada em etapa posterior para refinamento das análises.

As variáveis geométricas propostas não apresentaram o poder explicativo esperado, sugerem a necessidade de aprimoramento dos critérios a serem utilizados em sua definição. Uma análise a partir de dados em menor nível de agregação do que o utilizado pode contribuir para variáveis mais consistentes.

Os resultados e significância estatística dos modelos são válidos para a cidade de São Paulo, reflexo da dinâmica urbana por meio dos dados da pesquisa origem-destino utilizada. Em pesquisas de anos diferentes, ou em outros sistemas urbanos, as relações entre as variáveis podem se alterar, com possível comprometimento da confiabilidade dos resultados.

6.2 RECOMENDAÇÕES DE FUTURAS INVESTIGAÇÕES

Investigações futuras podem contemplar os fatores associados aos padrões de comportamento da variável geração de viagens observado, correlacionando com aspectos mais refinados dos diferentes tipos de uso do solo, serviços de transporte, escolha modal. A análise dos fatores locais pode se dar em unidades menores de agregação, para captar de forma mais fiel as concentrações e os tipos de uso e ocupação do solo associados ao movimento promovido pelas estações de transporte de massa na escala de vizinhança.

A análise de séries históricas permite o acompanhamento da evolução do sistema urbano, correlacionando com as condições de movimento. As variações dos aspectos de uso do solo, valorização imobiliária, do perfil das atividades econômicas desenvolvidas nas diferentes localizações podem ser mensuradas em função do potencial de movimento conferido pela acessibilidade proporcionada pela configuração geométrica e topológica, local e global, das diferentes localizações, bem como dos serviços e modos de transportes associados para planejamento racional do crescimento urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-SAYED, K., TURNER, A., HILLIER, B., IIDA, S., & PENN, A. (2014). *Space Syntax Methodology*. Bartlett School of Architecture, UCL, Londres, 117 p.
- ALARCÓN, L. E. L. (2004). *A centralidade em Goiânia*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 185 p.
- ALTOON, R. A.; AULD, J. C. (2011). *Urban Transformation: Transit Oriented Development and the Sustainable City*. The Images Publishing Group, Australia, 192 p.
- ALVES, D. A. S. (1999). *Estudo comparativo entre modelos configuracional e de alocação de tráfego na análise e avaliação da circulação urbana de pedestres em áreas centrais*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 100 p.
- ANAS, A., ARNOTT, R., & SMALL, K. A. (1998). Urban spatial structure. *Journal of economic literature*, v. 36 (3), p. 1426-1464.
- ANDRADE, E. P. & PORTUGAL, L. (2009). Geração de Viagens: Introdução teórica e recomendações práticas. *Cadernos Polos Geradores de Viagens Orientados à Qualidade de Vida e Ambiental*, Rede Ibero-Americana de Estudo em Polos Geradores de Viagens, COPPE/UFRJ, v. 3, 22 p.
- ANSELIN, L. (1995). Local indicators of spatial association - LISA. *Geographical Analysis*, v. 27 (2), p. 93-115.
- ANSELIN, L. (1999). *Interactive techniques and exploratory spatial data analysis*. *Geographical Information Systems: principles, techniques, management and applications*, P. Longley, M. Goodchild, D. Maguire & D. Rhind (eds.), Cambridge, p. 251-264.
- ANSELIN, L., & BAO, S. (1997). *Exploratory spatial data analysis linking SpaceStat and ArcView*. *Recent Developments in Spatial Analysis*, M. M. Fischer & Getis, A.(eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 35-59.
- ASCHER, F. (2010). *Os Novos Princípios do Urbanismo*. Romano Guerra, São Paulo, SP, 104 p.
- BARBETTA, P. A. (2014). *Estatística aplicada às ciências sociais*. Ed. UFSC, Florianópolis, SC, 320 p.
- BARROS, A. P. B. G. (2006). *Estudo Exploratório da Sintaxe Espacial como Ferramenta de Alocação de Tráfego*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM - 012A/2006, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 171p.
- BARROS, A. P. B. G. (2014). *Diz-me como andas que te direi onde estás: inserção do aspecto relacional na análise da mobilidade urbana para o pedestre*. Tese de Doutorado em Transportes, Publicação T.TD. - 003A/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 372 p.

- BASTIDE, R. (1971). Usos e sentidos do termo "estrutura" nas ciências humanas e sociais. Herder, São Paulo, SP, 197 p.
- BANISTER, D. (2007). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, v. 15 (2), p. 73–80.
- BATTY, M. (2009). *Urban modeling*. International Encyclopedia of Human Geography, N. Thrift & R. Kitchin (eds.), Elsevier, Oxford, UK, p. 51-58.
- BERTOLINI, L. (2012). Integrating mobility and urban development agendas: a manifesto. *disP-The Planning Review*, v. 48 (1), p. 16-26.
- BURROUGH, P. A. & MCDONNELL, R. A. (1998). *Data Models and Axioms: Formal Abstractions of Reality*. Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press, p. 17-34.
- CALTHORPE, P. (1993). The Next American Metropolis: Ecology, Community and the American Dream. Princeton Architectural Press, New York, United States, 175 p.
- CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G.; CORREA, V. (2004) *Análise Espacial de Áreas*. Análise Espacial de Dados Geográficos, Druck, S.; Carvalho, M.S. & Câmara, G.; Monteiro, A.M.V. (eds.), EMBRAPA, Brasília, DF, 44 p.
- CÂMARA, G. & MONTEIRO, A. M. V. (2004) *Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação*. Introdução à Ciência da Geoinformação, Câmara, G.; Monteiro, A. M. V & Medeiros, J. S. (eds.), INPE, São José dos Campos, SP, 35 p.
- CAMARGO, C. G.; DRUCK, S. & CÂMARA, G. (2004) *Análise espacial de superfícies por geoestatística linear*. Análise Espacial de Dados Geográficos, Druck, S.; Carvalho, M.S. & Câmara, G.; Monteiro, A.M.V. (eds.), EMBRAPA, Brasília, DF, 37 p.
- CAPRA, F. (1997). A Teia da Vida. Cultrix e Amana-key. São Paulo, SP.
- CARLTON, I. (2009). Histories of Transit-Oriented Development: Perspectives on the Development of the TOD Concept, Real Estate and Transit, Urban and Social Moviments, Concept Protagonist. Working Paper, Institute of Urban and Regional Development, University of California, Berkeley, v. 02 (2009), 24 p.
- CASTELLS, M. (1983). A Questão Urbana. Paz e Terra, Rio de Janeiro, RJ.
- CATS, O., WANG, Q., & ZHAO, Y. (2015). Identification and classification of public transport activity centres in Stockholm using passenger flows data. *Journal of Transport Geography*, v. 48, p. 10-22.
- CERVERO, R.; KOCKELMAN, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 2 (3), p. 199-219.

CERVERO, R. (2000). Transport and land use: Key issues in metropolitan planning and smart growth. *UCTC Report*, v. 436, p. 1-17.

CERVERO, R. (2006). Alternative approaches to modeling the travel-demand impacts of smart growth. *Journal of the American Planning Association*, v. 72 (3), p. 285-295.

CERVERO, R., FERRELL, C. & MURPHY, S. (2002). Transit-Oriented Development and Joint Development in the United States: A Literature Review. *Research Results Digest*, Transportation Research Board, v. 52, p. 1-144.

CINTRA, M. (2014). Os custos dos congestionamentos na cidade de São Paulo. *Textos para Discussão da Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas FGV-EESP*, nº 356, 35 p.

CERVERO, R.; GUERRA, E. (2011). *Urban Densities and Transit: A Multi-dimensional Perspective*. Working Paper UCB-ITS-VWP-2011-6, Institute of Transportation Studies University of California, Berkeley, 14 p.

CHIARADIA, A.; MOREAU, E.; RAFORD, N. (2005). Configurational exploration of public transport movement networks: a case study, the London Underground. *Proceedings of the 5th International Space Syntax Symposium*, TU Delft, The Netherlands, p. 541-552.

CHIARADIA, A.; HILLIER, B.; SCHWANDER, C. & WEDDERBURN, M. (2009). Spatial Centrality, Economic Vitality/Viability: Compositional and Spatial Effects in Greater London. *Proceedings of the 7th International Space Syntax Symposium*, Stockholm, (10), 1–19.

CUTINI, V. (2001). Configuration and centrality. Some evidence from two Italian case studies. *Proceedings of the 3rd International Space Syntax Symposium*, Atlanta, p. 32.1-32.11.

D'ALGE, J. C. L. (2004). *Cartografia para Geoprocessamento*. Introdução à Ciência da Geoinformação, Câmara, G.; Monteiro, A. M. V & Medeiros, J. S. (eds.), INPE, São José dos Campos, SP, 32 p.

DE SMITH, M. J., GOODCHILD, M. F. & LONGLEY, P. (2015). *Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools*. Troubador Publishing Ltd Leicester, 748 p.

DITTMAR, HANK; OHLAND, G. (2004). *The new transit town: best practices in transit-oriented development*. Island Press, Washington.

ESRI (2017a). Interpreting exploratory regression results. Em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/interpreting-exploratory-regression-results.htm>>, acessado em novembro de 2017.

ESRI (2017b). Interpreting OLS results. Em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/interpreting-ols-results.htm>>, acessado em novembro de 2017.

- ESRI (2017c). Interpreting GWR results. Em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.5/tools/spatial-statistics-toolbox/interpreting-gwr-results.htm>>, acessado em novembro de 2017.
- EWING, R.; CERVERO, R. (2001). Travel and the built environment: a synthesis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1780), p. 87-114.
- EWING, R.; CERVERO, R. (2010). Travel and the built environment: a meta-analysis. *Journal of the American Planning Association*, v. 76 (3), p. 265-294.
- FISCHER, M. M., & GETIS, A. (Eds.). (2010). Handbook of applied spatial analysis: software tools, methods and applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 811 p.
- FUJII, T., & HARTSHORN, T. A. (1995). The changing metropolitan structure of Atlanta, Georgia: locations of functions and regional structure in a multinucleated urban area. *Urban Geography*, v.16 (8), p. 680-707.
- FUJITA, M., & OGAWA, H. (1982). Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations. *Regional science and urban economics*, v. 12 (2), p. 161-196.
- FUJITANI, M.; KISHIMOTO, T. (2013). Space Syntax integrating street and railway networks: a case study in Tokio. *Proceedings of the 9th International Space Syntax Symposium*, Seoul, p. 56.1-56.11.
- GEOSAMPA (2017). Banco de dados oficial de informações georreferenciadas da prefeitura de São Paulo. Em: <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx>, acessado em maio de 2017.
- GETIS, A. (2010). *Spatial Autocorrelation*. Handbook of Applied Spatial Analysis: Software Tools, Methods and Applications, M.M. Fischer & Getis (eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, p. 255-278.
- GIULIANO, G., SMALL, K. A. (1991) Subcenters in The Los Angeles Region. *Regional Science and Urban Economics*, v. 21, p. 163-182.
- GIULIANO, G., AGARWAL, A., REDFEARN, C. (2008). Metropolitan spatial trends in employment and housing. *Special Report 298, Transportation Research Board*, 39 p.
- GIULIANO, G., REDFEARN, C., AGARWAL, A., & HE, S. (2012). Network accessibility and employment centres. *Urban Studies*, v. 49 (1), p. 77-95.
- GLAESER, E. L., KOLKO, J., & SAIZ, A. (2001). Consumer city. *Journal of economic geography*, v. 1 (1), p. 27-50.
- GOMES, F. (2016). As áreas de influência das estações do metrô como foco irradiador na formação de subcentros: desafios acerca da interação entre planejamento urbano e de

transportes no Distrito Federal. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 282 p.

GONÇALVES, J. A. M. (2006). Contribuição à análise quantitativa das potencialidades do trem de passageiros em integrar a estrutura urbana. 2006. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), Rio de Janeiro, RJ, 169 p.

HALL, P. (2016). Cidades do amanhã: uma história intelectual do planejamento e do projeto urbanos no século XX. Perspectiva, São Paulo, SP, 736 p.

HANDY, S. L. (1992). Regional versus local accessibility: variations in suburban form and effects on non-work travel. *Built Environment*, The University of California Transportation Center, University of California, Berkeley, v.18 (4), pp. 253-267.

HANDY, S. L. (1996) Methodologies for exploring the link between urban form and travel behavior. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 1 (2), p. 151-165.

HANSEN, W. G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of planners*, v. 25 (2), p. 73-76.

HILLIER, B. (1999). Space as a paradigm for understanding strongly relational systems. *Proceedings of the Second International Space Syntax Symposium*, Brasília, DF, p. 1–16.

HILLIER, B. (2007). *Space is the machine*. UCL, London, 355 p.

HOCHTIEF; MONTREAL; DECONSULT; (1968). Sistema Integrado de Transporte Rápido Coletivo da Cidade de São Paulo, Volume 1: Estudos Sócio-Econômicos, de Tráfego e de Viabilidade Econômico-Financeira.

HOLANDA, F. R. B. (2002). *O Espaço de Exceção*. Editora Universidade de Brasília, Brasília, DF, 466 p.

HUGILL, P. (1993). *World trade since 1431. Geography, Technology, and Capitalism*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, 379 p.

JAYASINGHE, A., SANO, K., & RATTANAPORN, K. (2017). Application for developing countries: Estimating trip attraction in urban zones based on centrality. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, v. 4 (5), 464-476.

JUN, M. J., CHOI, K., JEONG, J. E., KWON, K. H., & KIM, H. J. (2015). Land use characteristics of subway catchment areas and their influence on subway ridership in Seoul. *Journal of Transport Geography*, v. 48, p. 30-40.

KARIMI, K. (2012). A configurational approach to analytical urban design: ‘Space syntax’ methodology. *Urban Design International*, v. 17 (4), p. 297-318.

KARIMI, K., PARHAM, E., & ACHARYA, A. (2015) Integrated sub-regional planning informed by weighted spatial network models. *Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium*, London, p. 71.1-71.16.

- KARIMI, K., PARHAM, E., FRIEDRICH, E., & FERGUSON, P. (2013). Origin-destination weighted choice model as a new tool for assessing the impact of new urban developments. *Proceedings of the Ninth International Space Syntax Symposium*, Seoul, p. 121.1-121.20.
- KASARDA, J. D. (2013). *Aerotropolis: Business mobility and urban competitiveness in the 21st century*. Cultures of Mobility, K. Benesch (ed.), Heidelberg University Press, Heidelberg, p. 1-22.
- KNEIB, E. C. (2008). *Subcentros urbanos: contribuição conceitual e metodológica à sua definição e identificação para planejamento de transportes*. Tese de Doutorado em Transportes, Publicação T.TD 002A/2008, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 206 p.
- LAW, S.; CHIARADIA, A. & SCHWANDER, C. (2012). Towards a multi-modal space syntax analysis. A case study of the London street and underground network. *Proceedings of the Eighth International Space Syntax Symposium*, Santiago de Chile, 21 p.
- LEE, B. (2007). “Edge” or “edgeless” cities? Urban spatial structure in US metropolitan areas, 1980 to 2000. *Journal of Regional Science*, v. 47(3), p. 479-515.
- LEE, S., YI, C., & HONG, S. P. (2013). Urban structural hierarchy and the relationship between the ridership of the Seoul Metropolitan Subway and the land-use pattern of the station areas. *Cities*, v. 35, p. 69-77.
- LEITE, C., CHEZZI, B. (2016). Guia prático para tornar nossas cidades mais humanas. Blog Cidade Sem Fronteiras, M. Barros, Publicação: 31/03/2016, em: <<http://veja.abril.com.br/blog/cidades-sem-fronteiras/carlos-leite-e-bernardo-chezzi-8220-cidades-eficientes-sao-as-que-permitem-requalificar-as-areas-centrais-8221/>>, acessado em 09 de fevereiro de 2017.
- LEVINSON, D. (2008). Density and dispersion: the co-development of land use and rail in London. *Journal of Economic Geography*, v. 8, p. 55-77.
- LEVINSON, D.; MARION, B.; OWEN, A., CUI, M. (2017). The City is flatter: Changing patterns of job and labour access. *Cities*, v. 60, p. 124-138.
- LOUREIRO, V. R. T. (2017). “Quando a gente não tá no mapa”: a configuração como estratégia para a leitura socioespacial da favela. Tese de Doutorado, Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 261 p.
- MCDONALD, J. F. (1987). The identification of urban employment subcenters. *Journal of Urban Economics*, v. 21 (2), p. 242-258.
- MCMILLEN, D. P. (2001). Nonparametric employment subcenter identification. *Journal of Urban Economics*, v. 50 (3), p. 448-473.
- MCMILLEN, D. P., & MCDONALD, J. F. (1997). A nonparametric analysis of employment density in a polycentric city. *Journal of Regional Science*, v. 37 (4), p. 591-612.

- MCMILLEN, D. P., & MCDONALD, J. F. (1998). Suburban subcenters and employment density in metropolitan Chicago. *Journal of Urban Economics*, v. 43 (2), p. 157-180.
- MCMILLEN, D. P., & SMITH, S. C. (2003). The number of subcenters in large urban areas. *Journal of urban economics*, 53(3), 321-338.
- MDC (2017). Mapa digital da cidade de São Paulo. Em: <<http://dados.prefeitura.sp.gov.br/dataset/mapa-digital-da-cidade-mdc-sao-paulo/resource/9c06b066-fe7c-486b-9957-802843897f3b>>, acessado em maio de 2017.
- MEDEIROS, V. (2013). *Urbis Brasiliae: o labirinto das cidades brasileiras*. Editora UnB, Brasília, DF, 612 p.
- MEDEIROS, V. A. S., BARROS, A. P. B. G. (2014). *Centralidades e Sintaxe Espacial: variáveis para a compreensão da acessibilidade urbana*. Projeto e Cidade: Centralidades e Mobilidade Urbana, E. C. Kneib (Org.), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, p. 269-316.
- METRÔ (1998). Pesquisa Origem-Destino da Região Metropolitana de São Paulo, 1997. Companhia do Metropolitano de São Paulo, São Paulo, SP.
- METRÔ (2008). Pesquisa Origem-Destino da Região Metropolitana de São Paulo, 2007. Companhia do Metropolitano de São Paulo, São Paulo, SP.
- METRÔ (2017 a), Companhia do Metropolitano de São Paulo, São Paulo, SP, em: <<http://www.metro.sp.gov.br/>>, acessado em junho de 2017.
- METRÔ (2017b), Portal da Transparência do Metrô. Companhia do Metropolitano de São Paulo, São Paulo, SP, em: <<http://transparencia.metrosp.com.br>>, acessado em junho de 2017.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES (2015). PlanMob: Caderno de referência para elaboração de Plano de Mobilidade Urbana. Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana - SeMob, Brasília, DF, 237 p.
- MODARRES, A. (2003). Polycentricity and transit service. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 37 (10), p. 841-864.
- MODARRES, A. (2011). Polycentricity, commuting pattern, urban form: The case of Southern California. *International Journal of Urban and Regional Research*, v. 35 (6), p. 1193-1211.
- MÜLLER, S., WILHELM, P., & HAASE, K. (2013). Spatial dependencies and spatial drift in public transport seasonal ticket revenue data. *Journal of Retailing and Consumer Services*, v. 20 (3), p. 334-348.
- NABAIS, R. J. S. (2005). *Critérios e procedimentos para avaliação da potencialidade da integração de estações ferroviárias de passageiros*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, RJ, 135 p.

ORTUZAR, J. D., & WILLUMSEN, L. G. (2011). *Modelling Transport*. John Wiley & Sons, Ltd, United Kingdom.

ÖZBİL, A.; PEPONIS, J. (2012). The Effects of Urban Form on Walking to Transit. *Proceedings of the 8th International Space Syntax Symposium*, Santiago de Chile, p. 8030.1-8030.15.

PÁEZ, A., & SCOTT, D. M. (2005). Spatial statistics for urban analysis: a review of techniques with examples. *GeoJournal*, v. 61 (1), p. 53-67.

PENN, A., HILLIER, B., BANISTER, D., & XU, J. (1998). Configurational modelling of urban movement networks. *Environment and Planning B: planning and design*, v. 25 (1), p. 59-84.

PEREIRA, R. H. M., HOLANDA, F. R. B. D., MEDEIROS, V. A. S. D., BARROS, A. P. B. G. (2012). The use of space syntax in urban transport analysis: limits and potentials. *Proceedings of the 8th International Space Syntax Symposium*, Santiago de Chile, p. 8214.1-8214.26.

PETERSEN, R. (2004). *Land use planning and urban transport*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany, 41p.

PUSHKAREV, B.; ZUPAN, J. (1977). *Public Transportation and Land Use Policy*. Indiana University Press, United States of America, 242 p.

RATNER, K. A., & GOETZ, A. R. (2013). The reshaping of land use and urban form in Denver through Transit-Oriented Development. *Cities*, v. 30, p. 31-46.

REDFEARN, C. L. (2007). The topography of metropolitan employment: Identifying centers of employment in a polycentric urban area. *Journal of Urban Economics*, v. 61 (3), p. 519-541.

REDFEARN, C. L. (2009). Persistence in urban form: The long-run durability of employment centers in metropolitan areas. *Regional Science and Urban Economics*, v. 39 (2), p. 224-232.

RIBEIRO, R. J. D. C. (2008). Índice composto de qualidade de vida urbana: Aspectos de configuração espacial, socioeconômicos e ambientais urbanos. Tese de Doutorado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 219 p.

RIGATTI, D. (2005). When the city center is no longer the center of the city. *Proceedings of the 5th International Space Syntax Symposium*, Istanbul, Turkey, p. 229-243.

RODRIGUE, J. P., COMTOIS, C., & SLACK, B. (2006). *The geography of transport systems*. Routledge, New York, 284 p.

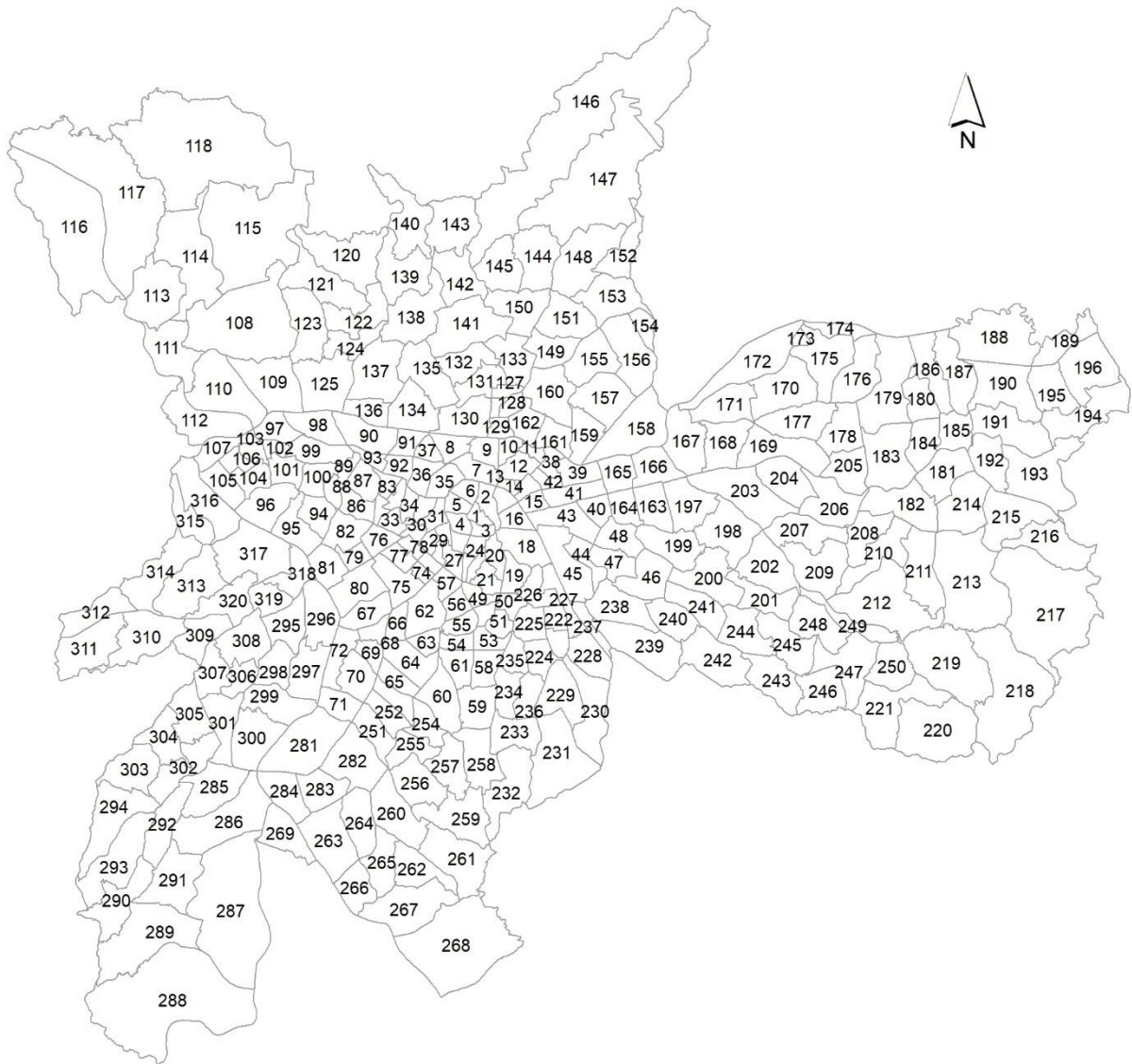
ROLNIK, R., & KLINTOWITZ, D. (2011). (I) Mobilidade na cidade de São Paulo. *Estudos Avançados*, v. 25 (71), p. 89-108.

ROTH, C., KANG, S. M., BATTY, M., & BARTHÉLEMY, M. (2011). Structure of urban movements: polycentric activity and entangled hierarchical flows. *PloS ONE*, v. 6 (1), p. 1-8.

- SANTOS, M. (2012). Manual de Geografia Urbana. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 232 p.
- SANTOS, M. (2014). A Natureza do espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 392 p.
- SCOTT, L. M., & JANIKAS, M. V. (2010). *Spatial statistics in ArcGIS*. Handbook of applied spatial analysis: software tools, methods and applications, M. M. Fischer & A. Getis (eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, p. 27-41.
- SUZUKI, H., CERVERO, R.; IUCHI, K. (2013). Transforming Cities With Transit. World Bank, Washington DC, 205 p.
- TURNER, A. (2007). From axial to road-centre lines: a new representation for space syntax and a new model of route choice for transport network analysis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 34 (3), p. 539-555.
- UN-HABITAT (2013). Planning and design for sustainable urban mobility: global report on human settlements 2013. United Nations Human Settlements Programme, 317 p.
- URBS (2015). Rede Integrada de Transporte. Urbanização de Curitiba S/A, disponível em: <<http://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte>>, acessado em junho de 2015.
- VILLAÇA, F. (1998). Espaço intra-urbano no Brasil. Studio Nobel, São Paulo, SP, 373 p.
- VIVEIROS, R. (2011). Um olhar sobre São Paulo. RV & Associados, São Paulo, SP, 199 p.
- VON BERTALANFFY, L. V. (2012). Teoria geral dos sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. Vozes, Petrópolis, RJ, 360 p.
- WEGENER, M.; FÜRST, F. (1999). Land-Use Transport Interaction: State of the Art. Institut für Raumplanung. Univesitat Dörtmund. 119 p.
- ZHONG, C., HUANG, X., ARISONA, S. M., SCHMITT, G., & BATTY, M. (2014). Inferring building functions from a probabilistic model using public transportation data. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 48, p. 124-137.

ANEXOS

ANEXO I – ZONAS DE TRÁFEGO (LEGENDA)



LEGENDA

1	Sé	51	Chácara Klabin	101	Alto da Lapa	152	Cohab Jova Real
2	Parque Dom Pedro	52	Vila Mariana	102	Gavião Peixoto	153	Jaçanã
3	Praça João Mendes	53	Santa Cruz	103	Bela Aliança	154	Parque Edu Chaves
4	Ladeira da Memória	54	Vila Clementino	104	Vila Hamburguesa	155	Vila Medeiros
5	República	55	França Pinto	105	CEASA	156	Jardim Brasil
6	Santa Ifigênia	56	Rodrigues Alves	106	Vila Leopoldina	157	Jardim Japão
7	Luz	57	Paraíso	107	Emissário	158	Parque Novo Mundo
8	Bom Retiro	58	Bosque da Saúde	108	Vila Zatt	159	Vila Maria
9	Ponte Pequena	59	Saúde	109	Pirituba	160	Vila Isolina Mazzei
10	Canindé	60	Planalto Paulista	110	São Domingos	161	Vila Guilherme
11	Bom Jardim	61	Mirandópolis	111	Jardim Mutinga	162	Coroa
12	Pari	62	Parque Ibirapuera	112	Vila Jaguará	163	Gomes Cardim
13	João Teodoro	63	Jardim Luzitânia	113	Jaraguá	164	Tatuapé
14	Oriente	64	Moema	114	Nova Jaraguá	165	Chácara do Piqueri
15	Bresser	65	Bandeirantes	115	Parada de Taipas	166	Parque São Jorge
16	Brás	66	Vila Nova Conceição	116	Parque Morro Doce	167	Penha
17	Gasômetro	67	Chácara Itaim	117	Anhanguera	168	Tiquatira
18	Independência	68	Vila Olímpia	118	Perus	169	Vila Esperança
19	Cambuci	69	Hélio Pelegrino	120	Jardim Damasceno	170	Rui Barbosa
20	Glicério	70	Brooklin	121	Vila Terezinha	171	Cangaíba
21	Aclimação	71	Vila Cordeiro	122	Brasilândia	172	Engenheiro Goulart
22	Pires da Mota	72	Berrini	123	Vila Morro Grande	173	USP Leste I
23	Centro Cultural	73	Campinas	124	Itaberaba	174	USP Leste II
24	Liberdade	74	Pamplona	125	Freguesia do Ó	175	Ermelino Matarazzo
25	Treze de Maio	75	Jardins	126	Carandiru	176	Parque Boturussu
26	Bexiga	76	Clínicas	127	Santana	177	Ponte Rasa
27	Bela Vista	77	Oscar Freire	128	Zaki Narchi	178	Águia de Haia
28	São Carlos do Pinhal	78	Trianon	129	Tietê	179	Limoeiro
29	Masp	79	Jardim Paulistano	130	Parque Anhembi	180	Vila Jacuí
30	Higienópolis	80	Jardim Europa	131	Alfredo Pujol	181	Parada XV
31	Vila Buarque	81	Pinheiros	132	Santa Terezinha	182	Itaquera
32	Consolação	82	Vila Madalena	133	Jardim São Paulo	183	Vila Campanela
33	Pacaembu	83	PUC	134	Casa Verde	184	Rio Verde
34	FAAP	84	Cardoso de Almeida	135	Parque Peruche	185	Saudade
35	Santa Cecília	85	Zequinha de Abreu	136	Limão	186	São Miguel Paulista
36	Marechal Deodoro	86	Sumaré	137	Casa Verde Alta	187	Cidade Nitro-Operária
37	Rudge	87	Perdizes	138	Cachoeirinha	188	Jardim Helena
38	Catumbi	88	Vila Anglo Brasileira	139	Jardim Peri	189	Jardim Romano
39	Belém	89	Pompéia	140	Reserva da Cantareira	190	Vila Curuçá
40	Quarta Parada	90	Santa Marina	141	Mandaqui	191	Jardim Robru
41	Belenzinho	91	Barra Funda	142	Horto Florestal	192	Lajeado
42	Celso Garcia	92	Francisco Matarazzo	143	ETA Guarú Parque Palmas do	193	Fábrica Bandeirantes
43	Moóca	93	Água Branca	144	Tremembé	194	Fazenda Itaim
44	Alto da Moóca	94	Vila Beatriz	145	Tremembé	195	Itaim Paulista
45	Parque da Moóca	95	Alto de Pinheiros	146	Cantareira	196	Jardim das Oliveiras
46	Água Rasa	96	Boaçava	147	Jardim das Pedras	197	Vila Califórnia
47	Vila Bertoga	97	Vila Anastácio	148	Jardim Guapira	198	Vila Carrão
48	Regente Feijó	98	Lapa de Baixo	149	Parada Inglesa	199	Jardim Anália Franco
49	Ana Rosa	99	Lapa	150	Tucuruvi	200	Vila Formosa
50	Jardim da Glória	100	Vila Ipojuca	151	Vila Gustavo	201	Sapopemba

202	Aricanduva	252	Vieira de Moraes	313	Rio Pequeno
203	Vila Matilde	253	Campo Belo	314	Jardim Adalgiza
204	Vila Guilhermina	254	Congonhas	315	Parque Continental
205	Cidade A.E.Carvalho	255	Jardim Aeroporto	316	Jaguareé
206	Artur Alvim	256	Vila Santa Catarina	317	Cidade Universitária
207	Cidade Líder	257	Jabaquara	318	Butantã
208	Santa Marcelina	258	Cidade Vargas	319	Jardim Caxingui
209	Parque Savoy	259	Jardim Bom Clima	320	Jardim Bonfiglioli
210	Vila Carmosina	260	Cupecê		
211	Fazenda Caguaçu	261	Jardim Miriam		
212	Parque do Carmo	262	Vila Missionária		
213	Gleba do Pessêgo	263	Jurubatuba		
214	José Bonifácio	264	Vila São Pedro		
215	Guaianases	265	Campo Grande		
216	Juscelino Kubitschek	266	Vila Sabará		
217	Cidade Tiradentes	267	Mar Paulista		
218	Terceira Divisão	268	Pedreira		
219	Iguatemi	269	Vila Socorro		
220	Parque São Rafael	281	Granja Julieta		
221	Rodolfo Pirani	282	Chácara Flora		
222	Ipiranga	283	Santo Amaro		
223	Sacomã	284	Vila Miranda		
224	Alto do Ipiranga	285	Jardim São Luís		
225	Vila São José	286	Centro Empresarial		
226	Vila Monumento	287	Guarapiranga		
227	Vila Independência	288	Jardim Capela		
228	Vila Carioca	289	Riviera		
229	Moinho Velho	290	M' Boi Mirim		
230	São João Clímaco	291	Jardim Ângela		
231	Anchieta	292	Capão Redondo		
232	Parque do Estado	293	Adventista		
233	Água Funda	294	Parque Fernanda		
234	Jardim da Saúde	295	Morumbi		
235	Vila Gumercindo	296	Jóquei Clube		
236	Jardim Providência	297	Fazenda Morumbi		
237	Tamanduateí	298	Real Parque		
238	Orfanato	299	Paraisópolis		
239	Vila Zelina	300	Jardim Vitória Régia		
240	Linhas Corrente	301	Vila Suzana		
241	Vila Ema	302	Parque Arariba		
242	Parque São Lucas Parque Santa	303	Jardim Mitsutani		
243	Madalena	304	Pirajussara		
244	Jardim Colorado	305	Jardim Umarizal		
245	Teotônio Vilela	306	Portal do Morumbi		
246	Fazenda da Juta	307	Jardim Jussara		
247	São Mateus	308	Vila Sônia Jardim Maria do		
248	Cidade IV Centenário	309	Carmo		
249	Rio Claro	310	Jardim Cambará		
250	Cidade Satélite	311	Jardim João XXIII		
251	Joaquim Nabuco	312	Raposo Tavares		