

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TOD PARA LOCALIZAÇÕES E
ESTAÇÕES DE TRANSPORTE PÚBLICO: Construção de Cenários de
Planejamento em Escala Metropolitana**

Jamille Almeida Brito

Salvador
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TOD PARA LOCALIZAÇÕES E
ESTAÇÕES DE TRANSPORTE PÚBLICO: Construção de Cenários de
Planejamento em Escala Metropolitana

Jamille Almeida Brito

Dissertação apresentada ao **PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**
como requisito para obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.

Orientador: Prof. Dr. Juan Pedro Moreno Delgado

Agência Financiadora: Não houve.

Salvador
2022

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Brito, Jamille Almeida

Proposta de avaliação do potencial TOD para
localizações e estações de transporte público:
Construção de cenários de planejamento em escala
metropolitana. / Jamille Almeida Brito. -- Salvador,
2022.

137 f.

Orientador: Juan Pedro Moreno Delgado.

Dissertação (Mestrado - Pós-Graduação em Engenharia
Civil (Mestrado)) -- Universidade Federal da Bahia,
Escola Politécnica, 2022.

1. Cenário de Planejamento. 2. Índice TOD. 3.
Desenvolvimento Sustentável. I. Delgado, Juan Pedro
Moreno. II. Título.

FORMAÇÃO DO CANDIDATO

Engenheira Civil, formada pela Universidade Federal da Bahia, UFBA (2017).

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

JAMILLE ALMEIDA BRITO

APRESENTADA AO DOUTORADO EM ENGENHARIA CIVIL, DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DA BAHIA, **EM 21 DE JUNHO DE 2022.**

BANCA EXAMINADORA



Prof.(a) Dr.(a) **Juan Pedro Moreno Delgado**

Orientador

PPEC-UFBA



Prof.(a) Dr.(a) **Mauro Jose Alixandrini Junior**

PPEC- UFBA



Prof.(a) Dr.(a) **Antônio Ângelo Martins da Fonseca**

POSGEO- UFBA

GIOVANI MANSO
AVILA:55122884072

Assinado de forma digital por
GIOVANI MANSO
AVILA:55122884072
Dados: 2022.06.27 08:36:31 -03'00'

Prof.(a) Dr.(a) **Giovani Manso Ávila**

PEU-UFRJ

RESUMO

A desarticulação entre políticas públicas de transporte e uso do solo tem reforçado os processos de dispersão urbana e dependência do transporte motorizado ao redor do mundo. Nesse contexto, algumas cidades brasileiras têm investido em tecnologias de transporte público de média-alta capacidade na tentativa de resolver os problemas de mobilidade urbana. No entanto, percebe-se que essas ações estão ainda desacompanhadas de intervenções no uso do solo urbano, a fim de reduzir inequidades de acesso às atividades urbanas e produzir padrões de mobilidade mais sustentável, o que levanta dúvidas sobre a potencialidade dessas intervenções em induzir desenvolvimento sustentável nas metrópoles. Diante disso, este trabalho propõe uma metodologia, para a escala metropolitana, de avaliação do potencial de estações e localizações com infraestrutura de transporte público de média-alta capacidade em induzir o desenvolvimento sustentável em suas áreas de influências, através de índices construídos a partir do conceito de planejamento integrado Transporte Orientado ao Desenvolvimento (TOD). Assim, o método proposto foi utilizado para avaliar o Potencial TOD para localizações/estações da rede da Região Metropolitana de Salvador para dois cenários de planejamento – o primeiro para a rede e o padrão de uso do solo atual, referente ao ano de 2020, e o segundo, tendencial, para rede futura esperada para o ano de 2030 considerando a manutenção do padrão de uso do solo atual. A comparação dos dois cenários demonstrou que os vultuosos investimentos na rede de transporte de média-alta capacidade não devem provocar o surgimento de áreas com Potencial TOD alto, haja vista que, em geral, regiões menos atrativas para implementações de estações devem receber infraestruturas de alta capacidade de transporte, ao passo que região candidatas a acomodar essas infraestruturas de forma sustentável foram menosprezadas ou receberão tecnologias aquém de suas necessidades. Além disso, produtos gerados pela metodologia se tornaram ferramentas para análise de possíveis estratégias de transporte e uso do solo em estações ou localizações, permitindo o acúmulo de experiência por um processo de aprendizagem interativo. Com isso, entende-se que a metodologia proposta atende aos objetivos de pesquisa e contribui para o acervo de técnicas de planejamento adaptadas à realidade de países em desenvolvimento.

Palavras-chave: cenário de planejamento; índice TOD; desenvolvimento sustentável.

PROPOSAL FOR POTENTIAL TOD ASSESSMENT ON STATIONS AND PUBLIC TRANSPORT LOCATIONS: Building Planning Scenarios at a Metropolitan Scale

ABSTRACT

A disconnection between transport and land use policies have reinforced urban sprawling processes and motorized transport dependency in metropolises worldwide. In this context, some Brazilian cities have invested in medium to high-capacity transport technologies as a mean to solve urban mobility issues. However, these actions have yet to be followed by any land use intervention, in order to reduce inequalities in urban activity accessibility and to produce more sustainable mobility, which raise questions of such investment's potential of enabling sustainable development in these metropolises. Therefore, this study proposes a methodology, at a metropolitan scale, for potential TOD assessment on stations and other locations with medium to high-capacity public transport infrastructure in their surrounding areas, through indices built from the Transport-Oriented Development (TOD) integrated planning concept. Thus, the proposed framework was used to assess TOD potentiality on stations and other transport location in the Metropolitan Region of Salvador for two planning scenarios – one for the current public transport network and land use patterns, taking year 2020 as a reference, and another for the expected network in 2030, considering that actual land use patterns remain the same. The resulting comparison showed that the large investments made in the public transport network are not prone to create areas with high TOD potential since, in general, regions with less attracting land use assets for implementing stations are receiving ones with high capacity, whilst candidate regions for sustaining such infrastructure were overlooked or are meant to receive technologies bellow their transport-related needs. Aside from that, method outcomes became tools when analyzing possible transport and land use strategies for individual locations, which allowed experience build-up through an interactive learning process. Finally, the proposed methodology is adequate to fulfill research objectives and contributes to the portfolio of planning techniques adapted the reality of developing countries.

Keywords: scenario planning; TOD index; sustainable development.

SUMÁRIO

	Pág.
BANCA EXAMINADORA.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
SUMÁRIO.....	viii
LISTA DE TABELAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	xv
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Estruturação do Problema de Pesquisa.....	18
2 OBJETIVO	21
2.1 Geral.....	21
2.2 Específicos	21
3 JUSTIFICATIVA	22
3.1 Da estrutura do trabalho	23
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
4.1 O Espaço Urbano e a Rede de Transporte.....	24
4.1.1 <i>A estrutura do espaço urbano</i>	24
4.1.2 <i>As redes de transporte</i>	25
4.1.3 <i>Relação transporte – uso do solo</i>	27
4.2 Acessibilidade	29
4.2.1 <i>Conceito e escalas</i>	29
4.2.2 <i>Acessibilidade e a Mobilidade sustentável</i>	31
4.2.3 <i>Análise das condições de acessibilidade por indicadores</i>	31
4.3 Transporte Público Orientado ao Desenvolvimento.....	34
4.3.1 <i>A sustentabilidade nas estratégias de planejamento urbano</i>	34
4.3.2 <i>Estratégias TOD sob a perspectiva da acessibilidade</i>	35
4.3.3 <i>Índices e indicadores TOD</i>	36
4.3.4 <i>Modelo Nó-Lugar</i>	39
4.3.5 <i>Considerações adicionais sobre as estratégias TOD</i>	41
4.4 Padrões de uso do solo e aspectos da mobilidade urbana na RMS.....	43
4.5 Técnicas e ferramentas de pesquisa utilizadas	46

4.5.1	<i>Construção de Cenários Urbanos</i>	46
4.5.2	<i>Estrutura dos cenários</i>	47
4.5.3	<i>Geoprocessamento e análise espacial em ambiente SIG</i>	49
5	MATERIAL E MÉTODOS	51
5.1	<i>Área de Estudo</i>	51
5.1.1	<i>Escolha da área de estudo</i>	51
5.2	<i>Materiais do Método</i>	52
5.3	<i>Etapas Metodológicas</i>	53
5.3.1	<i>Referencial Teórico (Etapa 2)</i>	53
5.3.2	<i>Caracterização dos cenários e suas condicionantes (Etapa 3)</i>	53
5.3.3	<i>Escolha do Modelo para os Cenários (Etapa 4)</i>	55
5.3.4	<i>Escolha dos Indicadores (Etapa 5)</i>	56
5.3.5	<i>Coleta de dados (Etapa 6)</i>	58
5.3.6	<i>Processamento de Dados (Etapa 7)</i>	58
5.3.6.1	<u>Construção da rede atual e futura: correção topológica e geração de nós</u>	58
5.3.6.2	<u>Dados de transporte público na rede atual e futura</u>	59
5.3.6.3	<u>Uso do Solo por subzona de tráfego (subZT)</u>	59
5.3.6.4	<u>Projeção de População para os cenários atual (2020) e tendencial (2030)</u>	60
5.3.6.5	<u>Construção da rede de logradouros</u>	60
5.3.7	<i>Cálculo dos Indicadores (Etapa 8)</i>	61
5.3.7.1	<u>Acessibilidade Gravitacional</u>	61
5.3.7.2	<u>Indicadores de nó</u>	61
5.3.7.3	<u>Indicadores de lugar</u>	65
5.3.8	<i>Padronização dos Indicadores (Etapa 9)</i>	66
5.3.9	<i>Mapa de Acessibilidade Gravitacional (Etapa 10)</i>	67
5.3.10	<i>Mapas-síntese: Índices de Nó e de Lugar para cada Cenário (Etapa 11)</i>	68
5.3.11	<i>Representação Gráfica dos Cenários: Matriz Nó-Lugar de Potencial TOD para Estações e Localizações (Etapa 12)</i>	69
5.3.12	<i>Representação Gráfica dos Cenários: Matriz Nó-Lugar de Potencial TOD para Nós e Estações (Etapa 12)</i>	71
5.3.13	<i>Processo de Aprendizagem (Etapa 13)</i>	72

6	ESTUDO DE CASO	73
6.1	Caracterização da área de estudo e de suas tendências na relação transporte – uso do solo	73
6.2	Acessibilidade Gravitacional pelo transporte público: diagnóstico do potencial de interação entre população e emprego na RMS	77
6.3	Indicadores de Lugar	80
6.3.1	<i>Densidade</i>	80
6.3.2	<i>Diversidade</i>	82
6.3.3	<i>Demanda por Transporte Público por Hectare</i>	85
6.3.4	<i>Empregos acessíveis</i>	87
6.4	Indicadores de Nó	89
6.4.1	<i>Centralidade de intermediação (betweeness)</i>	89
6.4.2	<i>Nodalidade</i>	92
6.4.3	<i>Integração por transporte público</i>	94
6.4.4	<i>Cobertura e microacessibilidade</i>	96
6.5	Cenários de Planejamento TOD	102
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	104
7.1	Cenário Atual	104
7.1.1	<i>Índices de Nó e Lugar Atuais</i>	104
7.1.2	<i>Matrizes Nó-Lugar de Potencial TOD: metrópole 2020</i>	106
7.2	Cenário Tendencial	110
7.2.1	<i>Índices de Nó e Lugar Tendenciais</i>	110
7.2.2	<i>Matrizes Nó-Lugar de Potencial TOD: metrópole 2030</i>	113
7.3	Conclusões do Estudo de Caso	116
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	121
9	REFERÊNCIAS	125
	APÊNDICES	135

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1. Exemplos de variáveis e indicadores para os índices de Nó e Lugar.....	38
Tabela 2. Indicadores selecionados para a modelagem dos cenários.....	57
Tabela 3. Cálculo do indicador de nodalidade por matriz de tempos de viagem.....	62
Tabela 4. Descrição estatística dos indicadores de nó.	64
Tabela 5. Descrição estatística dos indicadores de lugar.	66
Tabela 6. Valores de referência para a padronização dos resultados dos indicadores.....	67
Tabela 7. Velocidade de subida e inclinação do terreno para locomoção humana.	99
Tabela 8. Guia de cores para a Matriz Nó-Lugar de Potencial TOD.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Evolução da Divisão Modal das Viagens entre 2003 e 2014.	19
Figura 2. Demonstração de uma rede sem presença e com presença de uma centralidade.....	26
Figura 3. Esquema explicativo do ciclo <i>feedback</i> entre transporte e uso do solo.....	29
Figura 4. Modelo Nó-Lugar de Bertolini (1999).	39
Figura 5. Comparação entre o crescimento populacional e da frota de veículos privados.....	44
Figura 6. Território do automóvel.	45
Figura 7. Fluxograma da pesquisa em representação esquemática, apresentando as etapas que envolveram desde a formulação do problema às conclusões finais.	54
Figura 8. Tela de processamento da ferramenta GRASS nativa do QGIS 3.16: <i>v.net centrality</i>	63
Figura 9. Tela de processamento da ferramenta Estatística Zonal no QGIS 3.16 ou acima.....	69
Figura 10. Matriz Nó-Lugar dirigida a avaliar o Potencial TOD das localizações/estações.	71
Figura 11. Municípios da Região Metropolitana e projeções de população e densidade demográfica.	74
Figura 12. Distribuição de postos de emprego por hectare na RMS em 2012.	75
Figura 13. Rede de Transporte Público Atual e Esperada para o ano de 2030 na RMS.	77
Figura 14. Acessibilidade Gravitacional a Empregos por Transporte Público no RMS para 2020.	79
Figura 15. Indicador de Densidade Populacional Normalizada para o Ano de 2020.	81
Figura 16. Indicador de Densidade Populacional Normalizada para o Ano de 2030.	82
Figura 17. Indicador de diversidade de uso do solo para a RMS.	83

Figura 18.	Distorções do indicador de diversidade em subzonas de tráfego de grande extensão.	84
Figura 19.	Indicador de Demanda por Transporte Público por Hectare.	86
Figura 20.	Empregos acessíveis em até 15 min na RMS para o Cenário Atual. ...	88
Figura 21.	Empregos acessíveis em até 15 min na RMS para o Cenário Tendencial.....	89
Figura 22.	Centralidade de intermediação normalizado da rede de transporte público de média e alta capacidade em 2020.	90
Figura 23.	Centralidade de intermediação para a rede de transporte público de alta e média capacidade da RMS em 2030.....	91
Figura 24.	Indicador de nodalidade para a rede de transporte público de alta e média capacidade da RMS em 2020.	93
Figura 25.	Indicador de nodalidade para a rede de transporte público de alta e média capacidade da RMS em 2030.	93
Figura 26.	Indicador de integração por transporte público para a rede de média e alta capacidade da RMS em 2020.....	95
Figura 27.	Indicador de integração por transporte público para a rede de média e alta capacidade da RMS em 2030.....	96
Figura 28.	Ocorrência de declividades acima de 30% na cidade de Salvador/BA.	97
Figura 29.	Locomoção humana em superfícies inclinadas.....	98
Figura 30.	Diferença de área observada pela consideração da declividade para a qualidade da caminhada.	100
Figura 31.	Indicador de cobertura e microacessibilidade para a rede de transporte público de média e alta capacidade em 2020.	101
Figura 32.	Indicador de cobertura e microacessibilidade para o Cenário Atual. .	101
Figura 33.	Índice de Nó para a rede de média e alta capacidade da RMS em 2020.	105
Figura 34.	Índice de Lugar Geral para o uso do solo na RMS em 2020.....	106
Figura 35.	Matriz Nó-Lugar para localizações/estações no Cenário Atual (2020).....	107
Figura 36.	Consulta espacial aos indicadores de lugar em ambiente SIG no Nó 51.	108

Figura 37.	Matriz Nó-Lugar para a representação dos nós com estações de alta capacidade implementadas em 2020.	109
Figura 38.	Consulta espacial aos indicadores de Nó para o Cenário Atual.....	110
Figura 39.	Índice de Nó consolidado para a rede de alta e média capacidade da RMS em 2030.	112
Figura 40.	Índice de Lugar Geral para o Cenário Tendencial.....	113
Figura 41.	Matriz Nó-Lugar para localizações/estações no Cenário Tendencial (2030).....	115
Figura 42.	Matriz Nó-Lugar para a representação dos nós com estações de média-alta capacidade esperadas em 2030.....	116
Figura 43.	Índice de Nó para o Cenário Atual em tamanho A3.	135
Figura 44.	Índice de Lugar para o Cenário Atual em tamanho A3.....	136
Figura 45.	Índice de Nó para o Cenário Tendencial em tamanho A3.....	137
Figura 46.	Índice de Lugar para o Cenário Tendencial em tamanho A3.	138

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AOD	Acessibilidade Orientada ao Desenvolvimento
BRT	Bus Rapid Transit
CONDER	Companhia de Desenvolvimento Regional
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
OD	Banco de Dados de Viagens da Pesquisa Origem-Destino
RMS	Região Metropolitana de Salvador
SEI-BA	Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia
SEINFRA-BA	Secretaria de Infraestrutura da Bahia
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SubZT	Subzona de tráfego
TOD	Transporte Público Orientado ao Desenvolvimento

1 INTRODUÇÃO

O modelo de urbanização vigente é insustentável, atores institucionais e a sociedade precisam recriar sua visão de cidade em direção a uma agenda urbana marcada pela urbanização sustentável, inclusiva, produtiva e segura (PORTUGAL; MELLO, 2017). Mudanças bem planejadas e coordenadas são catalisadoras de melhorias sociais e econômicas (UN HABITAT, 2016). Segundo a agência das Nações Unidas para as Cidades, a insustentabilidade das atuais políticas urbanas é resultado de um processo de negligência do valor dado ao espaço público e aos benefícios comunitários, enquanto a expansão da tecnologia da informação distanciou as pessoas dos responsáveis pela tomada de decisão, diminuindo a capacidade de responsabilização e por desvios e erros (UN HABITAT, 2016).

Para que mudanças ocorram, no entanto, a participação social e aferição de responsabilidade não parecem ser suficientes. Nesse caso, os paradigmas de planejamento e gestão urbanas também devem estar imbuídos de princípios de sustentabilidade. Na área de políticas voltadas ao transporte e uso do solo, conceitos e orientações de planejamento já estão transformadas desde a virada do século. De atenção ao planejamento orientado à acessibilidade (HANDY, 2005) à discussão do crescimento inteligente que orienta o desenvolvimento urbano compacto ao redor das infraestruturas de transporte (BERTOLINI, 1999). Um dos maiores desafios nesse ponto é desenvolver mecanismos de aplicação dessas ferramentas para contextos urbanos mais complexos, como o caso da América Latina.

O intercâmbio de conhecimento entre especialistas da área é notório, mas outras questões permeiam o grau de sucesso e aplicabilidade de determinadas estratégias de planejamento (TAN; BERTOLINI; JANSSEN-JANSEN, 2014). O estado das estruturas de governança é uma delas, assim como os problemas urbanos herdados do século anterior, como a expansão da população em situação de moradia precária, luta pela universalização de serviços, aumento das disparidades socioeconômicas e aprofundamento de exclusão social (UN HABITAT, 2016).

O modelo atual aprofunda as inequidades no espaço urbano, seja pela desigualdade de acesso, redução das oportunidades urbanas e de geração de renda, ou mesmo por pressionar o meio ambiente para extração de recursos e

ocupação desordenada. Por isso, inflexões nas políticas para tornar uma cidade mais sustentável precisam conjugar um ambiente legal e administrativo favorável, de maneira a fomentar essas políticas a técnicas de planejamento munidas de princípios de proteção ambiental, justiça espacial e desenvolvimento econômico.

Do ponto de vista do transporte e do uso do solo, a mobilidade sustentável e a acessibilidade são conceitos de planejamento que podem nortear políticas públicas de forma a prover uma visão mais abrangente da cidade e seus problemas, bem como mensurar seus padrões espaciais e monitorar perdas ou ganhos. Nesse sentido, o uso de indicadores de rede e de uso do solo é particularmente potente, porque pode evidenciar as dimensões sociais na distribuição das oportunidades e na facilidade de movimento dentro do espaço urbano (CUI *et al.*, 2019).

Com a chegada de investimentos na infraestrutura de transportes nas regiões metropolitanas brasileiras na última década, alavancada por eventos esportivos globais e pela pressão da população afetada pela queda na qualidade do transporte público, surgiu o questionamento sobre os ganhos sociais efetivos proporcionados pelos novos corredores (PEREIRA, 2018). Também se investiga quais estratégias poderiam direcionar soluções para os problemas de mobilidade, acessibilidade e dependência nos modos rodoviários das metrópoles dos países em desenvolvimento (PORTUGAL; SILVA, 2017).

Nesse contexto, a presente pesquisa se propõe a compreender melhor de que forma o planejamento da configuração espacial da rede de transporte público de média e alta capacidade e do uso do solo associado, podem induzir desenvolvimento urbano e mobilidade sustentável em uma metrópole latino-americana, geralmente marcada pela inequidade no acesso à cidade. Dessa forma, o objeto de estudo desta pesquisa é a dimensão espacial da relação transporte – uso do solo, em escala metropolitana. O estado dessa relação será estudado por meio de cenários espaciais construídos por técnicas de geoprocessamento. Estes cenários serão modelados mediante indicadores específicos representando aspectos de interesse do desempenho territorial da rede de transportes e do uso do solo, tendo por base uma abordagem do Transporte Orientado ao Desenvolvimento (TOD) (o transporte público orientando o desenvolvimento urbano).

Portanto, este trabalho irá implementar um conjunto de mapas de referência, denominado Cenário Atual, e um cenário exploratório futuro, denominado Tendencial, considerando a configuração dos principais corredores de transporte

público atuais e propostos para um horizonte ao 2030. Quanto ao uso do solo, de forma análoga, serão levantadas as principais variáveis desejáveis nas políticas TOD.

Dessa maneira, espera-se contribuir com uma proposta metrológica com base fortemente espacial, dirigida a avaliar diretrizes de políticas integradas de transporte – uso do solo, baseadas na localização.

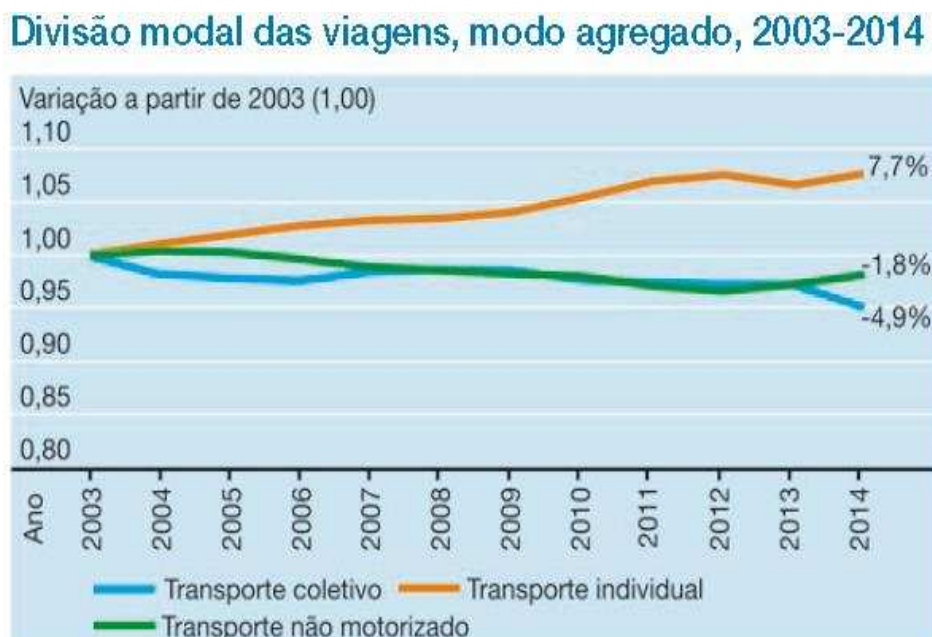
Para atender o seu escopo, esta pesquisa desenvolveu um estudo de caso para a Região Metropolitana de Salvador, metrópole atualmente desafiada a enfrentar questões crônicas de justiça espacial com a chegada de investimentos em infraestrutura de transporte. Espera-se, com o presente estudo, evidenciar a real efetividade destes investimentos, tais como a equidade no acesso a oportunidades urbanas e integração territorial, dentre outros aspectos.

1.1 Estruturação do Problema de Pesquisa

O transporte coletivo no Brasil tem perdido passageiros ao longo das últimas duas décadas (ANTP, 2017, p. 14). Em especial, entre 2003 e 2014, a escolha pelo automóvel particular aumentou 7,7%, ao passo que pelo transporte coletivo diminuiu 4,9% e, pelo não motorizado, caiu 1,8%, como pode ser observado na figura 1.

Paralelamente, estimativas da Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU, 2017) apontam, que o transporte público no Brasil perdeu 18,1% da demanda por passageiros entre os anos de 2013 e 2016. Consequentemente, veículos motorizados individuais passam a disputar espaço nos corredores de média e alta capacidade com os coletivos, o que aumentou também o tempo de deslocamento dos passageiros, efeitos que podem ser traduzidos pela queda de 40% na velocidade comercial dos ônibus do Sistema de Transporte Coletivo (STC) entre 1999 e 2015. Esse contexto de redução da qualidade do transporte público, tanto pela redução do conforto, quanto pela redução do investimento dos operadores de transporte, é uma tendência observada desde o ano de 2003 (VASCONCELLOS, 2003).

Figura 1. Evolução da Divisão Modal das Viagens entre 2003 e 2014.



Fonte: (ANTP, 2017).

No entanto, esses resultados podem ser atribuídos a um conjunto de políticas públicas que favorecem a cultura do automóvel em detrimento ao uso de modos de transporte mais sustentáveis (DELGADO, 2014). Aliado a esse fator, as transformações no espaço urbano da última década apresentam novas tensões sociais e econômicas que desfavorecem os modos de transporte públicos, como o crescimento da violência urbana, a dispersão na ocupação residencial, a concentração de atividades econômicas e a entrada de modos semipúblicos com as novas tecnologias da mobilidade. Somado a tais fatores, o aumento do poder de compra das classes média e baixa, enquanto demanda reprimida, e o estímulo fiscal para a compra de automóveis ou motocicletas também concorreram para o crescimento da taxa de motorização individual no Brasil.

Os efeitos do aumento de veículos motorizados na rua são diversos, a exemplo do aumento da poluição, redução da mobilidade, diminuição da qualidade do transporte público e da qualidade de vida (ALVES; RAIJA-JUNIOR, 2009). Reverter esse quadro passa por revisitar nossa visão de cidade, em busca de uma mobilidade urbana sustentável que se comprometa a promover equidade no acesso aos locais da cidade, reduzir impactos ambientais, melhorar a qualidade de vida e salvaguardar o transporte público.

Essa visão é bem expressa pela Lei da Mobilidade, que pauta para o planejamento e gestão urbanas um modelo de desenvolvimento urbano baseado na: acessibilidade universal; sustentabilidade; eficiência; na segurança e equidade; e na priorização do transporte coletivo e não motorizado (BRASIL, 2012). Entretanto, o que ainda se observa é a predominância de investimentos públicos na infraestrutura rodoviária. Ainda assim, o tema da mobilidade sustentável permanece em discussão, tornando imperativo compreender o impacto desses investimentos no espaço urbano e avaliar que estratégias urbanas devem ser conjugadas a estes projetos, a fim de alcançar uma cidade mais sustentável.

É nesse contexto que a Região Metropolitana de Salvador (RMS) recebe investimentos importantes em mobilidade urbana, em um cenário de desigualdade no acesso às oportunidades urbanas, especialmente aos empregos (DELGADO; BRITO, 2019). No entanto, o desempenho que terá a rede futura, como produto do impacto destes projetos em áreas reconhecidamente de baixa condição de acessibilidade na metrópole, ainda não é bem conhecido.

Nesse aspecto, os padrões de uso do solo associado também possuem um papel fundamental na compreensão do problema, visto que a forma como a rede está sendo implantada, sem o devido acompanhamento de políticas de descentralização de atividades, sobretudo considerando o padrão de crescimento metropolitano disperso, levanta dúvidas se a futura rede de corredores de transporte poderá constituir uma rede integrada de alta capacidade, capaz de induzir um desenvolvimento sustentável (DELGADO, 2016).

Por conseguinte, a presente pesquisa tem como problema central investigar se a configuração atual da Rede, assim como a Rede futura programada poderão induzir padrões de desenvolvimento e em quais regiões isso será possível, tendo como fatores de base os padrões de uso do solo existentes e futuros para a RMS.

Identificar eventuais estratégias integradas de transporte e uso do solo nesse processo poderão servir de subsídio para a concepção e operação desses sistemas. Para tanto, essa pesquisa busca avaliar de forma sistemática diversos atributos que caracterizam os padrões de transporte e uso do solo, pelos princípios de base contidos na mobilidade sustentável e na abordagem TOD, com vistas à promoção de uma cidade mais sustentável, justa e integrada.

2 OBJETIVO

2.1 Geral

Desenvolver uma proposta metodológica dirigida a avaliar o papel da rede de transporte de média-alta capacidade, assim como, a distribuição das atividades urbanas associadas, no relativo ao seu potencial de indução do desenvolvimento urbano e da mobilidade sustentável, em escala metropolitana, tendo por base a relação transporte – uso do solo e a abordagem TOD, em diferentes cenários de planejamento.

2.2 Específicos

- A partir do estudo da abordagem TOD, construir cenários de planejamento por geoprocessamento, visando propor subsídios à gestão integrada da relação transporte e uso do solo;
- Identificar regiões (nós e lugares) com maior potencial de indução do desenvolvimento urbano, oriundo do desempenho territorial produzido pela configuração atual e futura da Rede de Transporte Coletivo de média-alta capacidade, assim como, pelo padrão espacial das atividades urbanas, no contexto de uma abordagem TOD.

3 JUSTIFICATIVA

O modelo desejável de cidade que propõem os especialistas é compacta, conectada pelo transporte público e voltada a vida local. É, portanto, uma cidade que produz, inclui e cresce de forma sustentável (ITDP, 2014). Nesse contexto, técnicas de planejamento urbano começam a incorporar valores sustentáveis na forma de pensar a cidade (VAN LIEROP *et al.*, 2017). Uma dessas mudanças é a consideração do papel do transporte na indução do desenvolvimento urbano sustentável (LI; LAI, 2009).

A relação de retroalimentação entre a forma urbana e o padrão de viagens não é nova (CRANE, 2000), mas existe um esforço entre os especialistas para mensurar os efeitos dessa relação por meio de índices e indicadores, no intuito de formular estratégias de intervenção integradas de transporte e uso do solo (ZHANG *et al.*, 2019). Nas últimas duas décadas, o conceito de TOD, dedicado ao transporte público e não motorizado, tem orientado pesquisas e políticas públicas em países de todo o mundo (THOMAS *et al.*, 2018).

O conceito TOD oferece princípios de planejamento que procuram usufruir ao máximo dos benefícios da relação transporte – uso do solo ao longo dos corredores de transporte público (CHORUS; BERTOLINI, 2016), e a condição ou Potencial TOD pode ser mensurada através de índices de fácil mensuração (GONZÁLEZ *et al.*, 2017).

O problema de pesquisa aqui apresentado se insere neste contexto, no qual o papel da rede de transporte público de média-alta capacidade na indução desenvolvimento e mobilidade sustentáveis em escala metropolitana é incerto. Por um lado, temos que a expansão da rede de alta capacidade pode alterar o grau de conectividade da rede de forma a alterar os tempos de viagens (PARTHASARATHI; LEVINSON, 2018). Por outro lado, a forma urbana organiza o desejo por interação espacial nas cidades (HANDY, 2005), e a localização de estações em áreas com baixa capacidade de transporte pode não provocar os objetivos desejados (BERTOLINI, 1999). Diante da relação solidária entre transporte e uso do solo, é fundamental avaliar os efeitos das políticas implementadas em uma abordagem integrada e adaptativa aos diferentes contextos urbanos.

Sendo assim, esse estudo se propõe a construir uma metodologia de construção de cenários de planejamento TOD para a escala metropolitana,

buscando identificar se as alterações na topologia e cinética da rede de transporte público de média-alta capacidade tendem a favorecer a implementação da rede integrada, e com ela a redistribuição das atividades urbanas de forma a equilibrada na RMS. Além disso, identificar aquelas localidades que espacialmente apresentam um maior potencial para a indução de padrões de desenvolvimento urbano sustentáveis, no contexto de uma abordagem TOD, será fundamental para o nosso estudo.

A técnica de construção de cenários será utilizada neste estudo pela sua dimensão de análise qualitativa e pela possibilidade de gerar processos de aprendizagem na simulação de múltiplas condições urbanas, como a de manutenção de tendências, ocorrências de eventos disruptivos ou implementação de políticas desejadas. Essa flexibilidade no processo de planejamento é especialmente relevante para metrópoles de países em desenvolvimento, mais sujeitos a maiores choques sociais e econômicos, estrangulamento de recursos ou mesmo descontinuidade de programas (DUJINE; BISHOP, 2018).

3.1 Da estrutura do trabalho

O presente trabalho está organizado em 5 capítulos, sendo este o primeiro, o qual contém a introdução, o problema de pesquisa, os objetivos do estudo e a justificativa para a escolha e relevância do tema e escopo.

O capítulo subsequente apresenta o referencial teórico utilizado para embasar os principais conceitos trabalhados nesta pesquisa – a relação transporte e uso do solo, a acessibilidade e o transporte orientado ao desenvolvimento – e a escolha das ferramentas e técnicas utilizadas no método.

Em seguida, o terceiro capítulo apresenta a área de estudo escolhido e a metodologia proposta, com a descrição das etapas em detalhes. O quarto capítulo, por sua vez, apresenta o estudo de caso para a metodologia proposta, na qual são apresentados os cenários de transporte – uso do solo atual, tendencial e considerações acerca dos resultados obtidos.

O capítulo final resume o escopo do trabalho, os resultados observados no estudo de caso e no processo de aprendizagem desenvolvido, bem como estabelece recomendações para pesquisas futuras.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 O Espaço Urbano e a Rede de Transporte

4.1.1 A estrutura do espaço urbano

Segundo Corrêa (2004), o espaço urbano é um conjunto de áreas sobrepostas entre si, que se apresentam fragmentadas e articuladas, diferenciando-se pelos seus usos do solo. Nesse sentido, a estrutura desse espaço é dada pelo modo como os diferentes conjuntos de atividades e funções urbanas se distribuem e se relacionam (KNEIB, 2014). Com isso, a fragmentação do espaço urbano em usos do solo contribui para a criação de viagens, diante da necessidade de alcançar oportunidades urbanas (HANDY, 2005).

Nesse contexto, o modelo de urbanização atual favoreceu a especialização dos usos do solo urbano, em virtude da perda de perspectiva da escala local, do pedestre. A política de transporte rodoviarista incentivou o crescimento urbano disperso e o aumento das distâncias. Porém, em uma perspectiva do desenvolvimento urbano sustentável, é benéfico que o uso do solo volte a ser planejado em escalas menores, a nível de bairro, no qual os deslocamentos não motorizados sejam favorecidos (KNEIB, 2014). Um dos atributos do uso de solo que pode permitir padrões de viagens mais sustentáveis é a diversidade (SONG; MERLIN; RODRIGUEZ, 2013).

O grau de diversidade pode ser mensurado por diversos tipos de indicadores, como os de proporção, equilíbrio ou entropia, entre outros. Esses três indicadores anteriormente citados que são comumente utilizados para aferição de diversidade, com peculiaridades de uso. Os indicadores de proporção apresentam o peso relativo de uma determinada categoria de atividades urbanas sobre as demais em uma determinada região, sendo especialmente útil na avaliação de usos de solo mais escassos no espaço. No entanto, esses indicadores não comparam a proporção relativa de uma categoria com a outra, como é o caso dos dois últimos (SONG; MERLIN; RODRIGUEZ, 2013).

Por sua vez, o segundo grupo de indicadores citado acima mede o grau de equilíbrio existente nos usos de duas categorias distintas de uso do solo. Porém, caso seja necessário entender e classificar uma determinada região pelo equilíbrio na distribuição de três ou mais categorias, indicadores do tipo entropia são recomendados. Esse indicador apresenta seu resultado na escala de 0 a 1, em que

o valor igual a 0 (zero) representa um solo monofuncional e valor igual a 1 (um) indica que a participação relativa de cada categoria é igual. Uma limitação desse indicador, porém, é atribuir notas iguais para regiões de composição de usos de solo diferentes, uma vez que não se pode aferir pesos às categorias ou identificar predominância (SONG; MERLIN; RODRIGUEZ, 2013).

Além disso, o espaço urbano também é estruturado por centralidades, formadas por centros e subcentros (KNEIB, 2014). Essas regiões são geralmente caracterizadas por quatro atributos (KNEIB, 2014, p. 72), dentre eles: o valor do solo e o nível simbólico (CORRÊA, 2004); a acumulação de atividades e a acessibilidade ao transporte (RODRIGUE, 2020). Dentre elas, a acessibilidade é um atributo derivado diretamente do sistema de transporte presente no espaço (KNEIB, 2014), e pela qual a relação transporte – uso do solo se mostra mais contundente. No item 5.2 do presente trabalho, o conceito de acessibilidade será apresentado e discutido.

A identificação de centralidades no espaço urbano é um ponto de partida para compreensão dos fluxos urbanos e, por conseguinte, do planejamento integrado de transporte e uso do solo. Uma das formas de fazê-lo é medir a concentração de empregos por unidades de área. Contudo, em face da escassez de dados de empregos desagregados, a geração de viagens é uma variável indicada para uso (KNEIB, 2014, p. 72-89). Outro fator de solo que se relaciona com a geração de viagens na origem é população, uma vez que um dos principais vetores de deslocamentos urbanos é o residência-trabalho (MANAUGH; EL-GENEIDY, 2012).

Por fim, o ambiente construído é mais um aspecto importante na estrutura do espaço urbano, já que as interferências no espaço natural conformam o desenho de uma rede de deslocamento que interfere no grau de conforto dos deslocamentos ativos, a pé ou de bicicleta (EWING; CERVERO, 2010). No entanto, a qualidade do desenho pode ser considerada uma medida tanto do espaço (lugar), quanto do transporte (nós) (ALVES; ROSSI; PORTUGAL, 2017).

4.1.2 As redes de transporte

Uma rede de transporte em um espaço urbano é composta por 2 elementos principais: a) os nós, que correspondem aos pontos de encontro entre partes da rede e que podem representar origens e destinos ou diferentes estruturas de transporte, como cruzamentos, acessos, pontos de acesso ao sistema de transporte

e outros; e b) as ligações, que podem corresponder aos corredores de transporte ou fluxos de serviços (RODRIGUE, COMTOIS, SLACK, 2016, p. 191-192).

As redes de transporte, como uma rede física, geralmente representam caminhos fixos, e se virtual, fluxos. De acordo com Ducruet e Rodrigue (2013, p. 22), não é tão usual que as redes de transporte físicas sejam inteiramente planejadas, já que elas são produtos de intervenções incrementais na criação de nós, novas ligações, ou alteração de capacidade de serviço de um dos elementos da rede. Com essas alterações, pode-se modificar a facilidade de acesso a destinos e as escolhas de transporte em uma determinada região da rede.

Além dos elementos da rede de transporte apresentados, nós e ligações, Ducruet e Rodrigue (2013, p. 22) apontam que a centralidade é uma característica essencial para a análise das redes. Para os autores, a existência de nós centrais é tendência em diversas redes de transporte, especialmente em economias de escala, pois elas simplificam a comunicação entre nós. Isso é exemplificado na figura 2, onde a presença de uma centralidade na rede diminui o número de ligações necessárias para ligar um nó a outro pela metade. Outro aspecto importante é a qualidade dos fluxos, pois nem sempre as condições de acessibilidade aos nós é distribuída uniformemente na rede. Essa verificação pode ocorrer por meio de indicadores originados na Teoria dos Grafos (DUCRUET; RODRIGUE, 2013, p. 22-23).

Figura 2. Demonstração de uma rede sem presença e com presença de uma centralidade.

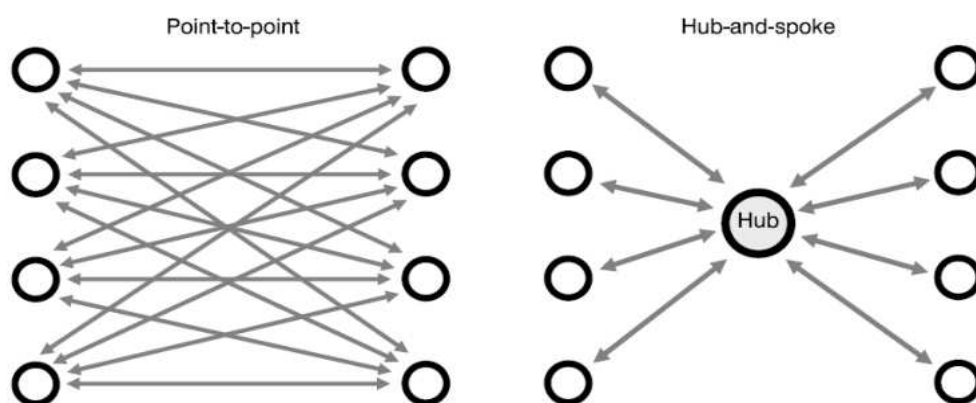


Figure 1.9 Point-to-point and hub-and-spoke networks

Fonte: (DUCRUET; RODRIGUE, 2013, p. 22).

Uma forma de entender o comportamento de uma rede é verificar como os nós são hierarquizados pelas condições com que ocorrem os fluxos. Essa mensuração é possível pelo uso de indicadores de rede, que podem verificar o grau de conectividade e de centralidade dos nós, por exemplo. Os indicadores de centralidade são relevantes pelo poder de simplificação que podem conferir à rede (DUCRUET; RODRIGUE, 2013, p. 22-23).

Há pelo menos 3 indicadores que hierarquizam a importância dos nós em uma rede, sendo eles o grau de centralidade (*degree*) e os indicadores centralidade de intermediação e de proximidade. O primeiro mensura o número de ligações que um determinado nó conecta. Assim, nós centrais geralmente possuem valores de grau maiores, enquanto nós periféricos possuem valores que tendem a 1 (DUCRUET; RODRIGUE, 2013).

O segundo indicador, também conhecido por “*betweenness*”, mede a parcela de caminhos, de todos os possíveis, que passam por um determinado nó na rede. Essa medida pode indicar quais nós são capazes de controlar o fluxo na rede, pois identifica os nós que têm um papel estratégico relacional dentro da rede (FLORENTINO, 2016).

Por último, o indicador de centralidade de proximidade (“*closeness*”) revela a capacidade do nó estudado em conectar fluxos a qualquer outro nó da rede com o menor custo de percurso (RODRIGUE; COMTOIS; SLACK, 2016). Este indicador é calculado pelo inverso do quociente entre a soma de todos os caminhos mínimos a partir de determinado nó *i* e a quantidade total de caminhos possíveis. Nesse indicador, fatores de custo podem ser considerados nas ligações, como distância e tempo de viagem (FLORENTINO, 2016).

4.1.3 Relação transporte – uso do solo

De forma geral, o espaço urbano pode ser entendido como um produto e um agente na relação de interação sociedade-espaço, uma vez que sofre as implicações da reorganização dos objetos e das ações, assim como condiciona os modos como podem ocorrer (CORRÊA, 2004; SANTOS, 2002, p. 124-126). Dentro do espaço, a rede de transporte é um objeto técnico que pode induzir arranjos espaciais pela interação entre a rede de transporte e o espaço urbano, ao mesmo tempo em que pode ter sua função recriada pelas ações humanas ou pelo estado do próprio meio (SANTOS, 2002, p. 94-96). Os efeitos dessa relação podem ser

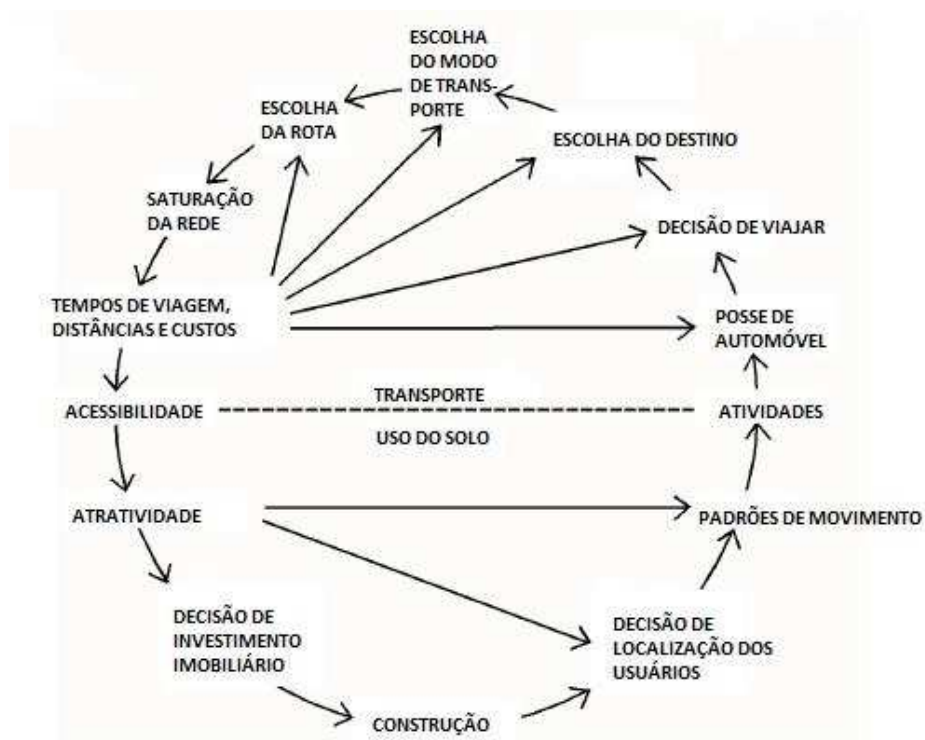
observados pelos processos de valorização e desvalorização da terra no espaço urbano (CORRÊA, 2004).

Nesse sentido, Rodrigue, Comtois e Slack (2016, p. 65) consideram que a rede de transporte é um agente estruturante para a articulação entre os elementos presentes no espaço urbano, pois ajuda a definir os padrões espaciais e as hierarquias de poder entre regiões, refletidos na tipologia do uso do solo. Isso é possível porque a configuração das redes (*morfologia*) e o seu desempenho (*funcionalidade*) condicionam a existência e a qualidade dos fluxos de pessoas, capitais, bens e informação (RAFFESTIN, 1993, p. 150-158). Portanto, apesar das redes de transporte serem fruto das demandas por deslocamento no espaço urbano, elas também induzem o surgimento de origens, destinos e impõem diferentes dinâmicas na interação espacial (RODRIGUE; COMTOIS; SLACK, 2016, p. 65).

Sendo assim, a relação transporte – uso do solo é marcada por um ciclo de *feedback*, no qual a facilidade de deslocamento oferecida pelo transporte atrai o estabelecimento de atividades urbanas nas proximidades de estrutura de acesso ao sistema, ao mesmo tempo em que o uso do solo urbano cria a necessidade pelo deslocamento. Nesse processo, é justamente o grau de facilidade no deslocamento (*acessibilidade*) que altera o processo de valorização da terra, atraindo o investimento imobiliário, os padrões de movimento e a localização dos usuários, segundo suas condições de acesso às atividades urbanas (WENEGER; FUERST, 1999).

A figura 3 a seguir apresenta essa relação de forma esquematizada, na qual, podemos observar que a decisão por viajar e o padrão de uso do solo se correlacionam de forma interativa. Por um lado, atributos do solo orientam os padrões de movimento, haja vista que é condicionado pela separação espacial entre usuários e atividades. Por outro lado, os custos de transporte induzem a localização da população e das atividades, sendo que essas condições são traduzidas pela acessibilidade (WENEGER; FUERST, 1999).

Figura 3. Esquema explicativo do ciclo *feedback* entre transporte e uso do solo.



Fonte: (WENEGER; FUERST, 1999, p. vii).

4.2 Acessibilidade

4.2.1 Conceito e escalas

A acessibilidade é um parâmetro que mede a facilidade de alcançar destinos desejáveis. Nesse sentido, ela traduz as condições gerais do deslocamento, sejam elas devidas à configuração da rede utilizada e sua conectividade, à infraestrutura disponível, ou à frequência de atendimento do sistema, dentre outras características (BRASIL, 2013). Para fins de planejamento, o estudo da acessibilidade tem a função de evidenciar a hierarquia entre regiões ou entre os grupos sociais quanto à sua facilidade de deslocamento em suas viagens cotidianas (LUCAS, 2012).

O conceito de acessibilidade no transporte já é bastante conhecido, e foi primeiramente utilizado por Hansen (1959) na identificação de parâmetros de planejamento para sistemas de transportes. A definição mais conhecida da acessibilidade é que ela corresponde à facilidade de acesso a destinos (HANSEN, 1959). Mas diversos autores expandem suas interpretações sobre a acessibilidade, ressaltando a importância da natureza das atividades no destino, da definição da escala de análise (KNEIB; PORTUGAL, 2017, p. 73-77) e distribuição dos benefícios

de investimentos em transporte entre grupos sociais (PEREIRA; SCHWANEN; BANISTER, 2017).

Ao ser definida como “facilidade de acesso a atividades” (KNEIB; PORTUGAL, 2017), a acessibilidade incorpora elementos do sistema de transporte, que determinam os aspectos da mobilidade, como também inclui elementos do ordenamento do uso do solo, pois refletem a concentração ou dispersão das atividades no espaço.

Lopez-Escolano e Pueyo-Campos (2019) consideram que a acessibilidade é uma das variáveis que explicam a dinâmica espacial de um lugar, pois refletem como a rede e outros componentes do transporte atuam para garantir determinados padrões espaciais, favorecendo áreas em detrimento de outras, e demonstra qual o significado dessas relações no contexto social e econômico da região.

Para Kneib e Portugal (2017), o estudo das condições de acessibilidade deve evidenciar a natureza das atividades no destino, uma vez que mesmo viagens sob condições difíceis de acesso pelo sistema de transporte ainda ocorrem pelo caráter de subsistência que marcam certos deslocamentos. Manaugh e El-Geneidy (2012) ressaltam, que as viagens motivadas pelo emprego apresentam essa característica para grupos sociais em desvantagem econômica. Em geral, a população em situação mais vulnerável economicamente reside fora das zonas com boa acessibilidade, e conseqüente maior valor do solo no mercado imobiliário.

Alguns autores indicam que o estudo da acessibilidade pode ser orientado com diferentes objetivos a depender da escala de análise, pois há diferença na natureza das viagens, seja de longa ou curta distância, e há diferentes motivos que condicionam as viagens. Quando Vasconcellos (2001) diferencia 2 escalas, a macroscópica e a microscópica, ele indica que na primeira os deslocamentos de escala urbana ou metropolitana são objeto de estudo; ao passo que, na segunda escala, é de interesse avaliar as viagens curtas até a entrada no sistema de transporte de média e alta capacidade.

Do ponto de vista da proposta de planejamento, Kneib e Portugal (2017) recomendam que a macroacessibilidade oriente a busca por equidade no acesso a oportunidades urbanas pelo transporte público, com foco nas viagens diárias. Enquanto isso, a microacessibilidade deve orientar a redução de viagens motorizadas e provocar mudanças no ambiente construído que induzam o uso do transporte ativo. Esses autores ainda consideram uma escala intermediária para

uma área de abrangência menor que a metropolitana, a mesoacessibilidade, cujo foco deve ser a promoção da autonomia local no acesso a oportunidades urbanas.

4.2.2 Acessibilidade e a Mobilidade sustentável

Como discutido até aqui, a distribuição das atividades urbanas no espaço das cidades é indutora do desejo de conexão, que poderá ser atendido pelas circunstâncias de deslocamento, particularmente pela presença ou ausência de conexão por uma rede de transporte. Diante disso, a realização desses fluxos no espaço urbano sob determinadas condições caracteriza a mobilidade urbana (BRASIL, 2012). Nesse sentido, a mobilidade representa o padrão realizado ou potencial de viagens diante do contexto social, cultural e institucional da cidade, ao passo que a acessibilidade se relaciona com o grau de facilidade para haver a interação espacial entre origem e destino (KNEIB; PORTUGAL, 2017).

Por exemplo, ainda que uma região de interesse tenha baixos custos de viagem para alcançar uma determinada atividade urbana, a viagem pode não acontecer devido à precariedade econômica do viajante. A não realização de viagens, nesse caso, é um indicativo da imobilidade, ou ainda, da dimensão econômica da mobilidade urbana.

Contudo, esse ponto de vista dimensional da mobilidade urbana implica no entendimento de que o estado da mobilidade é afetado por circunstâncias econômicas, sociais e ambientais. Nesse contexto, a mobilidade sustentável é uma meta de planejamento, isto é, um resultado desejável para as condições dos fluxos urbanos. Ela ocorre quando os padrões de viagem ocorrem com o uso de modos de transporte preferencialmente não motorizados, se não coletivos, de forma segura e com resultados socioeconômicos positivos, favorecendo os usuários de menor renda ou de maior vulnerabilidade social (PORTUGAL; SILVA, 2017).

4.2.3 Análise das condições de acessibilidade por indicadores

Uma função de acessibilidade é capaz de quantificar a facilidade de acesso a destinos por meio de uma relação inversa à impedância do deslocamento. Por sua vez, a resistência ao movimento é generalizada por outra função, relativa aos custos da viagem, como: o tempo; distância; tarifa; risco; e conforto (FERRONATO; MICHEL, 2007).

Todos esses fatores de custo estão intimamente ligados à mobilidade: quanto menor a impedância da viagem, maior a possibilidade de ocorrer a viagem. Portanto,

se os investimentos para melhoria da acessibilidade favorecem a motorização individual ou bairros privilegiados economicamente, por exemplo, então a perda de passageiros pelo transporte público é mera consequência dessa diretriz de planejamento (DÍAZ, 2011; ANTP, 2017).

A composição de custos para a análise da acessibilidade pode ser bem diversa, a depender da característica do sistema de transporte que se pretende analisar. Raia-Junior (2000), por exemplo, descreveu 5 categorias de indicadores. Dentre eles, indicadores topológicos, cinéticos e com atributos de uso do solo, os quais caracterizam indicadores de acessibilidade.

A rede pode ser avaliada quanto à sua acessibilidade global, classificando os nós quanto à facilidade de alcançar quaisquer outros pontos de conexão da rede ao medir custo global para alcançar todos os nós da rede. Nessa avaliação, pode-se caracterizar a estrutura interna da rede, a qual apresenta os nós mais bem localizados para alcançar qualquer outro nó da rede.

Para tanto, é preciso conhecer uma matriz nodal de acessibilidade, composta com caminhos ou custos mínimos entre cada par origem-destino. A soma de todos os custos de viagem a partir de um mesmo nó representa o indicador de nodalidade (DUPUY, 1985 *apud* DELGADO, 2000). É interessante notar que o indicador centralidade de proximidade (*closeness*) é o inverso da nodalidade. Essa similaridade é esperada, considerando que ambos mensuram a facilidade de acesso pelo custo total de deslocamento.

Para além dos indicadores focados em mensuração dos aspectos de rede, Martens e Goloub (2012) destacam a necessidade de incluir o estudo de indicadores que mensurem característica de uso do solo, seja na origem, no destino ou ambos. Os autores argumentam que os indicadores baseados em rede são capazes de medir o desempenho do sistema de transporte através de variáveis como tempo de viagem ou frequência do sistema, mas não refletem as circunstâncias sociais das viagens.

Dessa forma, os indicadores gravitacionais e baseados em oportunidades acumulativas no destino usufruem da potencialidade do planejamento orientado à acessibilidade, pois consideram a oferta de oportunidades e o perfil socioeconômico no espaço como condicionantes para a facilidade de acesso a destinos. Por isso, apesar de manter uma forma simples, estes tipos de indicadores são suficientemente robustos para retratar sistemas complexos (REGGIANI, 2012).

No caso do indicador de acessibilidade gravitacional, Delgado e Brito (2019) descrevem como este pode ser aplicado no estudo de viagens residência-trabalho por transporte público, com a inserção de variáveis de população na origem e quantidade de oportunidades de emprego nos destinos, conforme Equação (1).

Os custos da viagem que separam os 2 pontos no espaço são traduzidos pelo tempo de viagem, que é elevado ao quadrado como na composição geral do indicador gravitacional (MARTENS; GOLOUB, 2012). O valor quadrático do tempo de viagem faz com que o indicador seja bastante sensível a alterações no tempo de viagem.

$$AG_{ij} = \frac{Pop_i \times Emp_j}{t_{i-j}^2} \quad (1)$$

Onde AG_{ij} é o valor do indicador de acessibilidade gravitacional resultante para um par origem-destino, Pop_i é a variável que considera a população residente na origem, Emp_j é a variável que considera o número de oportunidades de emprego na zona de destino e t_{ij} corresponde ao tempo de viagem (DELGADO; BRITO, 2019).

Por fim, o indicador de acessibilidade a destinos pode ser utilizado para evidenciar o acesso às atividades no destino, e é interessante ser utilizado de forma complementar ao gravitacional pela simplicidade na leitura do indicador (EL-GENEIDY; LEVINSON, 2006).

Geralmente, um tempo limite de viagem é estabelecido para as interações espaciais, em torno de 30 (trinta) minutos para viagens a empregos pelo transporte público. No entanto, os estudos de Pereira (2018) conduzidas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro aplicam o tempo limite de 60 (sessenta) minutos, já que os tempos médios naquela metrópole estão mais próximos de 1 hora. De toda forma, a estrutura deste indicador se apresenta como na Equação (2):

$$A_i = \left(\sum_{j=1}^J B_j * a_j \right) \quad (2)$$

Onde A_i é o indicador de acessibilidade a oportunidades para cada zona origem i ; B_j uma variável binária que vale 1 (um) se a zona destino é alcançada dentro do intervalo estipulado, ou 0 (zero), caso contrário; e a_j corresponde ao número de empregos acumulados alcançados na zona destino j .

4.3 Transporte Público Orientado ao Desenvolvimento

4.3.1 A sustentabilidade nas estratégias de planejamento urbano

A relação entre o transporte e uso do solo no espaço urbano se dá pela diferenciação espacial que produz a necessidade por movimento, fazendo surgir destinos desejáveis. Ao mesmo tempo, a presença da infraestrutura de transporte favorece o movimento ao longo do seu eixo, valorizando o solo no seu entorno, o que pode provocar mudanças no tipo e no padrão de seus usos (RODRIGUE; COMTOIS; SLACK, 2013, p. 65). No entanto, a relação histórica entre esses 2 campos é longa e complexa, por isso tem recebido atenção de pesquisadores por pelo menos 1 século (VAN LIEROP *et al.*, 2017).

Com efeito, ao mesmo tempo em que especialistas trabalhavam para viabilizar na prática o planejamento integrado entre transporte e o uso do solo, suas áreas de estudo mudavam ao longo do tempo de acordo com o aparecimento de novas tecnologias, visões sobre políticas e resultados de determinadas práticas (VAN LIEROP *et al.*, 2017).

Um levantamento importante no final da década passada foi realizado pelos pesquisadores Chia-Nung Li e Tsung-Yu Lai, cujos resultados mostram como uma política de transporte e uso do solo estabelecida entre planejadores e acadêmicos, o Desenvolvimento Orientado Transporte (DOT), foi substituída pelo Transporte Orientado ao Desenvolvimento (TOD) por consequência da visão sustentável sobre as políticas urbanas (LI; LAI, 2009).

Neste processo, as referências conceituais para o planejamento de transporte foram caminhando ao encontro dos preceitos da sustentabilidade. A valorização do tráfego e do fornecimento de mobilidade aos usuários do transporte foi sendo questionada pelo excessivo privilégio ao transporte individual motorizado, que contribui para a cidade dispersa e dependente de combustíveis fósseis. Com isso, a advocacia pelo planejamento orientado à mobilidade sustentável e à acessibilidade tem pautado a lógica das políticas TOD (VILLADA *et al.*, 2017).

O conceito do TOD surge a partir do aprofundamento na discussão sobre o desenvolvimento sustentável das cidades, como uma ramificação do conceito *Smart Growth* para o transporte. À luz das discussões sobre a cidade compacta, ambientalmente segura e eficiente, os princípios TOD começaram a ser desenhados visando a eficiência da localização.

As estações de transporte se tornaram o foco de planejamento, a fim de serem estrategicamente colocadas em locais povoados e de receberem atividades diversas de: emprego; educação; saúde; entre outros, no seu raio de influência. Dessa forma, a estação de transporte poderia redistribuir oportunidades urbanas antes concentradas em uma centralidade, tornando ela mesma um polo de atividades e diminuindo a necessidade por viagens motorizadas. Em paralelo, o acesso à rede próximo à demanda incentiva o uso de modos de transporte não motorizados até as estações e a migração para o transporte público (VILLADA *et al.*, 2017, p. 175-178).

4.3.2 Estratégias TOD sob a perspectiva da acessibilidade

O conceito de acessibilidade no planejamento urbano é um paradigma importante para a definição dos princípios TOD, dado o enfoque das suas estratégias em privilegiar áreas densamente habitadas e distantes das centralidades urbanas (VILLADA; PORTUGAL, 2015; MELLO *et al.*, 2017). Entretanto, vale destacar também o conceito desenvolvido por Bertolini (1999) sobre a interface entre rede e uso do solo que orientam as estratégias de planejamento TOD.

Para Bertolini (1999), a estação de transporte tem funcionalidade não só para a rede, mas também para o espaço em que ocupa. O nó, portanto, também deve ser lugar, e repartir as vantagens produzidas pela acessibilidade entre pessoas e com empreendimentos que ocupam suas proximidades. Assim, o uso de solo misto e acessível a diversos grupos sociais realiza o potencial de interação humana em um ponto no espaço que tem acessibilidade à rede e que também pode ter acessibilidade a lugares (BERTOLINI, 1999).

Entretanto, esse ordenamento do uso deve ser planejado junto ao transporte, a fim de garantir não somente a densidade de ocupação, o desenho favorável a integração com modos não motorizados, a mistura de padrões residenciais, mas também a não competição entre estações de transportes (CHORUS; BERTOLINI, 2016). Do contrário, essas vantagens serão captadas pelo mercado imobiliário sem

a mediação dos atores institucionais que tem por dever garantir distribuição equitativa dos benefícios da acessibilidade (MANAUGH; EL-GENEIDY, 2012).

Assim, o TOD se apresenta como um instrumento de planejamento que induz a reorganização do solo urbano em torno de estações de integração de transporte público. Villada e Portugal (2018) resumem o conceito TOD em 8 (oito) princípios de planejamento:

- a) Aumentar o adensamento urbano em áreas já ocupadas;
- b) Compactar o território da cidade, a fim de diminuir a pressão das fronteiras urbanas sobre as áreas verdes;
- c) Diversificar o uso do solo urbano, com a mistura de funções residencial, de trabalho/estudo, saúde e lazer, de modo a descentralizar as atividades e reduzir viagens motorizadas;
- d) Induzir o transporte ativo, como andar a pé e usar bicicleta, que são consequências diretas da aproximação do indivíduo de suas atividades cotidianas;
- e) Desenvolvimento econômico, pelo aumento da qualidade de vida da população e do apoio ao empreendedorismo local (DELGADO, 2016).
- f) Favorecimento do transporte público, de modo que o sistema seja eficiente e acessível, a fim de evitar viagens motorizadas individuais;
- g) Conectar a rede, implementando a integração física entre modos de transportes;
- h) Planejar a estação de transportes e seu entorno com estudo de demandas potenciais para que favoreça a integração entre modos, o uso misto do solo urbano e a microacessibilidade (DELGADO, 2016).

A partir desses princípios, é possível compor uma visão estratégica que viabilize a construção de uma cidade mais inteligente, compacta, verde e socialmente justa, com o intuito de reverter a crescente dependência do uso do automóvel em cidades de países em desenvolvimento (SUZUKI; CERVERO; IUCHI, 2013, p. 3).

4.3.3 Índices e indicadores TOD

A implementação de políticas TOD requer a incorporação dos seus princípios para processos de planejamento e avaliação de políticas urbanas. Na literatura,

observa-se metodologias baseadas na criação de índices, como observado em Bertolini (1999) e Singh *et al.* (2014). Na composição desses índices incluem-se indicadores que procuram mensurar 8 atributos-chave para o entorno da estação: densidade populacional; diversidade de atividades; quantidade de destinos acessíveis pelo pedestre; demanda pelo transporte; integração com outros modos; facilidades ao pedestre no ambiente construído; e capacidade do sistema de transporte (GONZÁLEZ *et al.*, 2017).

Essas dimensões de uso do solo e transporte visam mensurar a facilidade em alcançar atividades à estação na área de caminhada padrão (GUERRA; CERVERO, 2013), além de medir a capacidade de transporte oferecida pela infraestrutura, em termos de conectividade e qualidade do serviço (SINGH *et al.*, 2018).

Os resultados de um índice TOD podem ser expressos em forma de mapas (SINGH *et al.*, 2014) ou por modelos gráficos, em 2 dimensões, com eixos dedicados aos atributos do uso do solo (Índice de Lugar) e do transporte (Índice de Nó) (BERTOLINI, 1999), ou mesmo em 3 dimensões, com o destaque da dimensão do ambiente urbano (VALE; VIANA; PEREIRA, 2018) ou da centralidade da rede (DOU; WANG; DONG, 2021).

De toda forma, índices TOD resultam da agregação de indicadores, de forma generalizada ou por dimensões. O trabalho de Alves, Rossi e Portugal (2017, p. 278) fornece um levantamento bibliográfico dos indicadores disponíveis para geração de índices TOD baseadas no Modelo Nó-Lugar de Bertolini (1999). Estes autores procuram identificar um conjunto de variáveis e indicadores que se apresentem como representativos para caracterizar o melhor possível o Nó e o Lugar, no contexto de uma abordagem de equilíbrio TOD.

A identificação adequada dos fatores e variáveis, traduzidos em indicadores, tem uma importância crucial nos aspectos metodológicos, com vistas a identificar em que situação se encontra a Estação em estudo (ou eventual localização), principalmente no relativo a destacar as de relações de causalidade no seu desequilíbrio. Esta abordagem orienta intervenções seja no Nó ou no Lugar desequilibrado e serve de referência metodológica para esta pesquisa. A tabela 1 a seguir apresenta alguns exemplos de fatores, variáveis e indicadores para o compor os índices de Nó (transporte) e Lugar (uso do solo).

Tabela 1. Exemplos de variáveis e indicadores para os Índices de Nó e Lugar.

Índice	Indicador	Variável/Descrição
NÓ	Integrações multimodais	Ônibus, alimentadores e vagas de estacionamento, bicicletário, ciclovias
	Acesso a pé	Estações acessíveis em 20 minutos e qualidade de caminhada
	Estação terminal e distância entre as estações	Abrangência da área de influência
	Conectividade	Relação com a integração dos transportes públicos/acessibilidade
	Centralidade	Atratividade
LUGAR	Diversidade de uso do solo TOD	Projeto urbanístico
	Empregos na área de influência	Porcentagem de empregos gerados
	População	Densidade demográfica no bairro da estação
	Polos Geradores de Viagens	Centros Comerciais, Financeiros, de Ensino, Hospitalares, Desportivos, de Lazer, Aeroportos, Rodoviárias
AMBIENTE URBANO (Nó ou Lugar)	Distância do centro da cidade	Centralidade, acessibilidade, atratividade
	Frequência de passageiros	Número de viagens geradas ao longo do dia
	Segurança pública	Atração/repulsão de passageiros

Fonte: (ALVES; ROSSI; PORTUGAL, 2017).

Nesse contexto, há uma vertente de estudo nesta área dedicada a propostas metodológicas, particularmente pela necessidade de adequar as experiências TOD ao redor do mundo às questões locais (THOMAS *et al.*, 2018). Incluem-se nessa questão também as escalas de planejamento. Segundo (GONZÁLEZ *et al.*, 2017), as metodologias do Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP, 2014) são mais adequadas ao nível operacional de planejamento, ao passo que Índices TOD, como o desenvolvido por Singh *et al.* (2014) são propícios para o nível mais abrangente, de formulação de estratégias.

Por sua vez, as escalas urbanas também orientam o procedimento de planejamento utilizado. Como argumenta Justino *et al.* (2017), há pelo menos 3

escalas de análises para estudos e planos urbanos: a) a escala micro, a nível local e do pedestre; b) a escala meso, de bairros ou outras áreas intraurbanas; e c) a escala macro, regional ou metropolitana. Nesse sentido, a formulação do índice TOD deve prever indicadores compatíveis com a escala de análise pretendida.

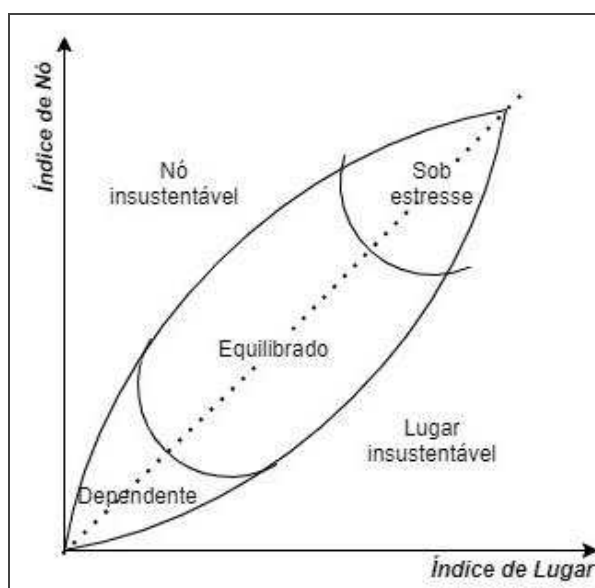
4.3.4 Modelo Nó-Lugar

Com o intuito de aproveitar as potencialidades dos recursos disponíveis no espaço urbano, as estratégias TOD usualmente valorizam os nós da rede de transporte público que recebem intensos fluxos de pessoas: as estações. Como estes locais – e as áreas no entorno – permitem o acesso ao sistema de transporte, eles têm potencial para produzir interação humana com o espaço, desde que oportunidades sejam oferecidas.

Assim, na perspectiva da política TOD, a otimização dos deslocamentos ocorre quando um nó acessível está em um lugar que oferece oportunidades com grau de intensidade e diversidade que promovam a descentralização orientada das atividades e o desenvolvimento econômico (BERTOLINI, 1999).

A equalização das características do nó e do lugar para as estações de transporte público e seu entorno é denominada *Modelo Nó-Lugar*, e pode ser realizada pela construção de um Índice de Nó e um Índice de Lugar, que se relacionam graficamente como na figura 4.

Figura 4. Modelo Nó-Lugar de Bertolini (1999).



Fonte: (BERTOLINI, 1999).

Na representação gráfica do modelo, a relações nó-lugar podem ser qualificadas pelo *equilíbrio*, na região próxima à bissetriz central, ou, alternativamente, pela *insustentabilidade*. A primeira hipótese é alcançada quando a demanda por viagens associadas ao lugar próximo da estação, de produção e atração, é compatível com o grau de acessibilidade conferido pelo nó da rede.

Nesse aspecto, há um equilíbrio na demanda e no fornecimento de acessibilidade, de tal forma que a necessidade de realizar a viagem pode ser atendida pelos modos coletivos e não motorizados. Isso não ocorre quando a estação tem a capacidade captar/receber um fluxo intenso de usuários, que não serão atendidos em suas demandas por atividade, ou quando um lugar possui intensa demanda por viagens, mas não é servida adequadamente pelo sistema (BERTOLINI, 1999). Esses casos podem ser marcados pelo desperdício de recursos na implementação da infraestrutura de transporte e pela falta de investimento em locais de demanda potencial, respectivamente.

Entretanto, a condição de equilíbrio não é só caracterizada pela compatibilidade entre a acessibilidade do nó e a demanda do lugar, mas também por sua intensidade. Nos casos em que a estação de transporte possui uma relação dependente entre nó e lugar, existe uma baixa demanda por viagens e baixa oferta de serviços de transporte (ALVES; ROSSI; PORTUGAL, 2017). Portanto, há oportunidade para intensificar o adensamento de atividades e aumentar a oferta (BERTOLINI, 1999). Essa condição pode ser considerada a segunda mais ideal, pois permite flexibilidade nas intervenções de transporte e uso do solo (BERTOLINI, 1999).

As estações sob estresse são aquelas próximas à saturação (ALVES; ROSSI; PORTUGAL, 2017), onde as condições de acessibilidade do nó e a demanda por atividades podem provocar conflitos na busca por terras na vizinhança destas estações (BERTOLINI, 1999).

Este modelo conceitual apresentado por Bertolini (1999) tem sido revisitado por diversos autores em estudos na escala local, notadamente no trabalho de Vale, Viana e Pereira (2018), que propõe a adição de uma terceira dimensão no modelo para a escala local, como na análise comparativa de estações da rede de transporte, especialmente metroferroviários. O mesmo é visto nos trabalhos de Dou, Wang e Dong (2021), Li *et al.* (2019) e Zhang, Marshall e Manley (2019), que classificam a

condição de equilíbrio dos índices nó/lugar nas estações de Xangai, nos 2 primeiros trabalhos, e Londres, no último.

Mesmo para diferentes escalas e sob disponibilidade de dados variada, o modelo “nó-lugar” oferece uma metodologia viável, com parâmetros de entrada adaptáveis, e ainda é suficientemente sofisticada para traduzir efeitos complexos da relação entre transporte e uso do solo.

4.3.5 Considerações adicionais sobre as estratégias TOD

Dada a relevância do caráter local das estratégias TOD, em torno das estações, muitas políticas orientadas pelos princípios TOD são restritivas a determinadas regiões e falham em prover acessibilidade a deslocamentos para maiores distâncias, por exemplo, entre municípios em regiões metropolitanas (DEBOOSERE; EL-GENEIDY; LEVINSON, 2018).

Para minimizar essas questões, Mello *et al.* (2017) propuseram diferenciar as escalas de análise, haja vista que, para cada caso, as estratégias precisam ser distintas. Para a escala local, deve-se favorecer o transporte ativo e o atendimento das necessidades imediatas por atividades urbanas, promovendo a autonomia local. Porém, para a escala global, deve-se buscar a equidade de acesso às oportunidades urbanas através da rede e da descentralização de oportunidades urbanas, através da indução do desenvolvimento econômico inclusivo e da promoção de justiça socioespacial.

De forma semelhante, Chorus e Bertolini (2016) buscam compreender quais estratégias podem ser elaboradas a partir dos princípios TOD para a escala metropolitana. Eles trabalham esse tema considerando como os solos ao redor das estações podem ser organizados para promover diversidade, e ao mesmo tempo serem suficientemente diferenciados entre si para promover os fluxos entre os nós da rede. Dessa forma, os polos de atividades urbanas se organizam em torno das estações de alta capacidade e incentivam o uso da rede associada, tanto em ambas as direções durante o horário de pico, quanto fora dele.

Em um outro viés, os autores Deboosere, El-Geneidy e Levinson (2018) entendem que os princípios TOD não dão conta da escala global, por isso, buscam construir um novo paradigma, a Acessibilidade Orientada ao Desenvolvimento (AOD).

O conceito de AOD definido no texto de Deboosere, El-Geneidy e Levinson (2018) apresenta a ideia de que o planejamento de transporte e uso do solo devem valorizar a relação funcional entre origens e destinos, destacando a importância que os ganhos de acessibilidade a empregos exercem na indução de mudanças positivas na distribuição de atividades no espaço urbano. Corroborando os resultados encontrados, os autores supracitados argumentam que a acessibilidade a empregos atua como uma força atrativa de residências, atividades comerciais, de lazer, dentre outras, promovendo assim o uso de solo diversificado e próximo às altas densidades, com um impacto de escala metropolitana.

De toda forma, autores dedicados ao tema alertam que o desafio de governança é central na discussão de estratégias de planejamento, a fim de coordenar as ações do capital privado com os interesses públicos de ocupação do solo no entorno das ações (CHORUS; BERTOLINI, 2016).

Na mesma linha, a UN Habitat (2016) aponta, que a governança e as finanças são as regras do jogo na implementação de políticas urbanas. Por isso, é um aspecto central a ser levado em consideração é o de que muitas lições sobre a implementação de políticas TOD são oriundas de espaços urbanos na Ásia, Europa Ocidental e América do Norte (THOMAS *et al.*, 2018), e que nesses locais, há considerações sobre os instrumentos legais e estrutura de governança essenciais para a viabilidade destas políticas (POJANI; STEAD, 2015).

Com efeito, o engajamento de atores institucionais e civis em torno das ideias incorporadas no TOD, acessibilidade, mobilidade sustentável e uso do solo misto são decisivos no processo de construção de futuro (GOODSPEED, 2020).

Por último, vale ressaltar que a maior parte dos trabalhos neste tema são focados em projetos TOD já implantados ou ao longo de corredores de alta capacidade já implementados. No entanto, do ponto de vista do planejamento, é importante identificar o potencial para aplicação de estratégias TOD, seja em áreas com acesso a estações ou em áreas com altos níveis de atividade urbana não conectada por uma infraestrutura de alta capacidade.

Essa avaliação pode ocorrer através do mapeamento de um índice de Potencial TOD sobre uma região de interesse, cuja composição deve constar indicadores que incorporam princípios TOD para o desenvolvimento sustentável das áreas, como: densidade e intensidade das atividades urbanas; diversidade de usos

do solo; e desenho urbano adequado para fomentar deslocamentos não motorizados na área de influência de uma provável estação (SINGH *et al.*, 2014).

4.4 Padrões de uso do solo e aspectos da mobilidade urbana na RMS

O panorama da estrutura urbana atual da Região Metropolitana de Salvador é de alta concentração de atividades urbanas e forte dependência dos demais municípios com a capital, Salvador. Esse padrão de concentração é acompanhado por um processo de expansão urbana em direção contrária às duas principais centralidades, impulsionados por vetores de crescimento da faixa urbana sobre as áreas rurais metropolitanas (PEREIRA *et al.*, 2019).

Adicionalmente, esse movimento de dispersão ocorre ao mesmo tempo em que a população da RMS envelhece, grande parte devido à redução das taxas de fecundidade em Salvador, o que pode levar a uma redução das densidades urbanas nas áreas de ocupação consolidada e adensar regiões fora do núcleo central (PEREIRA *et al.*, 2019).

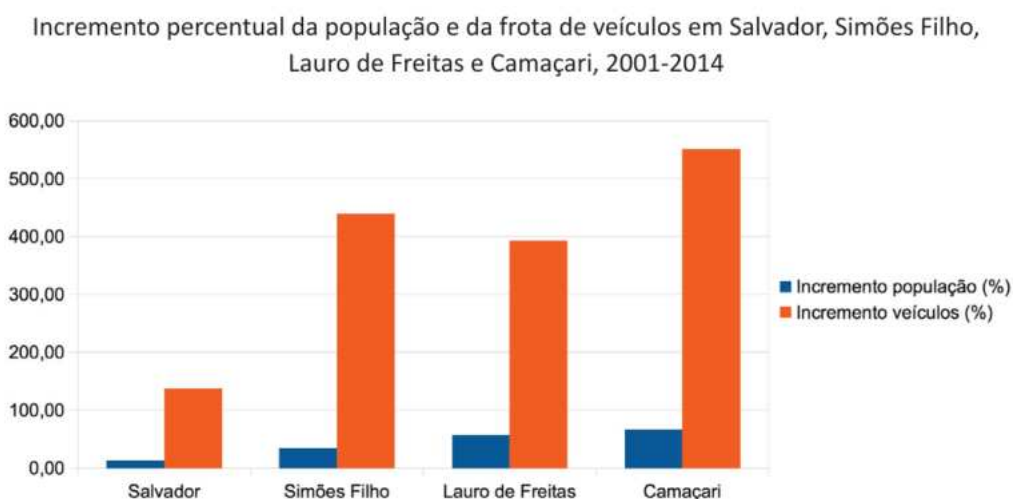
Entretanto, não se identificam na RMS políticas públicas de descentralização das atividades urbanas, a fim de reduzir as deseconomias urbanas geradas pelo aumento da distância entre população e serviços urbanos (DELGADO, 2016). Essa oposição entre os padrões de uso do solo e crescimento, de concentração e dispersão, respectivamente, pode ser em parte explicada pela desarticulação entre as políticas urbanas dos municípios da metrópole (PEREIRA *et al.*, 2017a).

A RMS possui estruturas institucionais frágeis para alinhamento e planejamento de políticas de forma integrada, alguns inclusive repetidos, mas propostos por entes federativos diferentes (PEREIRA *et al.*, 2017a). Dessa forma, o ambiente de governança metropolitana tem sido mais de confronto do que de alinhamento e cooperação entre as estruturas de gestão municipais (PEREIRA *et al.*, 2019).

Ao mesmo tempo, a rede de corredores de transporte público que conecta os centros e subcentros metropolitanos é predominantemente rodoviária, com a existência de eixos ferroviários em Salvador e Simões Filho e hidroviários, entre Salvador e Itaparica, Vera Cruz e Madre de Deus. Essa dependência do modo rodoviário para vencer os deslocamentos metropolitanos se reflete na expansão da frota de veículos automotores na RMS (PEREIRA *et al.*, 2017b).

De acordo com dados consolidados por Pereira *et al.*, 2017b (p. 80), o aumento de veículos particulares em Salvador foi maior que 100% para o período de 2001 a 2014, aproximadamente 400% em Simões Filho e Lauro de Freitas e praticamente 550% em Camaçari. Ao mesmo tempo, os incrementos populacionais foram muito mais tímidos, como pode se observar na figura 4.

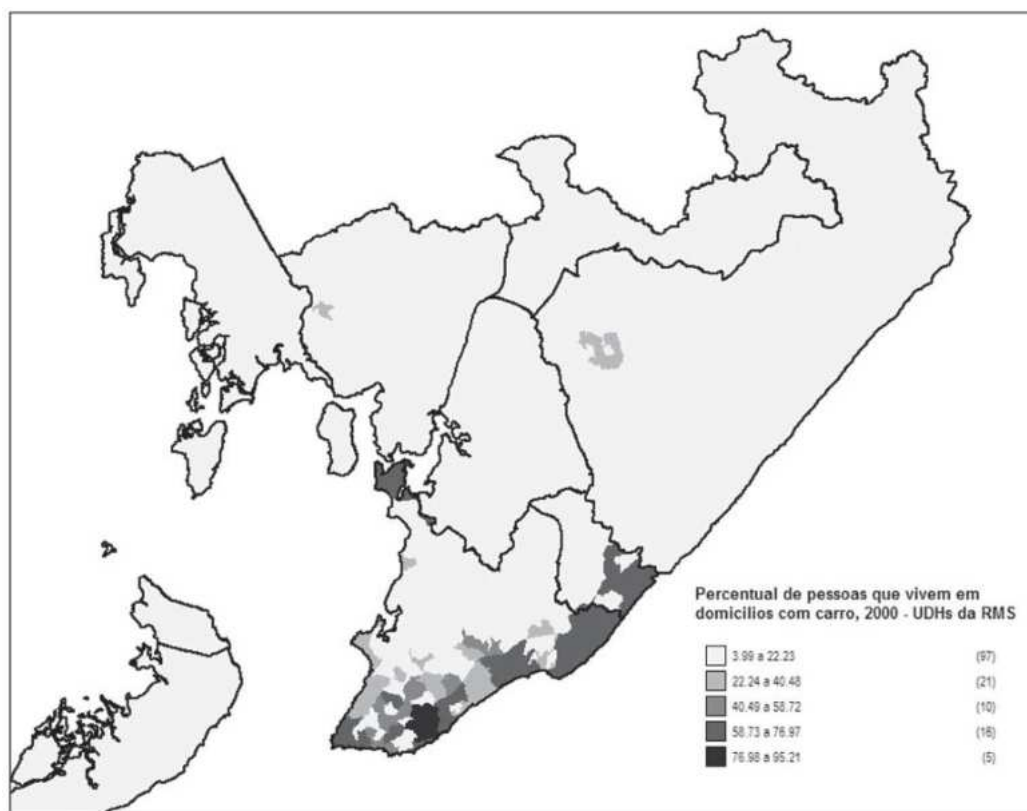
Figura 5. Comparação entre o crescimento populacional e da frota de veículos privados.



Fonte (PEREIRA *et al.*, 2017b, p. 80).

Nessa perspectiva, Delgado (2014) ressalta que há uma diferenciação espacial nas taxas de motorização no espaço metropolitano, particularmente com a evidência de uma região denominada pelo autor de “território do automóvel”, onde se localizam famílias de maior renda per capita. Essa área se localiza na borda atlântica da península, à sudeste, e se estende desde a ponta da península até o município de Lauro de Freitas, como se pode observar na figura 5.

Figura 6. Território do automóvel.



Fonte (PEDRO; DELGADO, 2014).

Em contraposição, a principal demanda por transporte público na RMS se localiza da borda oposta da península, onde é observado um elevado volume de viagens produzidas (DELGADO; BRITO, 2019). Nessa região, as taxas de viagens realizadas a pé são significativas, acima de 30%, mesmo para deslocamentos por grandes distâncias (BAHIA, 2012). Esse padrão de mobilidade observado é um indicativo da existência de demanda cativa do transporte público e da necessidade de reduzir distância entre a população e as oportunidades urbanas, por meio da descentralização de atividades (DELGADO, 2014).

Consequentemente, o padrão de uso do solo identificado e a manutenção da dependência da infraestrutura rodoviária para os deslocamentos em escala metropolitana sujeitam as viagens diárias, em especial as do tipo casa-trabalho, a padrões de mobilidade insustentáveis. O serviço de transporte público é particularmente penalizado por essa dinâmica de concentração de serviços, dispersão populacional e predominância de viagens motorizadas (DELGADO, 2016). Como exemplo, os habitantes da RMS realizam viagens por transporte público com

duração média de 62 minutos, enquanto por transporte individual motorizado, a média é de 40 minutos (BAHIA, 2012).

Nesse contexto, a mobilidade urbana é uma das questões centrais para a metrópole futura (PEREIRA *et al.*, 2019). É evidente também a necessidade de haver um planejamento integrado entre transporte e uso do solo para reverter as tendências de motorização observadas e o acesso mais equitativo a oportunidades urbanas (DELGADO; BRITO, 2019). No entanto, isso não tem sido observado, e ainda há sérias preocupações com a efetividade dos investimentos em infraestrutura de transporte de alta capacidade na RMS (DELGADO, 2016).

4.5 Técnicas e ferramentas de pesquisa utilizadas

4.5.1 Construção de Cenários Urbanos

Os procedimentos tradicionais de planejamento de transporte são comumente baseados em modelagem de variáveis, definindo-se horizontes de projeto longos, e proporcionam resultados determinísticos, derivados das informações de entrada no modelo. No entanto, cada vez mais esse processo de planejamento implica em tomadas de decisões que não conseguem acompanhar as mudanças tecnológicas no mundo, em particular nas cidades latino-americanas, a inconsistência de políticas de transporte e uso do solo, a volatilidade do poder econômico de investimento e as rápidas alterações nos quadros demográficos (VASCONCELLOS, 2001).

Por isso, planejar de forma a prever estrategicamente cenários se adapta bem a contextos classificados como VUCA (volátil, incerto, complexo e ambíguo). Seja nas esferas privada ou pública, vislumbrar de forma estratégica a possibilidade de ação e reação a tendências permite que o planejamento seja mais resiliente e próximo das realidades possíveis. E, nesse processo, a construção de cenários é apenas uma das ferramentas possíveis de análise futura (DUJINE; BISHOP, 2018).

Nesse contexto, o processo de construção de cenários voltado à acessibilidade passa por diversas etapas, que incluem a definição de critérios de avaliação de suas características observadas e previstas. No entanto, na análise dos princípios TOD, faz-se condição a presença de: (a) uma rede integrada, multimodal, segura, com qualidade, que induza padrões de mobilidade sustentáveis e distribua a acessibilidade de forma equitativa no território e; (b) o padrão de uso do solo diversificado e denso, que permita a redução de viagens motorizadas e uma vida local produtiva (MELLO *et al.*, 2017).

A partir dessa visão, Goodspeed (2020, p. 54-55) apresenta estruturas, boas práticas e lições assimiladas em projetos desenvolvidos, baseados ou não em cenários, e contextualiza os benefícios e desafios da cenarização no contexto urbano. O autor enfatiza situações em que: a) mudanças urbanas significativas estejam prestes ou com muito prováveis de ocorrer; b) há uma miscelânea de interesses e de visões sobre o espaço urbano e; c) a necessidade por perspectivas em médio e longo prazo, os diagnósticos e prognósticos oferecidos pela construção de cenários tem maior capacidade para preparar estratégias adaptáveis a contextos incertos ou sob tensão.

Nesse sentido, Goodspeed (2020) também discute a necessidade de investigar o contexto de forma qualitativa, a fim de conhecer as incertezas e os valores associados ao futuro da área urbana estudada. O agrupamento desses aspectos, neste trabalho, é entendido como as *condicionantes* que conformam os futuros possíveis da metrópole estudada.

Ainda segundo Goodspeed (2020, p. 62-64), a construção de cenários passa pelo estabelecimento de um cenário base, que reflete as condições atuais e as limitações conhecidas, bem como na construção de um cenário de referência, que projeta as tendências criadas a partir do presente. Diante desses cenários, futuros alternativos são construídos, como os cenários normativos onde se considera a implementação das ações recomendadas, ou mesmo cenários pessimistas, de perdas e ganhos, e assim por diante.

As ferramentas utilizadas para a construção de cenários urbanos devem permitir a visualização de informações no espaço, bem como a comunicação dos resultados obtidos de forma efetiva ao público. Por isso, sistemas de informações geográficos são ambientes importantes para o processamento de dados, assim como as descrições qualitativas, que são essenciais para transmitir os conceitos utilizados e, por fim, o uso de indicadores, que permitem mensurações e facilitam a comparação entre os cenários construídos, alterações dos aspectos medidos no temporal e a magnitude com que elas ocorrem (GOODSPEED, 2020, p. 62-121).

4.5.2 Estrutura dos cenários

Sistemas urbanos sintetizam contextos complexos e incertos de natureza tecnológica, econômica, social e política da sociedade. A capacidade desses sistemas se adaptarem a qualquer um desses contextos torna difícil realizar

predições por meio de múltiplos modelos quantitativos, com capacidade de resposta limitada, ainda que acompanhada da consideração da incerteza (GOODSPEED, 2020, p. 31).

Por outro lado, o uso de cenários para o planejamento estratégico em longo prazo é uma ferramenta importante para sistemas urbanos, pois essa metodologia tem como foco: identificar; priorizar; e analisar as incertezas mais importantes ou de interesse para a construção de múltiplas possibilidades de interação entre os elementos pré-determinados, compartilhados entre todos os cenários de um conjunto, os elementos incertos. Dessa forma, tem-se que um conjunto de cenários representa um recorte de resultados possíveis, conformados por determinadas condicionantes: tendências; eventos; e decisões (GOODSPEED, 2020, p. 29).

Os cenários podem ser de 3 tipos: a) exploratórios, no qual procura-se entender o que pode acontecer a partir da interação do que se sabe e o que é incerto; b) preditivos, que representam os cenários que buscam entender o que ocorreria em futuros possíveis e; c) normativos, que procuram analisar como alcançar determinados resultados de interesse.

Dentre os cenários supracitados, recomenda-se que pelo menos um seja do tipo exploratório e tendencial, cujas incertezas sejam delimitadas pelas consequências das atuais decisões ou eventos em curso, sem a intromissão de eventos disruptivos (GOODSPEED, 2020, p. 29-32). Em geral, recomenda-se que o número total de cenários para um projeto seja entre 4 e 6 (GOODSPEED, 2020, p. 131).

Porém, os cenários apresentam estrutura flexível à metodologia de análise escolhida, podendo ser apresentados em forma de narrativa qualitativa, de modelos quantitativos, ou representações mistas. A inclusão de análises quantitativas nos cenários é recomendada quando há relevante produção científica no tema estudado.

No caso das cidades, a aplicação de modelos é um recurso comum para a construção dos cenários, especialmente se há dados disponíveis (GOODSPEED, 2020, p. 29-32). Nesse contexto, indicadores são recursos importantes para compor a dimensão quantitativa dos cenários, uma vez que podem transpor conceitos qualitativos complexos para valores que são comparáveis a um valor de referência testado com respaldo científico (GOODSPEED, 2020, p. 121-131).

4.5.3 Geoprocessamento e análise espacial em ambiente SIG

O planejamento urbano é um processo que requer informação espacial, seja do ponto de vista das características topográficas do ambiente estudado ou da localização geográfica, por sistema de coordenadas, do endereço ou da identificação de uma área administrativa. Com efeito, os dados geralmente coletados para as atividades de planejamento contém atributos geográficos que podem ser processados e contribuir para a atividade de planejamento. Daí, surge uma das aplicações dos Sistemas de Informação Geográficas (VAN MAARSEVEEN; MARTINEZ; FLACKE, 2018b).

Um Sistema de Informação Geográficas (SIG) é um gerenciador de informações de natureza geográfica, que permite o armazenamento, acesso, manuseio, e síntese dos dados de forma digital (LONGLEY *et al.*, 2013). Nele, é possível realizar o tratamento de geoinformação com uso de técnicas matemáticas e computacionais (CÂMARA *et al.*, 1996). Com efeito, o ambiente SIG é uma plataforma ferramental fundamental para os estudos urbanos (VAN MAARSEVEEN; MARTINEZ; FLACKE, 2018b).

Os dados geográficos são formados por elementos básicos, como a posição e os seus atributos, isto é, partes descritivas de um dado. A representação de um dado geográfico pode ocorrer por objetos discretos, com limites bem definidos - como um ponto, uma linha ou um polígono. Alternativamente, o dado geográfico pode ser representado por campos contínuos, como no caso uma imagem, formada células valoradas, os pixels. Em geral, a representação dos objetos discretos ocorre como dados vetoriais, e dos contínuos como dados matriciais, como as imagens raster (LONGLEY *et al.*, 2013).

O geoprocessamento desses dados geográficos em ambiente SIG permite, portanto, a sua transformação em informação útil, na intenção de evidenciar relações espaciais que poderiam permanecer invisíveis. Esse cruzamento de informação e a interação SIG-usuário permite a busca por explicações dos fenômenos observados e a representação das correlações encontradas, pela análise dos dados espacialmente e produção de mapas temáticos (LONGLEY *et al.*, 2013).

Por fim, os SIG permitem a interação com bases de dados relacionais (banco de dados). Nesse contexto, as bases de dados lidas por um SIG devem possuir necessariamente uma extensão espacial, a fim de que o conteúdo geográfico dos

dados contidos possa ser processado e analisado no seu universo de implementação (CÂMARA, 2005). A possibilidade de construir uma base ou banco de dados espaciais permite que o usuário guarde informação criada e crie consultas espaciais de forma fácil e rápida (LONGLEY *et al.*, 2013).

5 MATERIAL E MÉTODOS

Conforme apresentado anteriormente, esta pesquisa tem por objetivo realizar uma comparação entre os atributos de transporte e uso do solo em 2 contextos distintos, a fim de compreender o papel da rede e do uso do solo na produção e indução de padrões de mobilidade sustentável em uma metrópole brasileira.

A partir das 3 perguntas norteadoras, tem-se a seguinte hipótese: *A expansão da rede de transporte público de média e alta capacidade metropolitana tem a capacidade de induzir padrões de mobilidade sustentável em áreas estratégicas, mesmo com a manutenção dos padrões de uso do solo atuais.* Nessa premissa, as áreas estratégicas são entendidas como centralidades urbanas ou regiões de baixa condição de acessibilidade densamente ocupadas ou de demanda cativa por transporte público.

Sendo assim, o método de estudo apresentado é constituído a partir de ferramentas de investigação baseadas na análise espacial, dado que ambos os fenômenos estudados, rede de transporte e uso do solo urbano, são de natureza espacial. Por isso, o processamento de dados ocorreu quase que integralmente em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). A técnica escolhida para estudo do problema e teste da hipótese é a construção de Cenários de Planejamento integrado de rede de transportes e uso do solo, baseados no Modelo Nó-Lugar, adaptado de Bertolini (1999).

As etapas que compõem o método estão representadas em forma de fluxograma na figura 6, e são posteriormente descritas no item 5.3. Antes, são apresentadas a área de estudo escolhida e os materiais utilizados. Os resultados obtidos serão discutidos no Estudo de Caso, o qual compreende o Capítulo 6.

5.1 Área de Estudo

5.1.1 Escolha da área de estudo

A área de estudo escolhida para análise é a Região Metropolitana de Salvador (RMS), a qual apresenta características necessárias para a investigação do problema proposto: a) rede de transporte de alta capacidade em expansão; b) padrão de ocupação urbana desfavorável à mobilidade sustentável (DELGADO; BRITO, 2019); c) interesse institucional pelo desenvolvimento econômico

socialmente justo e ambientalmente sustentável da região (BAHIA, 2015b; SALVADOR, 2017).

Nos últimos 10 anos, a RMS tem recebido projetos de infraestrutura urbana que estão transformando a matriz modal do seu transporte público metropolitano, a qual era composta até 2014 por um sistema de transporte coletivo por ônibus, uma linha ferroviária e um sistema de barcas do tipo *ferry-boat*. De acordo com a programação de investimentos, o sistema de transporte de alta capacidade da RMS contará até 2030 com 2 linhas de metrô, conectada a uma linha de monotrilho, 3 corredores de *Bus Rapid Transit* (BRT) e conexão viária entre a RMS e a Ilha de Itaparica sobre a Baía de Todos os Santos (BAHIA, 2015a; BAHIA, 2019a; BAHIA, 2019b; BAHIA, 2019c; SALVADOR 2017).

5.2 Materiais do Método

Os dados necessários para a pesquisa foram obtidos do Banco de Dados de Viagens da Pesquisa Origem-Destino (OD) realizada entre 2012 e 2013, o qual apresenta as viagens desagregadas por zonas e subzonas de tráfego (BAHIA, 2012). Essas unidades espaciais possuem compatibilidade com os setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados de população do Censo Demográfico 2010 também foram utilizados, sendo complementados com as projeções populacionais realizadas pela equipe do Projeto Salvador: visões de futuro, para os anos de 2020 e 2030 (PEREIRA *et al.*, 2019).

Informações sobre a infraestrutura de transporte da RMS foram coletadas de diversas bases, como a base do Informs da Companhia de Desenvolvimento Regional (CONDER), *OpenStreetMap* e *Moovit* para aprimorar a base de dados oriunda do trabalho de Lima (2018). Por sua vez, os tempos de viagem nos corredores de transporte de Lima (2018) foram atualizados para 2020 através da ferramenta de criação de rotas por transporte público do *Google*.

Como os dados utilizados nessa pesquisa são de natureza alfanumérica, vetorial ou matricial, eles necessitam de *softwares* para processamentos de dados tabulares e de informação geográfica. Com efeito, o ambiente de SIG como o QGIS e de análise de dados tabulares como o Excel, Planilha Google, entre outros, foram utilizados para a coleta de dados, processamento e análise dos resultados. Todos esses recursos computacionais possuem licença aberta, sendo o QGIS 3.16 um programa de código aberto.

5.3 Etapas Metodológicas

O Fluxograma principal de trabalho é apresentado na figura 6, disposta na página seguinte. Nele, as etapas de início e fim são destacadas em amarelo. As etapas em cor lilás correspondem às etapas que envolveram pesquisa e aprofundamento teórico, enquanto as etapas em cor azul compreendem as atividades de construção da base de dados espacial e de indicadores. Em vermelho, observam-se as etapas desenvolvidas a partir do estudo de caso.

5.3.1 Referencial Teórico (Etapa 2)

A construção do marco teórico foi realizada por meio de bibliografia digital e impressa, utilizando-se de: artigos em periódicos; livros; relatórios técnicos; e teses para a compreensão dos principais conceitos pertinentes ao objeto de estudo desse trabalho, em especial, a relação entre redes de transporte e espaço urbano, acessibilidade e transporte público orientado ao desenvolvimento.

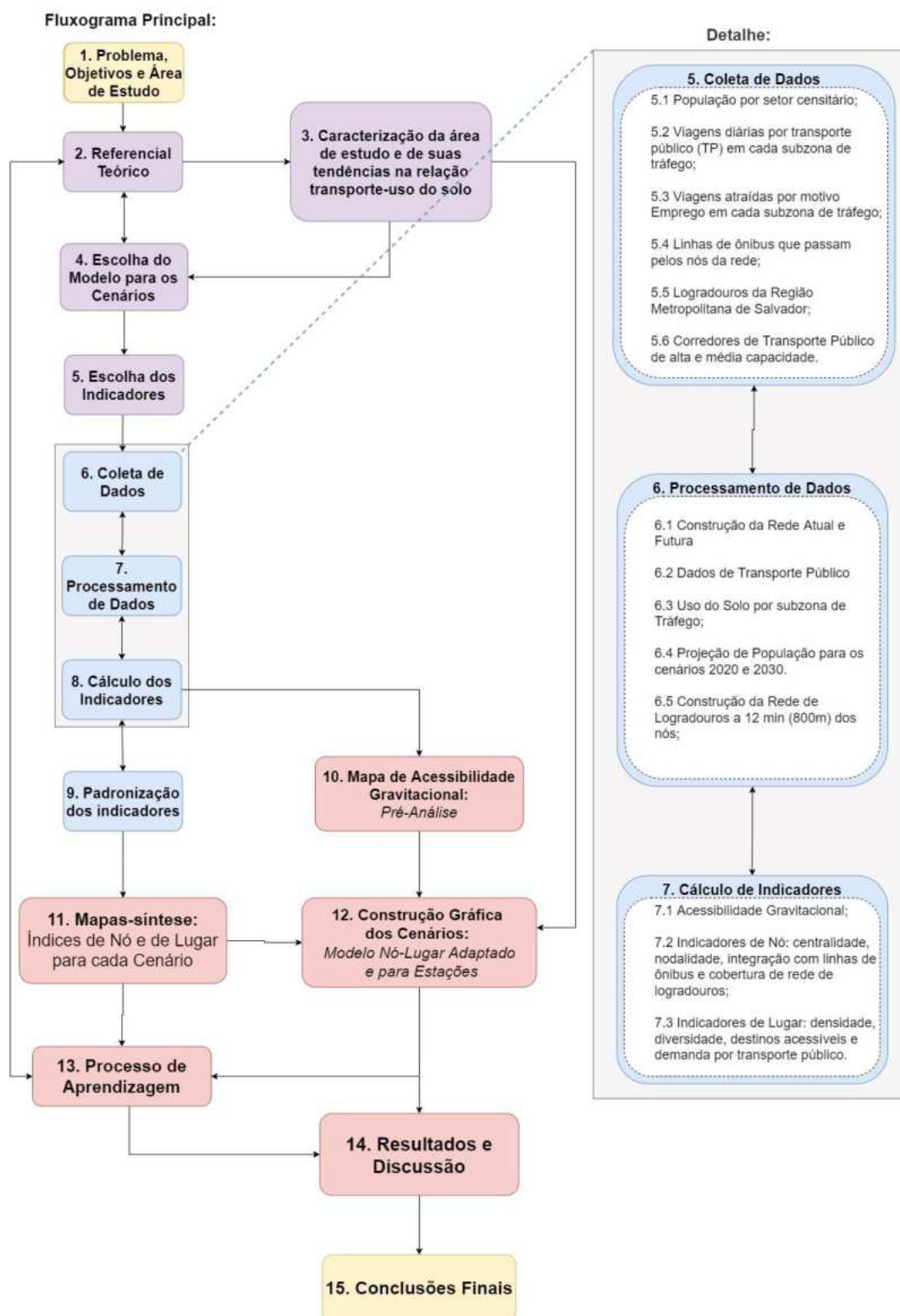
Outro objetivo do referencial foi subsidiar a formulação da metodologia, a qual utiliza-se de indicadores recomendados na literatura de forma adaptada à disponibilidade de informação para a área estudada. Além disso, a etapa de estudo teórico foi particularmente crítica para a escolha do modelo a ser utilizado nos cenários e para a interpretação dos resultados preliminares obtidos ao longo do trabalho, a fim de buscar referências sólidas em trabalhos anteriores para interpretação dos resultados.

Por fim, o referencial teórico fornece elementos para a caracterização dos cenários construídos no estudo de caso, oriundos da literatura disponível sobre as relações transporte - uso do solo para a área de estudo.

5.3.2 Caracterização dos cenários e suas condicionantes (Etapa 3)

Nesta etapa principalmente se pretende definir o número e os tipos de cenários que serão construídos na Etapa 12 (Construção gráfica dos cenários), assim como relacionar os fatores pré-determinados que os conectam.

Figura 7. Fluxograma da pesquisa em representação esquemática, apresentando as etapas que envolveram desde a formulação do problema às conclusões finais.



Fonte: (Própria autora).

Os cenários dessa pesquisa são do tipo exploratório, sendo que o primeiro deles se destina a diagnosticar a relação transporte – uso do solo atual, na metrópole, enquanto o segundo explora as consequências da manutenção dos atuais processos de decisão e tendências de futuro. Nesse sentido, apenas um cenário de futuro será construído. Por conta disso, recomendações para a construção de outros cenários normativos serão indicadas no Capítulo 6.

Os fatores pré-determinados que conectam os cenários, assim como as tendências de futuro que condicionam o cenário de futuro, foram levantados na literatura disponível para a área de estudo. Em particular, essas condicionantes são oriundas dos estudos de Pereira *et al.* (2020) e Pereira *et al.* (2019), que construíram cenários por uma perspectiva multidisciplinar e abrangente para a RMS.

Dessa forma, nesta pesquisa serão construídos 2 cenários de planejamento por geoprocessamento: a) um Cenário Atual (mapas síntese), que apresentará a distribuição das densidades e oportunidades urbanas, entre outros fatores, assim como, o desempenho territorial da Rede de Transporte Público entre 2017 e 2020; b) um Cenário Tendencial (mapas síntese) para o qual se projeta a conclusão dos investimentos programados em infraestrutura de transporte e de uso do solo, a partir da identificação de projetos e programas na esfera municipal, estadual e federal.

5.3.3 Escolha do Modelo para os Cenários (Etapa 4)

A construção de cenários pode incorporar dimensões quantitativas e qualitativas em sua execução e na análise dos resultados. Modelos e indicadores para a mensuração dos objetivos de planejamento são ferramentas usuais nos estudos da relação de transporte e uso do solo. Por conseguinte, nesse contexto, optou-se pelo Modelo Nó-Lugar (BERTOLINI, 1999) como uma escolha apropriada, por ter uma representação conceitual e gráfica clara, ser baseado em índices e possuir vasta literatura de suporte.

Contudo, a questão de pesquisa não se limita a avaliar projetos TOD (estações de transporte) existentes, mas sim de avaliar a capacidade da Rede futura induzir padrões de desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, a metodologia de Singh *et al.* (2014) propõe a criação de um mapa, no qual um índice TOD para o lugar hierarquiza o espaço de acordo com seu potencial para receber infraestruturas de transporte com alta capacidade de conectividade, como estações de alta capacidade.

Esses autores também apresentam a possibilidade de realizar 2 avaliações: a avaliação de um índice TOD realizado; e um índice TOD potencial. O primeiro avaliaria os resultados da interação entre as características urbanas que circundam os nós e os atributos do serviço de transporte realizado, ao passo que o segundo focaria na quantificação das qualidades e/ou características do uso do solo em todas as áreas da região.

Considerando o nosso problema de pesquisa e objeto de estudo, a escolha foi direcionada a propor indicadores e cenários (mapas) dirigidos a hierarquizar o espaço, segundo um conjunto de atributos desejáveis na relação transporte e uso do solo e sob uma abordagem TOD. A partir das bases conceituais mencionadas, optou-se por propor uma Matriz Nó-Lugar dirigida a avaliar o Potencial TOD das localizações e estações de transporte público, da nossa área de estudo sobre a base quantitativa dos indicadores escolhidos e normalizados.

Esta matriz terá o poder de integrar os resultados dos nossos cenários de planejamento (mapas). No entanto, a leitura da Matriz Nó-Lugar dirigida a avaliar o Potencial TOD das localizações/estações deverá ser diferente que a proposta por Bertolini (1999), uma vez que não se trata de avaliação TOD apenas para nós que já são estações, mas uma avaliação do Potencial TOD de todos os nós da Rede de média-alta capacidade. O índice de Potencial TOD para localizações/estações será plotado na Matriz tendo por coordenadas os resultados parciais dos cenários ou mapas, do indicador de Lugar (no eixo X) e do indicador de Nó (no eixo Y).

5.3.4 Escolha dos Indicadores (Etapa 5)

A escolha dos indicadores para compor o Índice de Nó e Lugar foi realizada baseando-se na sugestão de indicadores de Alves, Rossi e Portugal (2017, p. 278) e na consideração de 03 (três) aspectos: **a)** Disponibilidade da informação para toda a área de estudo considerada (Região Metropolitana); **b)** Capacidade de ser mensurado para todos os nós da rede em estudo (desde pontos de ônibus a terminais, estações de trem, metrô, BRT e monotrilho), ou seja, possuía nível de desagregação espacial adequado; **c)** Aderência a indicadores já utilizados na literatura: o referencial teórico dos princípios TOD para o desenvolvimento urbano, em escala metropolitana. Estes princípios são predominantemente: a distribuição homogênea da acessibilidade; a integração territorial; a produção de uma cidade

mais compacta; a redistribuição das centralidades; e a redução de deslocamentos motorizados (KNEIB; MELLO; GONZAGA, 2017).

O primeiro e segundo critérios foram excepcionalmente limitantes no contexto em que esse trabalho foi desenvolvido, com o atraso do censo demográfico nacional em virtude da pandemia de Covid-19, e a consequente ausência de dados socioeconômicos para a área de estudo, especialmente quanto à informação de renda. Além disso, a coleta de dados atualizados sobre o padrão de mobilidade também foi prejudicada, em virtude do surgimento de novos padrões de mobilidade no cenário pandêmico, particularmente devido à maior restrição ao uso do transporte público motorizado para conter a contaminação.

Por essas razões, o grupo de indicadores socioeconômicos para o Índice de Lugar, e de mobilidade, para o Índice de Nó, foram negligenciados nessa proposta metodológica. Em trabalhos subsequentes, espera-se incluí-los e analisar seu impacto na avaliação do Potencial TOD.

O quadro resumo dos indicadores selecionados que integram cada índice é apresentado na tabela 2, a seguir.

Tabela 2. Indicadores selecionados para a modelagem dos cenários.

Índice	Indicador	Definição em uso	Autores de referência
NÓ	Nodalidade	Soma de todos os caminhos mínimos possíveis dentro de uma rede, em unidade de tempo (horas).	Adaptado de Dupuy (1985) <i>apud</i> Delgado (2000)
	Centralidade de intermediação (Betweeness)	Razão entre o número de caminhos mínimos da rede que possam pelo nó e todos os caminhos mínimos possíveis.	Dou, Wang e Dong (2021)
	Integração pelo Transporte Público	Número de linhas de ônibus que servem a estação.	Chorus e Bertolini (2011)
	Cobertura e microacessibilidade	Rede disponível para o pedestre em isócronas de 12 minutos a partir de cada estação ou localização de transporte.	Adaptado de Alves, Rossi e Portugal (2017, p. 278); adaptado de Vale, Viana e Pereira (2018)
LUGAR	Densidade	População por hectare.	Villada <i>et al.</i> (2017)
	Acessibilidade a Empregos	Empregos disponíveis a 15 minutos.	Adaptado de Villada <i>et al.</i> (2017) e de Pereira (2018)

Índice	Indicador	Definição em uso	Autores de referência
	Entropia	Equilíbrio na oferta de oportunidades urbanas.	Adaptado de Cervero e Kockelman (1997)
	Demanda potencial por transporte público	Viagens produzidas e atraídas por hectare	Adaptado de Alves, Rossi e Portugal (2017, p. 278)

Fonte: (Própria autora).

Considerando os processos urbanos que serão mensurados, a combinação dos indicadores de transporte e uso do solo leva em conta as variáveis requeridas para induzir uma mobilidade produtiva e sustentável, em escala metropolitana, segundo Alves, Rossi e Portugal (2017): a) Oferta de infraestrutura e serviços; b) Integração Modal; c) Oferta de rede para o pedestre; d) Conectividade; e) Centralidade; f) Densidade; g) Diversidade do solo urbano, entre outros.

Outro fator determinante para a escolha do mesmo número de indicadores para cada índice é a observação de que o Modelo Nó-Lugar de Bertolini (1999) não só utiliza esse mesmo formato, como também se utiliza da simetria entre os eixos para determinar graficamente o desempenho das estações na perspectiva TOD.

5.3.5 Coleta de dados (Etapa 6)

As informações coletadas para este estudo são constituídas por dados da rede de corredores de transporte na RMS para o ano de 2017, que ao longo deste trabalho será considerada como a Rede Atual, como também dados sobre novos corredores esperados para a RMS até 2030.

Além disso, informações sobre o espaço urbano determinado pela RMS foram coletados na literatura especializada e em bases de dados públicos do IBGE, da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI-BA), da Secretaria de Infraestrutura da Bahia (SEINFRA-BA) e das prefeituras municipais das cidades metropolitanas.

5.3.6 Processamento de Dados (Etapa 7)

5.3.6.1 Construção da rede atual e futura: correção topológica e geração de nós

A partir da base de dados de corredores de transporte construída por Lima (2018) considerando os nós e tempos de viagem nas ligações, iniciou-se a preparação ou pré-processamento das Redes Atual e Futura. Com o apoio das

ferramentas *v.clean* do aplicativo GRASS no QGIS 3.4.10 e *Verificador de Topologia*, a rede recebeu correções e ajustes no desenho dos eixos viários, sem a presença de ligações duplicadas ou incompletas. Ao final, a Rede Atual possuía 810 nós, e a Rede Futura, 850.

5.3.6.2 Dados de transporte público na rede atual e futura

Valores de tempo de viagem coletados na pesquisa de Lima (2018) foram transpostos para suas respectivas ligações. Algumas ligações sofreram retificações a partir de simulações feitas no aplicativo *Google Transit* e consultas na plataforma *Moovit*.

Em seguida, todas as ligações de mão-única foram revisadas para que sua direção correspondesse à direção de tráfego. A ferramenta “Inverter direção de linha” nativa do QGIS 3.4.10 foi utilizada para corrigir discrepâncias.

A velocidade nas ligações foi calculada a partir da razão entre os comprimentos das ligações e os tempos de viagem coletados em horas. Para a rede futura, os novos corredores receberam os valores de velocidade operacional esperada, considerando a velocidade média de operação do metrô atual de 39,5 km/h. Assim, temos:

- a) Novos ligações de metrô = 40 km/h;
- b) Corredor do monotrilho = 35 k/h;
- c) Corredores exclusivos de ônibus = 25 km/h.

As 2 camadas de linha da rede atual e futura, assim como as camadas correspondentes aos nós, foram utilizadas para o cálculo dos **indicadores de nodalidade, centralidade de intermediação (*betweenness*), acessibilidade gravitacional e empregos acessíveis**.

Os itinerários das linhas de ônibus em operação na RMS foram transformados em arquivo vetorial do tipo linha, e o número de linhas que passavam por determinado nó atribuído à respectiva camada de pontos. Essa variável foi utilizada para o **indicador “integração por transporte público”**.

5.3.6.3 Uso do Solo por subzona de tráfego (subZT)

Em relação aos atributos de uso do solo e de população, a correlação entre as unidades espaciais e os dados alfanuméricos ocorreu por União de Tabelas, em ambiente SIG. Tanto os dados de viagem quanto os de população coletados na

Pesquisa Origem-Destino de 2012 e no Censo Demográfico 2010 foram filtrados e alocados espacialmente por Subzona de Tráfego e por Setor Censitário, respectivamente. O número total de subzonas de tráfego para RMS é 832, e de setores censitários considerados, 5048.

O número viagens diárias atraídas por motivo em cada subZT foi utilizada como *proxy* para a estimativa de peso da atividade Residencial, Comercial, Industrial, de Ensino e Serviços para o cálculo do **indicador de diversidade**. Além disso, o total de viagens atraídas e produzidas por transporte público ao longo do dia também foi agregado às subzonas de tráfego para o cálculo do **indicador de demanda por transporte público**.

5.3.6.4 Projeção de População para os cenários atual (2020) e tendencial (2030)

No caso da população, um coeficiente de projeção foi gerado a partir das estimativas populacionais realizadas por Pereira *et al.* (2019) em relação aos dados de população do Censo Demográfico (IBGE, 2012). Ao final, foram obtidas as populações projetadas, por setor censitário, para 2020 e 2030, que foram utilizadas no **indicador “densidade”**.

Por fim, gerou-se centroides para as 2 camadas do tipo polígono trabalhadas. O conjunto de setores censitários gerou uma camada do tipo pontos para representar as origens ao passo que os centroides das subzonas de tráfego representavam os destinos.

Essas camadas foram utilizadas no aplicativo QNEAT3 para a criação de uma matriz de tempos de viagem para o **indicador de “empregos acessíveis”**. Para o **indicador de acessibilidade gravitacional**, as origens por setor censitário foram agregadas por subzona de tráfego utilizando-se a ferramenta “Coordenadas Médias”. A população foi utilizada como peso de ponderação.

5.3.6.5 Construção da rede de logradouros

Segundo Guerra e Cervero (2013), a área de caminhabilidade TOD pode ser delimitada por uma circunferência de raio igual a meia milha, isto é, 800 metros, para condições de caminhada usuais, de 4 km/h. No entanto, essas condições não levam em consideração possíveis interferências do terreno na velocidade do pedestre, o que não reproduz com verossimilhança a fricção espacial causada pelo terreno íngreme da área de estudo. Sendo assim, considera-se que a área de caminhabilidade

TOD é aquela abrangida por uma isócrona de 12 min a partir da localização de transporte.

A rede de logradouros da RMS passou então por procedimentos de limpeza topológica similares à das redes de corredores de transporte público. Uma vez consistente, a rede foi seccionada nas regiões em que a Declividade do Terreno é superior a 30%. Nesses trechos, as ligações da rede recebem valor de velocidade igual a 3 km/h, correspondente à velocidade de caminhada esperada em terrenos íngremes (SUN *et al.*, 1996). As demais ligações da rede de logradouros receberam o valor de caminhada padrão de 4 km/h.

As isócronas foram geradas com a ferramenta “Área de Serviço” nativa do QGIS. A rede de logradouros foi assim utilizada tanto para o cálculo do **indicador de cobertura e microacessibilidade**, quanto para a definição da área de influência TOD para cada nó necessário para a construção do Índice de Lugar.

5.3.7 Cálculo dos Indicadores (Etapa 8)

Após a preparação das variáveis para cada indicador, eles foram calculados em ambiente SIG. O procedimento de cálculo é detalhado abaixo para cada grupo de indicadores.

5.3.7.1 Acessibilidade Gravitacional

A partir da matriz de viagens entre *origens* e *destinos* por subzona de tráfego construída na etapa anterior, a acessibilidade gravitacional foi obtida pelo cruzamento de dados de população e empregos com os dados da matriz de tempos de viagens, conforme a Equação 1, anteriormente apresentada. Para cada zona de origem, realizou a média da acessibilidade obtida para seus pares Origem-Destino (pares OD), obtendo-se a acessibilidade gravitacional média.

5.3.7.2 Indicadores de nó

- a) **Nodalidade:** gerou-se uma matriz de tempos de viagens por caminhos mínimos para os nós da rede atual e da rede futura com uso aplicativo QNEAT3. O indicador foi obtido pela soma do tempo de viagem, em horas, para todos os pares OD desde uma mesma origem resultante, conforme o exemplo da tabela 3, abaixo.

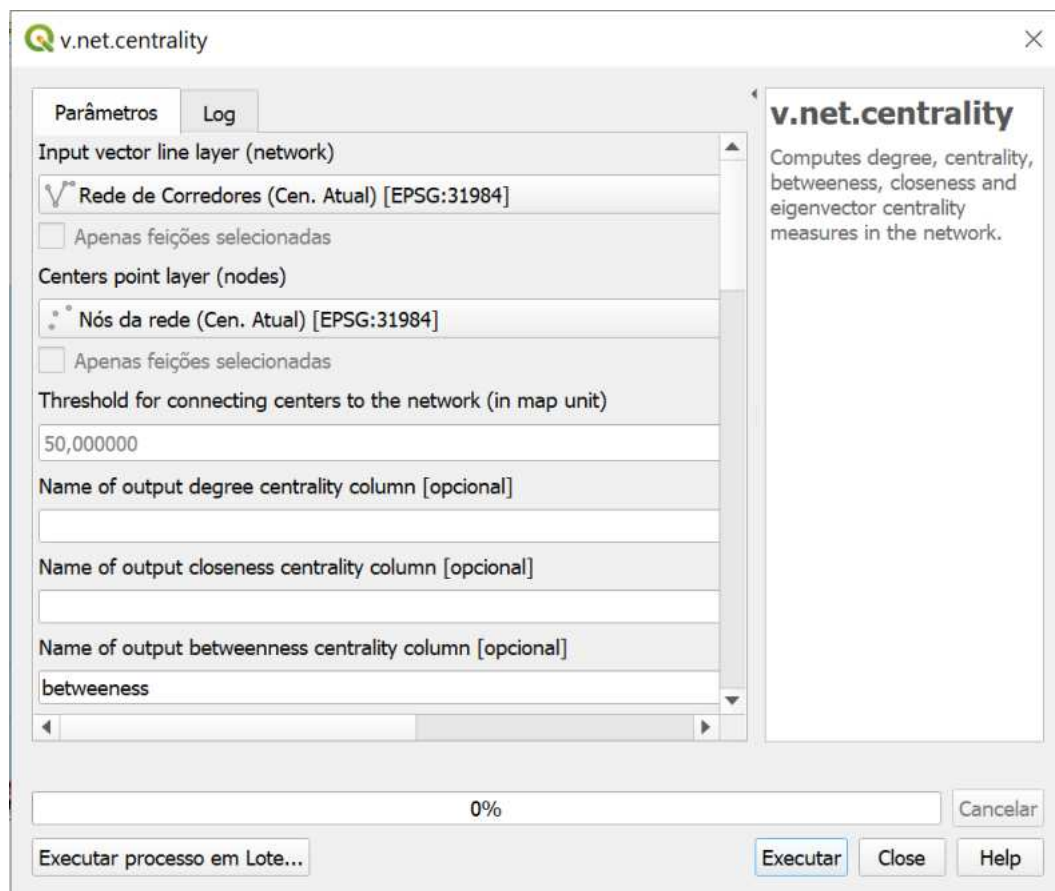
Tabela 3. Cálculo do indicador de nodalidade por matriz de tempos de viagem.

	j=1	j=2	j=3	j=4	(...)	j=m	Nodalidade
i=1	0	tmin ₁₂	tmin ₁₃	tmin ₁₄	(...)	tmin _{m1}	$\sum_{j=1}^m t \min ij$
i=2	tmin ₂₁	0	tmin ₂₃	tmin ₂₄	(...)	tmin _{m2}	$\sum_{j=1}^m t \min ij$
i=3	tmin ₃₁	tmin ₃₁	0	tmin ₃₄	(...)	tmin _{m3}	$\sum_{j=1}^m t \min ij$
(...)	(...)	(...)	(...)	0	(...)	(...)	$\sum_{j=1}^m t \min ij$
i=n	tmin _{n1}	tmin _{n2}	tmin _{n3}	tmin _{n4}	0	tmin _{nm}	$\sum_{j=1}^m t \min ij$

Fonte: (Própria autora).

- b) **Betweenness**: através do aplicativo *v.net centrality* (Figura 7), obteve-se o número de caminhos mínimos que passam por cada nó da rede atual, e depois, da futura. Esse processamento também considerou o custo das ligações, mas não sua direção. No entanto essas ligações representam menos que 14% de cada rede, e foram tomados como bidirecionais nesse algoritmo. O indicador resultou da divisão entre o número de caminhos sobre $(n-1)*(n-2)$, onde n corresponde ao número de nós, com intuito de permitir a comparação de redes de tamanhos diferentes.

Figura 8. Tela de processamento da ferramenta GRASS nativa do QGIS 3.16: *v.net centrality*.



Fonte: (Própria autora).

- c) **Integração pelo transporte público:** correspondeu ao número total de linhas de ônibus do sistema de Transporte Coletivo por Ônibus da RMS que passa por cada nó.
- d) **Cobertura e microacessibilidade:** esse indicador foi obtido pelo comprimento total da rede de logradouros dentro de um raio de caminhada TOD em 12 min.

A descrição estatística dos resultados obtidos pode ser observada na tabela 4, disposta abaixo.

Tabela 4. Descrição estatística dos indicadores de nó.

CENÁRIO	Nodalidade (horas)		Betweenness		Integração por Transporte Público		Cobertura e Microacessibilidade	
	2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030
Valor mínimo	735,47	680,64	0,00%	0,00%	0	0	2,13	1,80
1º Quartil (Q1)	838,44	786,95	0,30%	0,25%	1	1	15,69	15,20
Mediana (Q2)	921,89	874,68	1,05%	0,94%	9	10	26,12	25,47
3º Quartil (Q3)	1089,45	1045,92	3,25%	3,08%	32	32	37,22	36,99
Valor máximo	2131,36	2192,60	58,67%	56,06%	176	176	88,18	88,18
Média	1023,20	976,20	3,74%	3,41%	22,41	22,89	27,27	26,81
Desvio padrão (δ)	271,03	270,05	7,51%	7,37%	29,61	29,93	14,86	14,85
Número de outliers	0	0	67	57	8	8	7	4

Fonte: (Própria autora).

Como se percebe, o indicador de nodalidade foi o que mais sofreu variação entre o Cenário Atual e Tendencial, com a diminuição do tempo total para percorrer todos os caminhos entre os nós mais central de 2020 e 2030. Esse é um resultado positivo, pois demonstra que a inclusão de novos corredores de média-alta capacidade pode reduzir o tempo de viagem total na metrópole, por transporte público.

Em contrapartida, os fluxos da rede futura parecem estar bastante dependentes de um único nó, o qual controla mais de 50% dos caminhos mínimos em ambos os cenários, o que causa ligeira redução na rede futura. Isso indica que a nova configuração da rede de transporte não deve alterar significativamente as direções dos fluxos da rede.

Por sua vez, os indicadores de integração por transporte público e de cobertura e microacessibilidade não parecem indicar mudanças significativas quanto ao acesso a infraestruturas de transporte. A redução do mínimo observado para o segundo indicador é um indicativo de que, pelo menos, uma nova estação pode ser implantada em um local em processo de ocupação urbana, com baixa densidade de rede de logradouros.

Por fim, inclui-se nessa avaliação a quantidade de nós com valores discrepantes (*outliers*) da distribuição, especialmente no caso do *betweenness*. Essa característica é um indicativo da estrutura arvorecente da rede de transporte metropolitana, com a presença de nós que centralizam a maioria dos fluxos. *Outliers* correspondem a valores acima de 3 vezes da distância interquartilica (Q3-Q1).

5.3.7.3 Indicadores de lugar

- a) **Densidade:** calculou-se a área de cada setor censitário em hectares em ambiente SIG e, em seguida, calculou-se a razão entre número de habitantes projetado e a área.
- b) **Diversidade:** realizou-se a razão entre: b.1. o volume de viagens produzidas com origem na residência e volume total de viagens considerado b.2. o volume de viagens atraídas por motivo: Emprego na Indústria; Emprego no Comércio e Compras; Ensino; Emprego no setor de Serviços; e Saúde e o volume total, individualmente. Esses quocientes foram utilizados para o cálculo do indicador de entropia, escolhido para representar o indicador de diversidade, conforme a Equação (6). Os resultados são adimensionais e variam de 0 a 1.
- c) **Demanda por Transporte Público:** a soma total de viagens atraídas e produzidas por transporte público foi dividida pela área em hectares das subzonas de tráfego, calculada em ambiente SIG.
- d) **Empregos acessíveis:** em cada cenário, a matriz construída entre setores censitários e subzonas de tráfego foi reduzida para conter apenas tempo de viagens menores ou iguais a 15 min. Depois, o volume de viagens atraídas por motivo emprego por subzona de tráfego foi atribuído para os pares OD remanescentes. Por fim, o indicador foi obtido pelo volume total de oportunidades de emprego acessíveis para uma mesma origem.

A descrição estatística dos resultados obtidos pode ser observada na tabela 5. Os valores de densidade na RMS aumentam entre 2020 e 2030, não somente em relação ao máximo observado, mas também pelo aumento dos quartis. Há aumento também no volume de empregos atraídos no mesmo período. Como as tendências de futuro consideram a manutenção do padrão de uso do solo da RMS, os indicadores de diversidade e de demanda por transporte permanecem iguais.

Tabela 5. Descrição estatística dos indicadores de lugar.

	Densidade (Hab./Km ²)		Diversidade	Demanda por Transporte Público (1/Hec.)	Empregos acessíveis (em 15 minutos)	
	Atual	Tendencial	Atual/ Tendencial	Atual/ Tendencial	Atual	Tendencial
Valor mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
1º Quartil	67,62	70,95	0,54	37,82	4218	4652
Mediana	194,89	202,83	0,65	168,76	18404	19390
3º Quartil	364,00	376,32	0,75	304,01	48134	52122
Valor máximo	10843,03	11244,62	0,95	5751,16	33744 4	355881
Média	253,40	262,40	0,62	210,77	39944	45179
Desvio padrão	323,91	337,50	0,17	245,82	55564	62783

Fonte: (Própria autora).

5.3.8 Padronização dos Indicadores (Etapa 9)

Em face da necessidade de agregar os indicadores lugar e de nó em índices, cada indicador foi padronizado a partir de valores de referência observados ou adaptados da literatura para uma escala numérica de 0 a 1, sendo que necessariamente os melhores valores deveriam estar próximos a 1.

Outro objetivo da padronização é facilitar a leitura do índice e estabelecer valores de referências qualitativas para a avaliação do grau de sustentabilidade nos padrões analisados, seja de uso de solo, seja de transporte. Portanto, cada índice é composto pela soma dos 4 indicadores padronizados na referida escala, possuindo então valores finais no intervalo contínuo [0;4].

A tabela 6 apresenta os valores de referência utilizados em cada indicador e as observações pertinentes à sua utilização.

Tabela 6. Valores de referência para a padronização dos resultados dos indicadores.

Índice	Indicador	Valor de Referência	Observação
LUGAR	Densidade	200 Habitantes por Hectare	Valor de densidade para o entorno de estações de alta capacidade (VILLADA <i>et al.</i> , 2017, p. 186).
	Empregos acessíveis	3º Quartil do Valor para o Cenário Atual = 48.134 empregos	Dada a centralização das oportunidades de emprego na área de estudo (DELGADO, 2016), os locais com volume de emprego acessíveis acima do 75º percentil estão bem localizados na metrópole - adaptado de Villada <i>et al.</i> (2017, p. 184).
	Diversidade	1,00	Equilíbrio entre as oportunidades urbanas por tipo. Não foi necessário padronizar as variáveis.
	Demanda	3º Quartil do Valor para o Cenário Atual = 304 viagens por hectare	As áreas que recebem maior volume de viagens, acima do 75º percentil da demanda, são locais candidatos a receberem estações de transporte de alta capacidade – adaptado de Villada <i>et al.</i> (2017, p.184)
NÓ	Nodalidade	Inverso do Menor valor de centralidade observada para o Cenário Atual = Inverso de 735,5 horas	Dado que esse indicador contabilizado em horas, e o incremento no valor dos resultados implica uma piora do desempenho da rede, a padronização ocorreu pela razão entre o inverso dos resultados pelo valor de referência. No cenário futuro, todos os valores menores que o de referência receberam Nota 1.
	<i>Betweenness</i>	Maior valor observado para o Cenário Atual = 58,7%	O valor de referência para a principal centralidade para o Cenário Atual é um ponto de referência para hierarquia de intermediação no Cenário Futuro.
	Integração por transporte público	Maior valor observado no Cenário Atual, equivalente a 124 linhas de ônibus, excetuando-se os <i>outliers</i>	Foram identificados 8 pontos <i>outliers</i> na distribuição desse indicador. Esses pontos representam 3 estações de metrô e suas mediações, por quais se localizam terminais de ônibus de integração. Por essa excepcionalidade, tomou-se o valor mais próximo do limite superior externo da distribuição.
	Cobertura e microacessibilidade	Maior valor observado no Cenário Atual, equivalente a 69,11 km, excetuando-se os <i>outliers</i>	Foram identificados 7 pontos <i>outliers</i> na distribuição desse indicador. Esses nós estão localizados em área de urbanização consolidada, e aglomerados em duas regiões, Pituba e Liberdade.

Fonte: (Própria autora).

5.3.9 Mapa de Acessibilidade Gravitacional (Etapa 10)

Esta etapa compõe o estudo de caso e expressa a representação das condições atuais de acessibilidade da metrópole em estudo, em uma etapa preliminar à construção dos cenários. O intuito desse diagnóstico é identificar

regiões de condições de acessibilidade abaixo da média, mas que comportam altas densidades populacionais ou demanda cativa pelo transporte público na área de estudo. Essas regiões são locais de maior interesse para o estudo do Potencial TOD, visando a aplicação de políticas integradas de transporte e uso do solo.

5.3.10 Mapas-síntese: Índices de Nó e de Lugar para cada Cenário (Etapa 11)

A caracterização dos cenários será dada pelos Índices de Nó e Lugar, ambos compostos por indicadores parciais específicos, dirigidos a mensurar as qualidades da rede de transporte e a distribuição espacial das oportunidades urbanas, em escala metropolitana. Sendo assim, o modelo conceitual Nó-Lugar serve de base para construção de uma Matriz Nó-Lugar dirigida a avaliar o Potencial TOD das localizações/estações em estudo, mediante a plotagem dos valores calculados para os indicadores de nó (Rede) e lugar (Espaço Urbano). Os índices gerados para cada cenário têm a estrutura disposta na Equação (3):

$$\text{ÍNDICE} = \text{Indicador}_a + \text{Indicador}_b + \text{Indicador}_c + \text{Indicador}_d \quad (3)$$

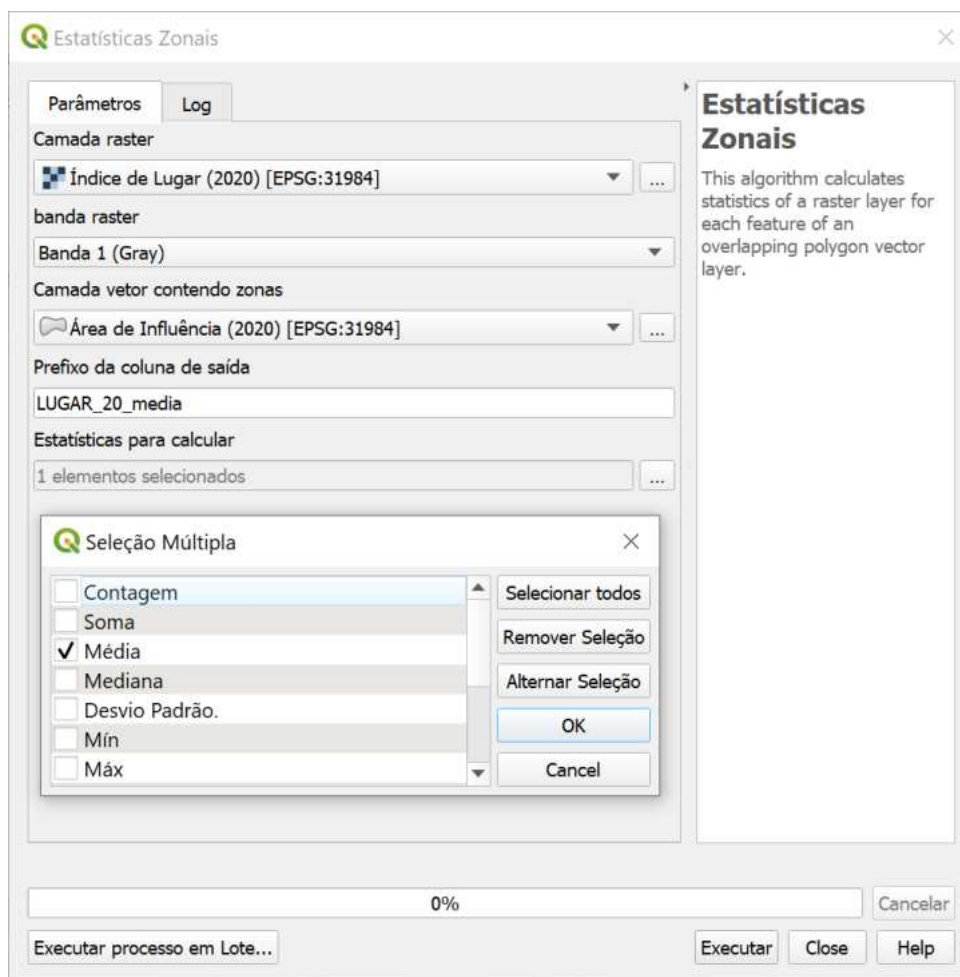
Onde o Índice de Lugar é composto pelos indicadores de densidade, diversidade, demanda por transporte público e empregos acessíveis para cada setor censitário, ao passo que o Índice de Nó é composto pela soma vetorial dos indicadores de nodalidade, *betweenness*, integração por transporte público e de cobertura e microacessibilidade para cada nó da rede.

O Índice de Lugar gerado para cada cenário foi transformado em uma imagem *raster*, com pixels de 30 x 30 metros, pela ferramenta de Rasterização do QGIS3.0. Cada um dos mapas foi classificado de 0 a 4, doravante denominadas de Índice de Lugar Geral para o Cenário Atual e Índice de Lugar Geral para o Cenário Tendencial.

Contudo, para a representação gráfica dos cenários, o eixo X, correspondente ao Índice de Lugar para localizações/estações, deverá representar os atributos de uso do solo na sua área de influência TOD. Essa transformação foi obtida da seguinte forma: a) criação da área TOD pela envoltória da rede de logradouros a 12 min de caminhada dos nós; b) obtenção de um Índice de Lugar médio para a área de influência dos nós, através da ferramenta Estatísticas Zonais do QGIS 3.16, como é possível observar na figura 8. Ao final, a Estatística Zonal permitiu o cálculo do

Índice de Lugar para cada área de influência das localizações/estações, através da média dos *pixels* da camada *raster* de Índice de Lugar Geral.

Figura 9. Tela de processamento da ferramenta Estatística Zonal no QGIS 3.16 ou acima.



Fonte: (Própria autora).

Por outro lado, o Índice Nó foi calculado por adição simples entre os indicadores de nó associados à camada de pontos da rede atual e da rede futura. Os resultados serão apresentados no Estudo de Caso em forma de mapa, com a classificação dos nós de 0 a 4.

5.3.11 Representação Gráfica dos Cenários: Matriz Nó-Lugar de Potencial TOD para Estações e Localizações (Etapa 12)

O Modelo Nó-Lugar (BERTOLINI, 1999) apresenta graficamente a relação entre um Índice de Nó, no eixo da variável dependente, e um único Índice de Lugar, no eixo independente, o qual caracteriza cada estação estudada. Nessa

metodologia, propõe-se uma representação gráfica similar e complementar aos mapas-síntese que também caracterizam os cenários, denominada de Matriz Nó-Lugar de Potencial TOD para localizações/estações.

A Matriz é construída pela plotagem do Índice de Nó no eixo Y e para localizações/estações no eixo X. A representação gráfica da matriz proposta é apresentada na figura 9. Ela incorpora o uso de valores de referência para a classificação do Potencial TOD, baseando-se no trabalho de Villada *et al.* (2017).

Sendo assim, índices acima de 2,8 (isto é, 70% do valor máximo) possuem o Potencial TOD desejado para sustentabilidade. A fim de evitar a avaliação determinística desses resultados, propõe-se que valores entre 2,6 e 3,0 (tanto para Nó como para Lugar) possuem um valor aceitável, sujeito a intervenções de políticas TOD, para melhorar, em curto prazo, enquanto valores acima de 3,0 (tanto para Nó como para Lugar) possuem um Potencial TOD alto.

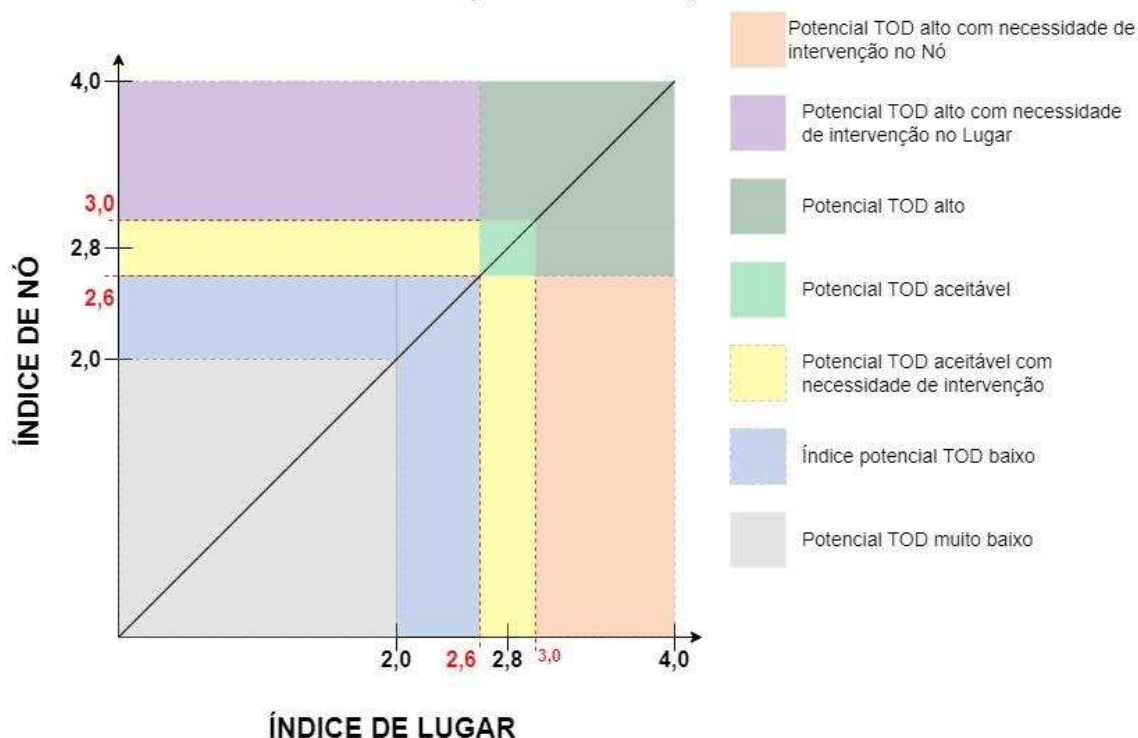
Outro pressuposto desse modelo é que há Potencial TOD maior para as localizações/estações com atributos de Nó e Lugar em equilíbrio. Graficamente, isso é representado pela proximidade à bissetriz da matriz.

Assim, as localizações/estações posicionadas na região delimitada pela combinação de índices entre 2,6 e 3,0 possuem Potencial TOD equilibrado, ao passo que estações/localizações mais afastados podem apresentar Potencial TOD desequilibrado. Nesse sentido, o estado de desequilíbrio aponta para a necessidade de intervenções em transporte (Nó) ou uso do solo (Lugar), conforme o caso.

Alternativamente, quando estações/localização apresentam valores abaixo de 2,0 (50% do valor máximo) simultaneamente para o lugar e para o nó, temos uma condição de Potencial TOD muito baixo, uma vez que a infraestrutura de transporte disponível é de baixa capacidade e os atributos do uso do solo são pouco atrativos para os usuários do transporte.

Figura 10. Matriz Nó-Lugar dirigida a avaliar o Potencial TOD das localizações/estações.

MATRIZ NÓ-LUGAR PARA LOCALIZAÇÕES E ESTAÇÕES (ESQUEMA)



Fonte (Adaptado de BERTOLINI, 1999; SINGH *et al.*, 2014).

Por último, o esquema da figura 9 foi pensado para que o planejador possa identificar quais elementos de transporte ou de uso do solo necessitam de mais atenção na formulação das estratégias TOD de sustentabilidade. Com isso, a construção de cenários, mediante a articulação dos mapas e Matrizes Nó-Lugar, como técnica de planejamento é justificada, ao permitir que o seu estudo forneça um processo de aprendizagem e recursos para tomada de decisão, como sugerido por especialistas na área (GOODSPEED, 2020, p. 33).

5.3.12 Representação Gráfica dos Cenários: Matriz Nó-Lugar de Potencial TOD para Nós e Estações (Etapa 12)

A fim de realizar uma análise comparativa do desempenho das diferentes localizações/nós potenciais e facilitar a leitura dos resultados obtidos em ambos os cenários ou mapas de Nó e Lugar, os mapas síntese ou cenários atuais e futuros, foram representados graficamente na Matriz, de 2 maneiras: **a)** pelo mapeamento temático dos Índices de Nó e Lugar, individualmente; e **b)** pela plotagem gráfica dos

índices de Potencial TOD em X e Y (Nó e Lugar), para todos os nós, tanto para o Cenário Atual e Futuro.

O objetivo de apresentar os resultados dessa forma é avaliar os aspectos gerais do Potencial TOD, pela visualização de todos os nós, e discutir os principais achados da pesquisa, através dos mapas. Adicionalmente, também serão construídas Matrizes Nó-Lugar de Potencial TOD para as estações de transporte atuais e futuras, que serão avaliados conforme a teoria apresentada por Bertolini (1999) e Andrade (2015).

Um dos produtos dessa etapa de análise gráfica é a avaliação dos fatores que influenciaram no desempenho dos nós, para cada índice, estabelecendo relações de causalidade e possibilitando a formulação de diretrizes TOD e intervenções em transporte e uso do solo.

5.3.13 Processo de Aprendizagem (Etapa 13)

Esta etapa tem por objetivo retroalimentar o fluxo de trabalho com as lições assimiladas ao longo da preparação dos índices e da construção gráfica do modelo. O primeiro passo após a leitura dos primeiros resultados é o retorno ao referencial teórico, em busca de bases científicas para os fenômenos observados.

Por vezes, o retorno ao referencial proporcionou a identificação de erros de processamento, eliminação de etapas ou a necessidade de incorporar etapas adicionais ao trabalho. Consequentemente, as duas etapas imediatamente anteriores foram construídas mediante esse contínuo processo de revisão.

Além disso, as experiências adquiridas na interpretação gráfica e numérica dos índices e indicadores também possuem valor para a tomada de decisão sobre políticas públicas, uma vez que fornece subsídios para a identificação de quais atributos de transporte e uso do solo podem influenciar o potencial para indução de desenvolvimento em uma região de interesse. Dois exemplos de aplicação desse recurso serão apresentados no estudo de caso.

6 ESTUDO DE CASO

Este capítulo se destina a apresentar a área de estudo, o diagnóstico da condição de acessibilidade gravitacional a empregos, os atributos de transporte e de uso do solo que constroem os cenários atual e tendencial, assim como a representação gráfica do modelo proposto para cada cenário individualmente. Os resultados conclusivos da metodologia proposta serão discutidos no capítulo seguinte.

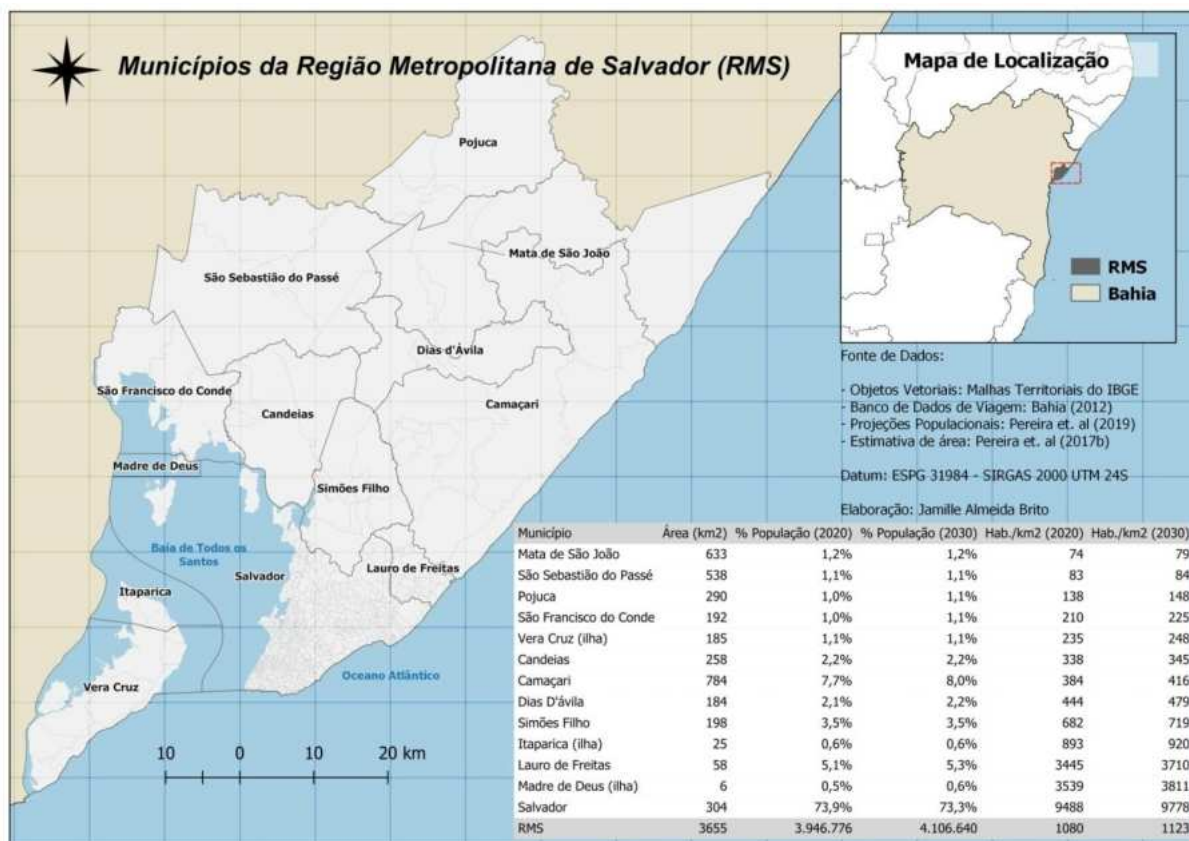
6.1 Caracterização da área de estudo e de suas tendências na relação transporte – uso do solo

A Região Metropolitana de Salvador (RMS) é um território institucional composto por 13 municípios, dentre eles Salvador, sua sede e capital do estado da Bahia (PEREIRA *et al.*, 2017c). A RMS cobre uma área de aproximadamente 3.655 km², com a contribuição de sua porção peninsular e insular, sobre a Baía de Todos os Santos.

A população atual estimada para a região é de 3,9 milhões de habitantes, sendo que Salvador concentra quase três quartos desses habitantes (PEREIRA *et al.*, 2017). Essa concentração populacional na sede da RMS é um reflexo da força polarizadora de Salvador, tanto sobre a região metropolitana quanto sobre a Bahia, sendo inclusive considerada uma centralidade com influência regional (IBGE, 2020). Para efeito de comparação, entre 2012 e 2013, Salvador apresentava 09 (nove) vezes mais empregos que o segundo colocado na RMS, Camaçari (BAHIA, 2012).

A relação de municípios e as projeções populacionais e de densidade demográfica esperada para cada um deles é apresentada na figura 10.

Figura 11. Municípios da Região Metropolitana e projeções de população e densidade demográfica.



Fonte: (Própria autora0.

Considerando a manutenção do ritmo de crescimento populacional observado por Pereira *et al.* (2017), a RMS continuará sendo mais populosa no eixo Salvador – Lauro de Freitas, pelo menos até a próxima década, uma vez que se espera apenas uma pequena redistribuição populacional da sede para as áreas metropolitanas entre 2020 e 2030.

Por outro lado, o padrão de concentração das atividades urbanas em 2 centralidades principais – Região do Comércio/Centro Tradicional e Região do Iguatemi (FREITAS; DELGADO; SANTOS, 2014) – não apresenta indícios de mudanças, pois os planos e projetos previstos para a RMS não contemplam uma visão integrada entre as intervenções de transporte e descentralização de atividades urbanas (DELGADO; BRITO, 2019).

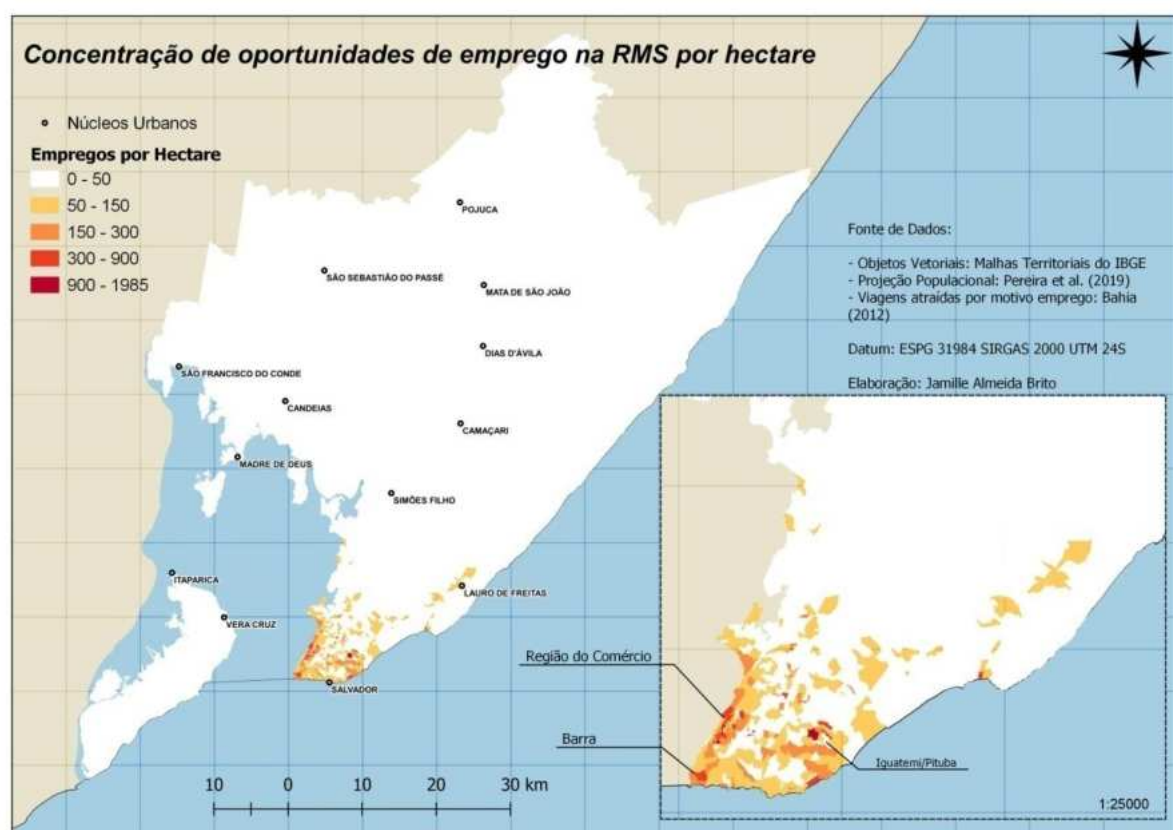
Do ponto de vista do uso do solo, a RMS apresenta uma estrutura urbana ainda mais hierarquizada, com a emergência de 2 centralidades principais, a região

do Comércio/Centro Tradicional e a Região do Iguatemi (FREITAS; DELGADO; SANTOS, 2014).

Pelo mapeamento das viagens atraídas por motivo emprego por hectare, representado na figura 11, é possível observá-las em cor vermelho escuro. Como demonstrado por Kneib (2014), a intensidade de viagens é um parâmetro que pode ser utilizado na identificação dos centros e subcentros urbanos.

Nesse caso, toma-se a atração de viagens ao trabalho como uma variável *proxy* para o número de postos de emprego ocupados entre 2012 e 2013. Diante dos resultados, observa-se na figura 11 que as bordas litorâneas na ponta da península concentram a maior quantidade de empregos por hectare, destacando-se ligeiramente áreas em Lauro de Freitas, na direção norte.

Figura 12. Distribuição de postos de emprego por hectare na RMS em 2012.



Fonte: (Própria autora).

Quando observamos a distribuição de outras atividades urbanas na metrópole, o padrão de concentração desses serviços é similar. Para além das 2 centralidades identificadas por Freitas, Delgado e Santos (2014), em escala

metropolitana, nenhuma outra região consegue acumular tantos serviços e amenidades urbanas por hectare. Essa força polarizada das 2 centralidades sobre o espaço metropolitano causa enormes deseconomias urbanas, especialmente por estarem localizadas próximas e nas extremidades do território metropolitano (DELGADO, 2016).

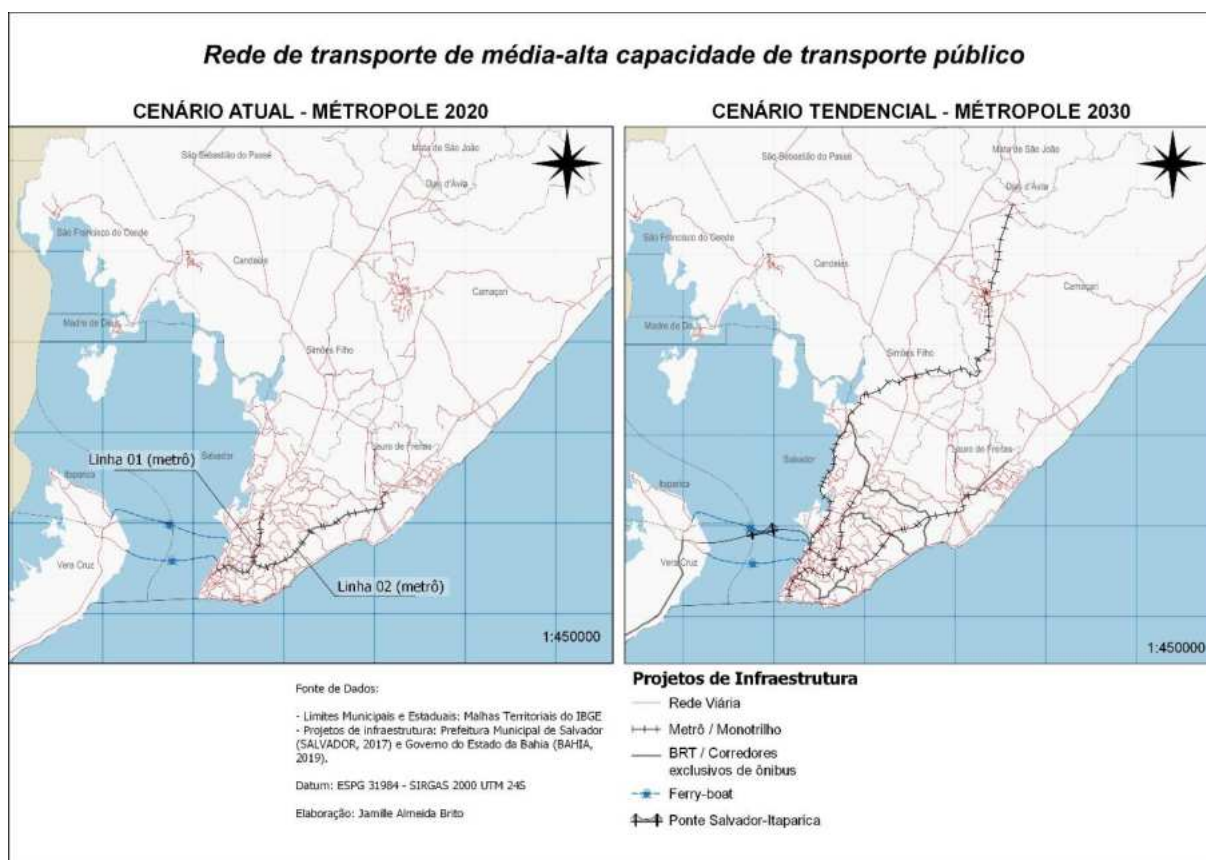
Em relação à infraestrutura de transporte, as publicações oficiais dos governos municipais e estadual dão conta de uma série de investimentos para a metrópole (PEREIRA *et al.*, 2017d, p. 164). Contudo, diante das incertezas econômicas do início da década e o estado de colapso financeiro do sistema de transporte público de Salvador, há pouca confiança em que todas as intervenções propostas serão implementadas, a exemplo da construção da Ponte Salvador-Itaparica, considerado como um elemento de relevante impacto para as relações metropolitanas (PEREIRA *et al.*, 2017b, p.19), especialmente com o aumento de fluxo de veículos para Salvador (PEREIRA *et al.*, 2019, p. 149).

Diante desse contexto, tem-se que as principais tendências de futuro de uso do solo e transporte da metrópole são:

- a) Manutenção do padrão de uso do solo da RMS, com a concentração de atividades urbanas, especialmente de emprego, nas 2 centralidades urbanas conhecidas e de expansão da ocupação urbana na direção norte da metrópole;
- b) Expansão das linhas 01 e 02 do corredor metroferroviário, que já está em andamento (SALVADOR; 2017);
- c) Implantação do monotrilho, com ordem de serviço emitida, e subsequente integração modal com o metrô;
- d) Construção da ponte Salvador-Itaparica;
- e) Implantação de corredores de *Bus Rapid Transit* (BRT);
- f) Implantação de corredores de alta-capacidade entre: Salvador e Simões Filho; Camaçari e Dias D'ávila.

A representação da rede tendencial futura para 2030 é apresentada na figura 12, disposta abaixo.

Figura 13. Rede de Transporte Público Atual e Esperada para o ano de 2030 na RMS.



Fonte: (Própria autora).

6.2 Acessibilidade Gravitacional pelo transporte público: diagnóstico do potencial de interação entre população e emprego na RMS

Como foi apresentado no referencial teórico, o estudo do desempenho territorial da Rede de Transporte Público é fundamental nesta etapa, portanto necessita-se conhecer as condições de acessibilidade fornecidas ao usuário do transporte, pelas relações transporte – uso do solo existentes.

O indicador utilizado nesta etapa corresponde à média dos valores de acessibilidade (AG_{ij}) encontrados em cada origem i , representado por um setor censitário, conforme disposto na Equação (4). Ao fim, os resultados foram especializados, de forma a apresentar como a metrópole em estudo é hierarquizada segundo sua condição global de acessibilidade gravitacional para as viagens residência-trabalho por transporte público.

$$AG_{ij} = média(\sum \frac{Pop_i \times Emp_j}{t_{ij}^2}) \quad (4)$$

Dessa forma, os valores resultados do indicador para cada setor censitário de origem foram classificados em intervalos do desvio padrão dos dados, ressaltando as regiões que estão dentro da média para a metrópole em termos de acesso às oportunidades de emprego, acima ou abaixo da média e muito acima ou muito abaixo da média.

A matriz de tempos de viagem utilizada para a Equação (4) foi calculada pelo complemento QNEAT3, e a variável de emprego foi preenchida com o número de viagens atraídas por motivo emprego por zona de tráfego contabilizado na Pesquisa OD de 2012 para a RMS. Por sua vez, a variável de população recebeu o número de habitantes estimado para cada setor censitário para o ano de 2020, segundo projeções de Pereira *et al.* (2019).

Na figura 13, é possível observar que a acessibilidade gravitacional a empregos destacou 5 subzonas de tráfego que correspondem a 4 regiões em cor vermelha: i) a Região do Comércio (Centro Tradicional), uma das centralidades da metrópole; ii) a Liberdade, com 2 subzonas próximas, e região de alta densidade populacional e diversidade de uso do solo; iii) Região do Imbuí, que pertence ao território do automóvel (DELGADO, 2014), de ocupação verticalizada e de classes médias (PEREIRA *et al.*, 2017e); e iv) o núcleo urbano de Camaçari, que concentra densidade populacional e atividades urbanas na região.

Além das regiões supracitadas, mais 2 regiões da capital com características semelhantes se destacaram: a região de Brotas/Barris e São Marcos, ambas com perspectiva de receberem corredores de transporte público de maior velocidade de operação até 2030, do tipo *Bus Rapid Transit* (BRT).

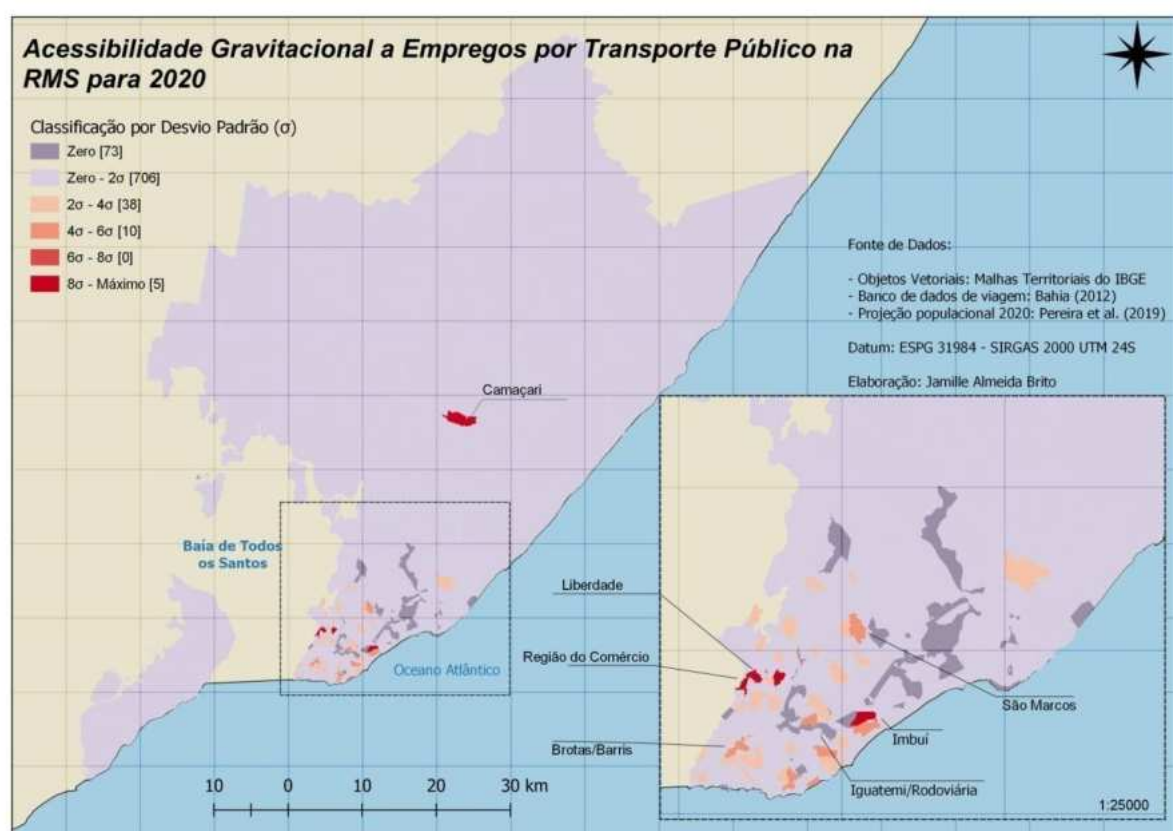
Esses resultados não são inesperados, uma vez que essas regiões pontuam nos 3 parâmetros de entrada do indicador, ao apresentarem alta densidade, oportunidades de emprego nas proximidades e acesso fácil aos corredores de transporte. No entanto, chama a atenção as regiões que não obtiveram bons resultados, como a Região da Rodoviária/Iguatemi. Apesar de ser conhecida uma centralidade de empregos, a maioria dos setores censitários que pertencem a

essa região não possuem residentes, o que levou ao resultado nulo no indicador, representados na cor roxo escuro.

De forma semelhante, alguns setores censitários que circundam o corredor leste da península, sentido norte – sul também apresentou resultados médios nulos.

Contudo, desde a Região do Iguatemi até Lauro de Freitas assentam-se nesse eixo a Linha 02 do metrô, já em operação.

Figura 14. Acessibilidade Gravitacional a Empregos por Transporte Público na RMS para 2020.



Fonte: (Própria autora).

Destaca-se nesses resultados 3 aspectos. Primeiramente, a forma dispersa com que as condições de acessibilidade se distribuem na metrópole. Apesar de a demanda por transporte público e as altas densidades estarem distribuídas tanto sobre a porção central e oeste da península quanto a sede dos núcleos urbanos, essas áreas não foram necessariamente favorecidas por menores custos de viagem. Outra questão é a concentração, do ponto de vista metropolitano, das melhores condições de acessibilidade no município de Salvador, ainda que esparsa.

Diante disso, percebe-se que a RMS impõe condições de acessibilidade geralmente desfavoráveis ao usuário do transporte público, especialmente aqueles localizados longe das centralidades e, mais ainda, da sede metropolitana. A principal demanda cativa de transporte público da RMS, localizada na borda oeste da península, por exemplo, parece ser especialmente penalizada, mesmo estando relativamente próxima da centralidade do comércio e de outras subzonas com diversidade de atividades urbanas, como pode ser também observado na figura 13.

Por fim, as demais regiões que apresentaram resultados nulos no indicador correspondem a áreas de proteção ambiental, parques e sítios históricos sem residentes da metrópole.

6.3 Indicadores de Lugar

A seguir, realizar-se-á o cálculo e avaliação dos indicadores de densidade, diversidade, demanda por transporte público e empregos acessíveis para o cenário atual e para o cenário tendencial, de acordo com os pressupostos estabelecidos.

6.3.1 Densidade

A densidade populacional calculada é baseada na Equação (5), disposta abaixo:

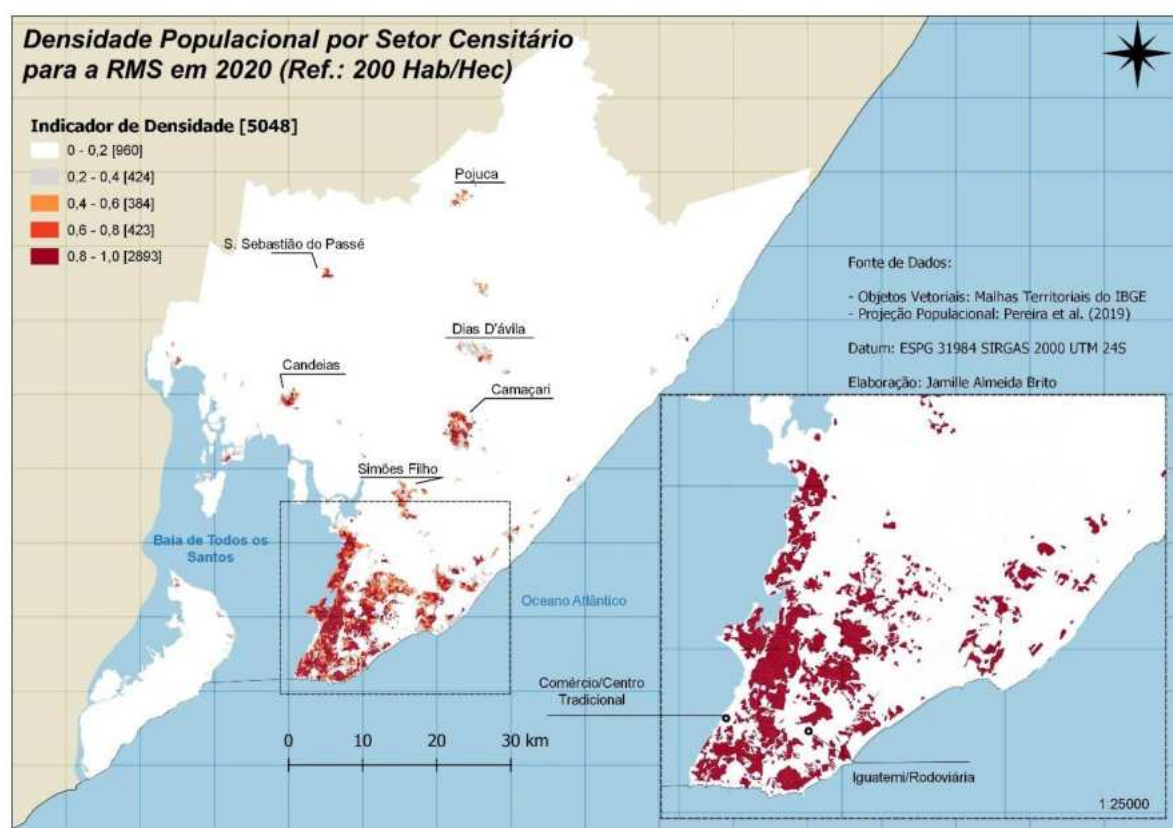
$$Densidade = \frac{População_{(ano\ de\ referência)}}{Área_{(hectare)}} \quad (5)$$

Em termos de concentração populacional, percebe-se pela figura 14 que as regiões localizadas no centro-oeste da península são mais densamente ocupadas, as quais também coincidem com áreas de declividade maior que 30% (vide Figura 11).

Além disso, as regiões de indicador de densidade próximas a zero correspondem aos vales do terro, onde se localizam a rede viária e metroferroviária. Já em Lauro de Freitas, à sudeste da metrópole, a ocupação é esparsa, com aparecimentos de ilhas de maior densidade em direção ao norte. Esse eixo sul-norte próximo ao Oceano Atlântico corresponde a um dos vetores de expansão de ocupação urbana da metrópole, orientado pelo interesse do capital imobiliário de luxo e marcado pela construção de condomínios horizontais (PEREIRA; PEREIRA, 2016).

Há outro vetor de expansão urbana metropolitana, no sentido Salvador – Simões Filho, impulsionado por empreendimentos imobiliários verticalizados e populares (PEREIRA; PEREIRA, 2016). Nesse eixo, ilhas de concentração populacional também se apresentam na figura 15. Distanciando-se da sede metropolitana em direção ao norte, percebe-se que as densidades populacionais são mais significativas nas sedes urbanas dos demais municípios da RMS.

Figura 15. Indicador de Densidade Populacional Normalizada para o Ano de 2020.



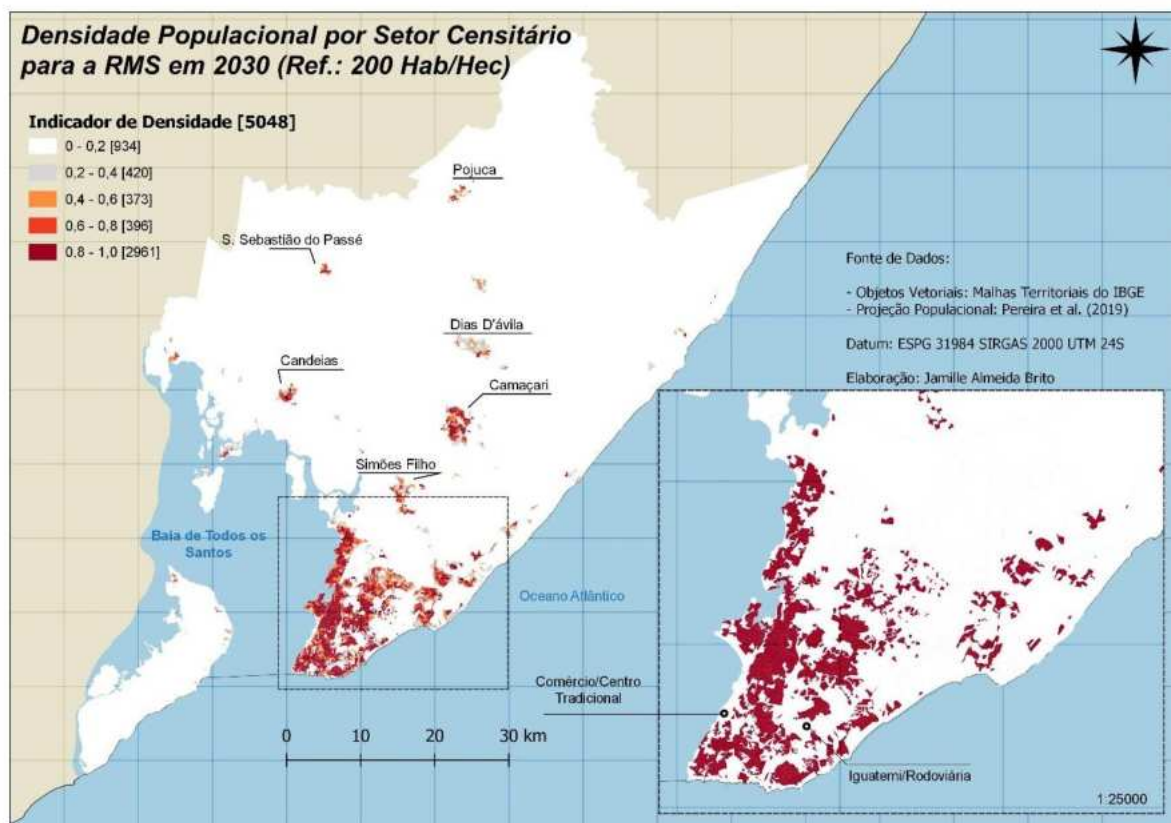
Fonte: (Própria autora).

Comparando-se as densidades populacionais estimadas para 2020 (Figura 14) e 2030 (Figura 15), o padrão de distribuição populacional pela RMS parece inalterado na metrópole, uma vez que as alterações observadas são suficientemente pequenas para se tornarem imperceptíveis na escala de representação.

No ambiente SIG, verificou-se que o aumento no número de setores censitários nos intervalos de maior densidade ocorreu predominantemente dentro do município de Salvador. No entanto, as proximidades das principais centralidades urbanas da metrópole não foram densificadas entre 2020 e 2030, o que corrobora

com a ideia de que o aumento populacional pode estar ocorrendo de forma dispersa e longe dos polos de atividades urbanas.

Figura 16. Indicador de Densidade Populacional Normalizada para o Ano de 2030.



Fonte: (Própria autora).

6.3.2 Diversidade

O indicador de diversidade de uso do solo fora adaptado do índice de entropia comumente utilizado para averiguar o equilíbrio entre as áreas ocupadas pelos diferentes tipos de atividades urbanas. A formulação utilizada é apresentada na Equação (6), disposta abaixo:

$$Entropia = \frac{-\sum_{k=1}^{k=5} p_k * \ln(p_k)}{\ln(K)} \quad (6)$$

Onde p_k corresponde à proporção de viagens atraídas pelo motivo k , ao passo que K é igual à soma de todas as viagens atraídas. A diversidade das atividades urbanas avaliadas por cada zona são 5: Residencial; Comercial; Industrial; de Ensino; e Serviços. Para isso, os motivos de viagens foram agregados

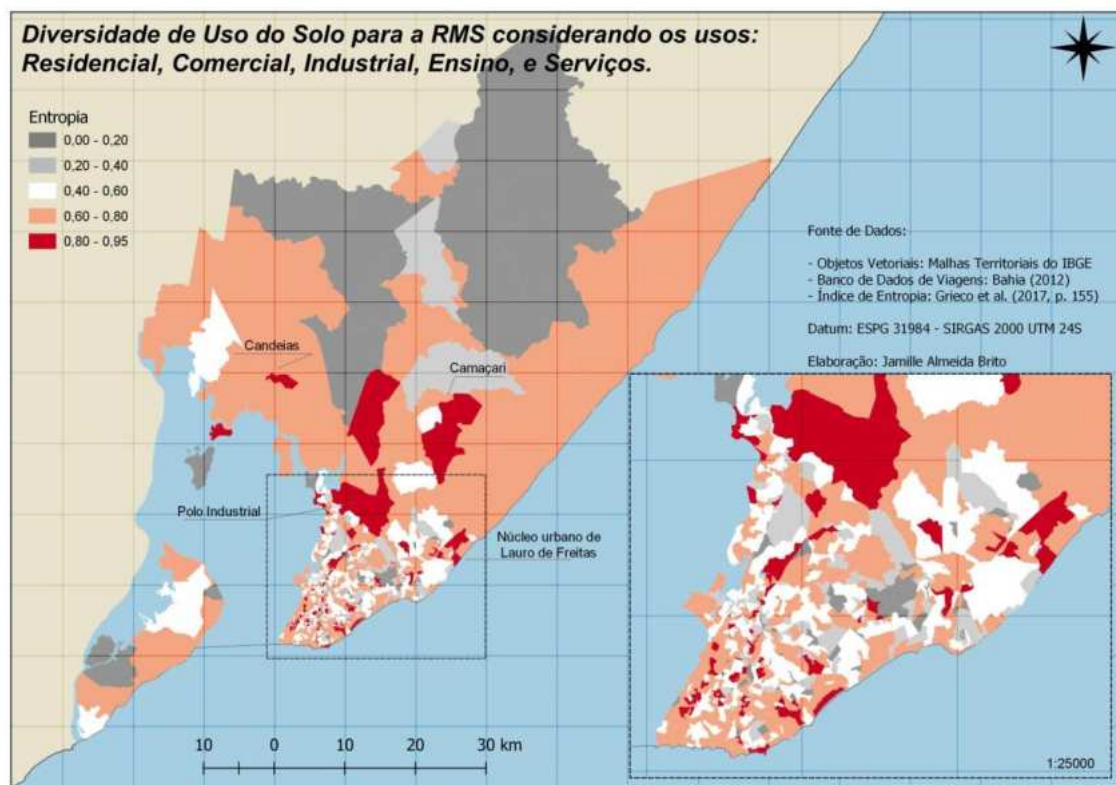
de acordo com a atividade de destino. Quanto mais a Entropia de determinada subzona de Tráfego se aproxima de 1, maior é o equilíbrio na oferta de oportunidades das diferentes categorias.

Nesse estudo, dado a escala metropolitana da área de estudo e a falta de dados acerca da área ocupada por tipo de atividades urbanas, optou-se por utilizar as viagens atraídas, por motivo, para representar a diversidade das oportunidades urbanas por unidade espacial. Essa escolha é pautada na relação fundamental entre transporte e uso do solo: como o deslocamento é uma demanda derivada da necessidade de alcançar atividades, a presença de viagens atraídas por determinado motivo é um indicativo da oferta de oportunidades urbanas.

Por isso, a variedade das atividades disponíveis e o peso que essas atividades representam no total podem ser representadas pelo número de viagens atraídas. Outro ponto balizador para essa escolha é que o índice de entropia é adimensional, ou seja, não depende de entrada de variáveis em unidades de área.

Diante disso, a diversidade de usos do solo na área de estudo é representada na figura 16, disposta abaixo.

Figura 17. Indicador de diversidade de uso do solo para a RMS.

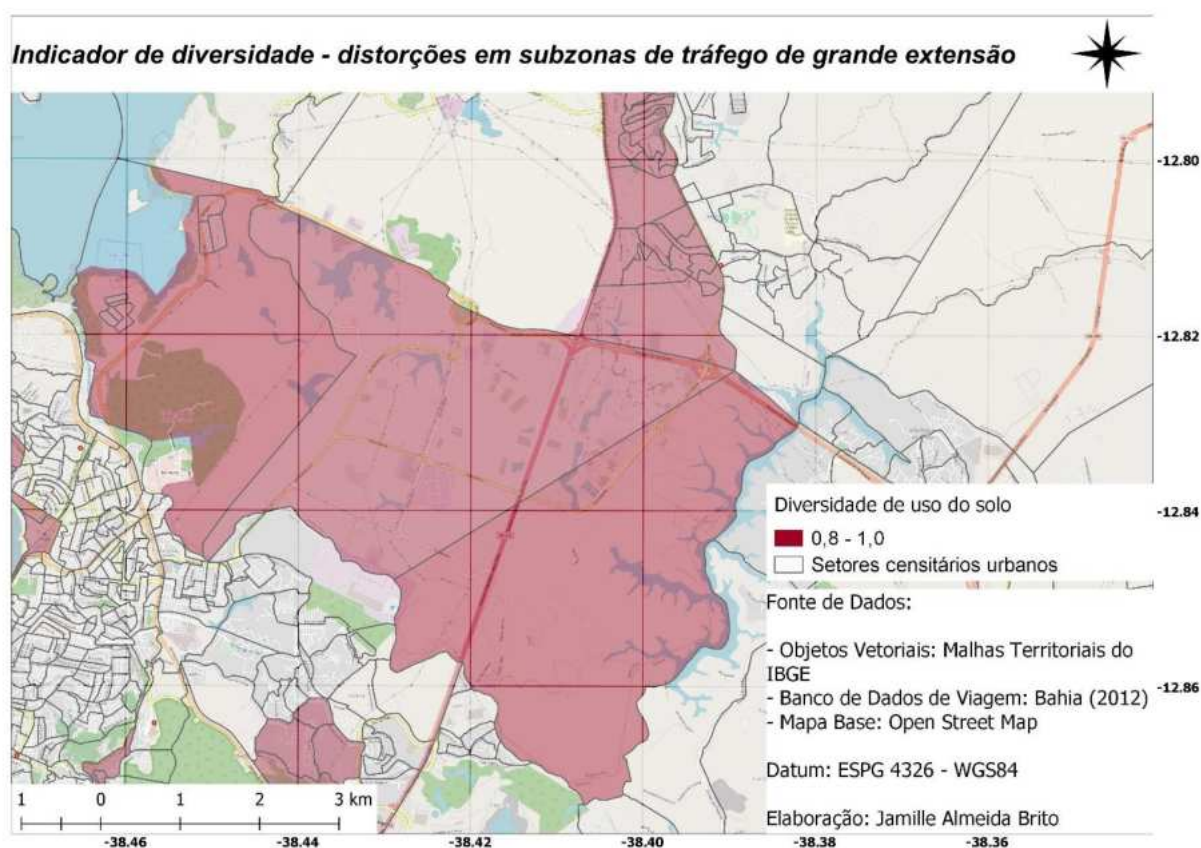


Fonte: (Própria autora).

Na figura 16, é possível perceber que as sedes urbanas dos municípios mais populosos da metrópole – Lauro de Freitas, Camaçari, Simões Filho e Candeias - apresentam bom grau de diversidade de uso do solo. Nesse ponto, vale destacar uma distorção importante provocada pelo uso das viagens atraídas no indicador de entropia aplicado. Por conta das dimensões das subzonas de tráfego localizadas fora de Salvador, e pela característica adimensional do indicador, as manchas de diversidade representadas nesses municípios se espalham para além das áreas de ocupação urbana que produzem e atraem viagens.

Vejamos a área compreendida pelo polo industrial metropolitano, por exemplo. A subzona de tráfego (subZT) disponível para essa região é extensa, uma vez que as plantas industriais consomem porções significativas de solo. À oeste dessa região, há 2 ocupações urbanas concentradas, entre a zona industrial e a Baía de Todos os Santos, como se pode observar na figura 17, disposta abaixo.

Figura 18. Distorções do indicador de diversidade em subzonas de tráfego de grande extensão.



Fonte: (Própria autora).

A agregação dessa comunidade e a área industrial provocou o indicador de densidade para cima, pela observação de atividades residenciais, comerciais, industriais e de ensino, em proporções equilibradas. O resultado representado, porém, valoriza toda região compreendida pela subZT.

Essa distorção observada não diminui a importância da informação conferida pelo indicador, mas impõe limites de interpretação, particularmente nas subZTs de grande extensão. Felizmente, no caso de Salvador, o indicador de diversidade calculado parece caracterizar bem o equilíbrio entre atividades urbanas presentes em cada unidade espacial, já que as subzonas de tráfego se apresentam em escala menor que o bairro.

Observando a figura 15, é possível perceber que algumas áreas de menor diversidade de atividades coincidem com regiões pouco densas, geralmente ocupadas por corredores rodoviários. Outro ponto importante é que as regiões com melhor diversidade, em cor vermelha, estão dispersas na região centro sul da península. Para metrópole de 2030, a caracterização da diversidade do uso do solo tendencial é a mesma.

6.3.3 *Demanda por Transporte Público por Hectare*

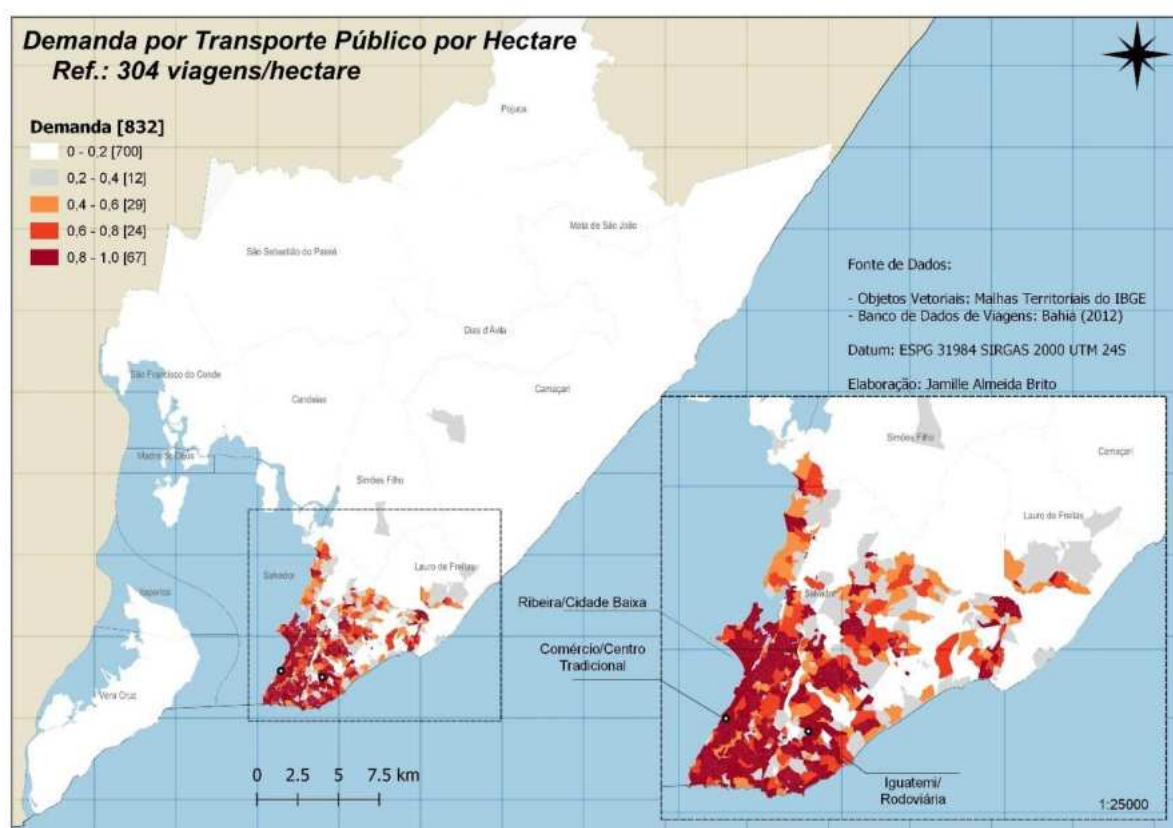
O indicador de demanda por transporte público também se utilizou das informações do padrão de viagens da RMS para representar o volume da demanda por transporte público para todos os nós estudados na metrópole. Neste caso, o volume de viagem por subzona de tráfego foi obtido pelo somatório entre todas as viagens produzidas e todas as viagens atraídas na subzona, conforme a Equação (7), disposta abaixo:

$$Demanda = \frac{Viagens_{produzidas/dia} + Viagens_{atraídas/dia}}{Área_{(hectare)}} \quad (7)$$

Essa adição tem a intenção de representar o grau de atividade urbana, servida pela infraestrutura e serviços de transporte, que ocorre na região. Seja por conta de deslocamentos pendulares ou pela oferta de serviços e empregos, ou seja, quanto maior o volume de viagens atraídas e produzidas, maior a necessidade de determinada região de produzir deslocamentos mais eficientes, isto é, padrões de mobilidade mais produtivos.

A figura 18 apresenta os resultados para o indicador de demanda por transporte público. Ele demonstra que a demanda por transporte público na RMS não só se concentra em áreas de alta densidade populacional, mas também é especialmente intensa mais à oeste da metrópole, ao longo da Baía de Todos os Santos. Em comparação, o *território do automóvel* como apresentado por Delgado (2014) se localiza então em extremo contrário aos locais de maior demanda por viagens de transporte público.

Figura 19. Indicador de Demanda por Transporte Público por Hectare.



Fonte: (Própria autora).

Considerando que o padrão de uso do solo não parece se alterar significativamente até 2030 e o vetor de crescimento metropolitano disperso induz a manutenção de baixas densidades longe das centralidades, assume-se que a distribuição espacial da demanda na RMS permaneça a mesma no Cenário Tendencial.

6.3.4 Empregos acessíveis

O indicador de acessibilidade a empregos foi calculado com base no indicador de acessibilidade utilizado por Pereira (2018) para o tempo de viagem limite de 15 min. A escolha desse limite tem o intuito de hierarquizar espacialmente a metrópole pela qualidade de acesso às oportunidades de emprego.

Por falta de dados atualizados na escala espacial, utilizou-se as *viagens atraídas por motivo emprego* em 2012 (BAHIA, 2012) como *proxy* da variável *emprego*. A Equação (8) apresenta a formulação do indicador: todos os empregos disponíveis em deslocamentos de até 15 min a partir do nó são somadas ao indicador.

$$Empregos\ acessíveis = \sum_{t=0}^{t=15\ min} Emprego \quad (8)$$

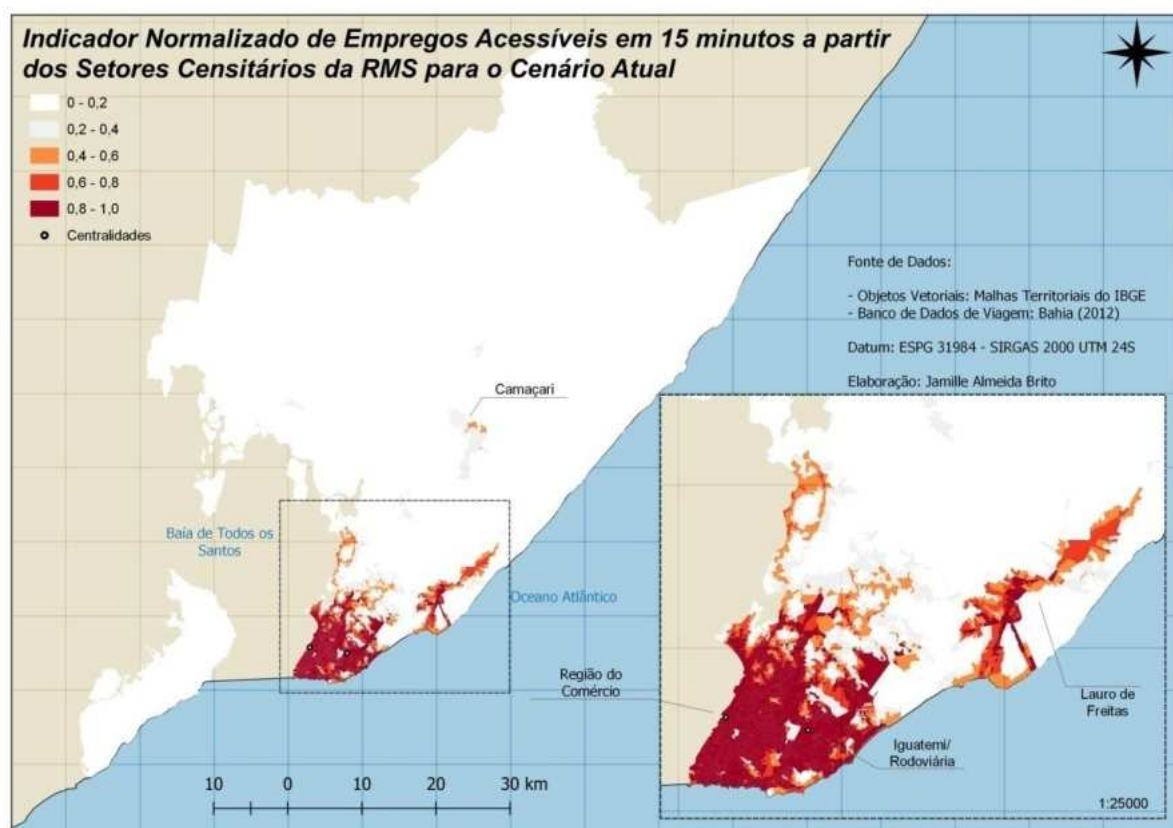
Os resultados obtidos para o Cenário Atual e Tendencial estão apresentados em sequência nas figuras 19 e 20, onde podem ser observados os seguintes pontos:

- A acessibilidade a empregos por transporte público na RMS destacou, para ambos os cenários, quase toda região centro-sul da península em vermelho escuro, denotando boa condição de acessibilidade ao emprego. Essa resposta é coerente, pois toda essa região se encontra sobre a influência imediata das 2 centralidades metropolitanas, Comércio/Centro Tradicional e Iguatemi. Assim, o indicador diminui à medida em que se afasta das centralidades, no sentido norte e sudoeste.
- Pode-se perceber que o volume de empregos concentrados em Salvador é de fato polarizador para a metrópole, já que somente a sede de Camaçari apresenta acessibilidade um pouco maior que 20% em algumas regiões, mesmo sendo o 2º município com maior oferta de empregos. Na faixa intermediária, entre 40% e 80%, surgem algumas regiões;
- Para 2020, uma mancha de boa acessibilidade se estende longitudinalmente na porção centro-leste da península, a qual corresponde à região de conurbação urbana entre Salvador e Lauro de Freitas. Essa região é caracterizada pelo interesse do capital imobiliário e taxas de motorização em crescimento (PEREIRA *et al.*, 2019). Em 2030, essa

região aparece com melhora na condição de acessibilidade a empregos pelo transporte público;

- A região litorânea da Baía de Todos os Santos, a oeste, assim como a porção centro-oeste da península apresentou melhora no acesso a oportunidades de emprego no Cenário Tendencial, especialmente com ampliação das áreas com indicadores acima de 60%.

Figura 20. Empregos acessíveis em até 15 min na RMS para o Cenário Atual.

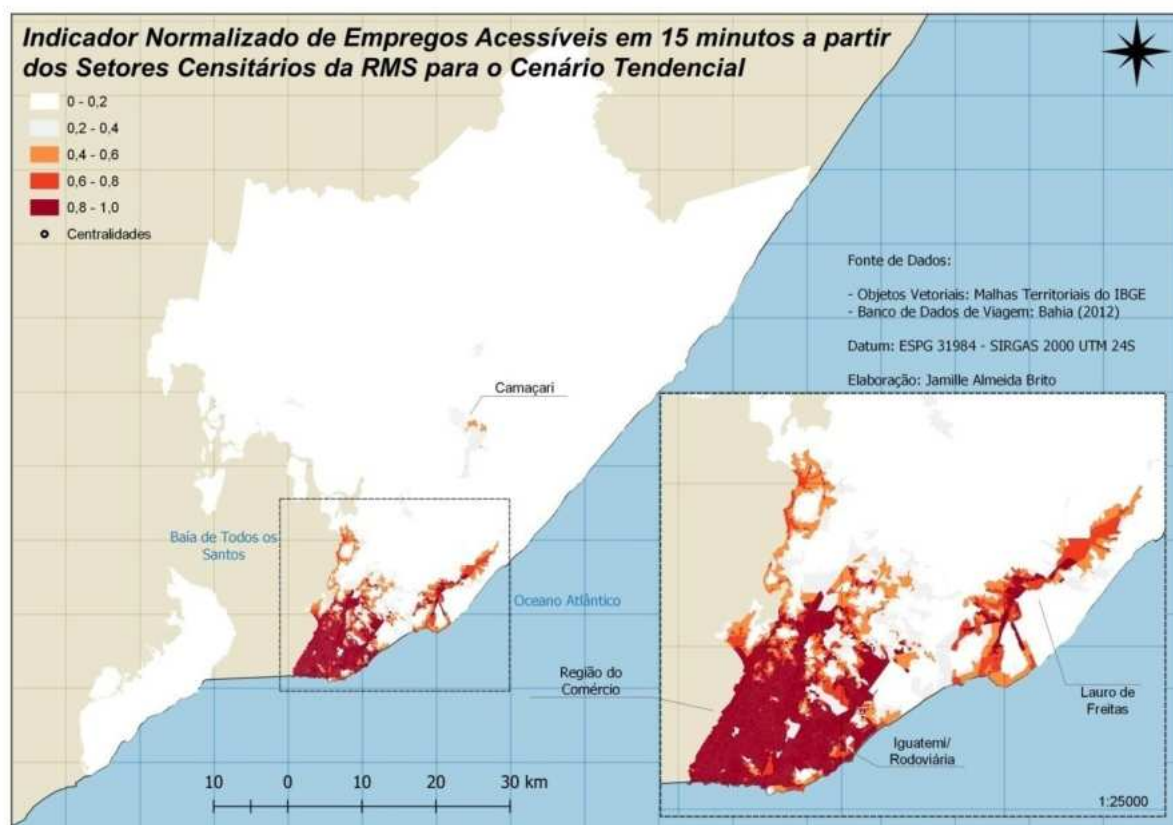


Fonte: (Própria autora).

Dessa forma, pode-se perceber que as condições gerais de acessibilidade da RMS são atualmente problemáticas, uma vez que as regiões de altas densidades e altas demandas não são favorecidas pelo desempenho do transporte público. Além disso, não é possível identificar mudanças significativas nas condições de acessibilidade da metrópole, mesmo com a entrada de novas tecnologias de transporte público de média-alta capacidade.

Algumas regiões de demanda cativa por transporte público, como a Orla da Baía de Todos Santos apresentaram melhora, contudo, as regiões próximas às centralidades continuam beneficiadas pela facilidade de alcançar empregos.

Figura 21. Empregos acessíveis em até 15 min na RMS para o Cenário Tendencial.



Fonte: (Própria autora).

6.4 Indicadores de Nó

A seguir, realizar-se-á o cálculo e avaliação dos indicadores de centralidade de intermediação, nodalidade, integração por transporte público, e de cobertura e microacessibilidade para o cenário atual e para o cenário tendencial, diante das alterações da rede de média-alta capacidade de transporte público previstas para 2030.

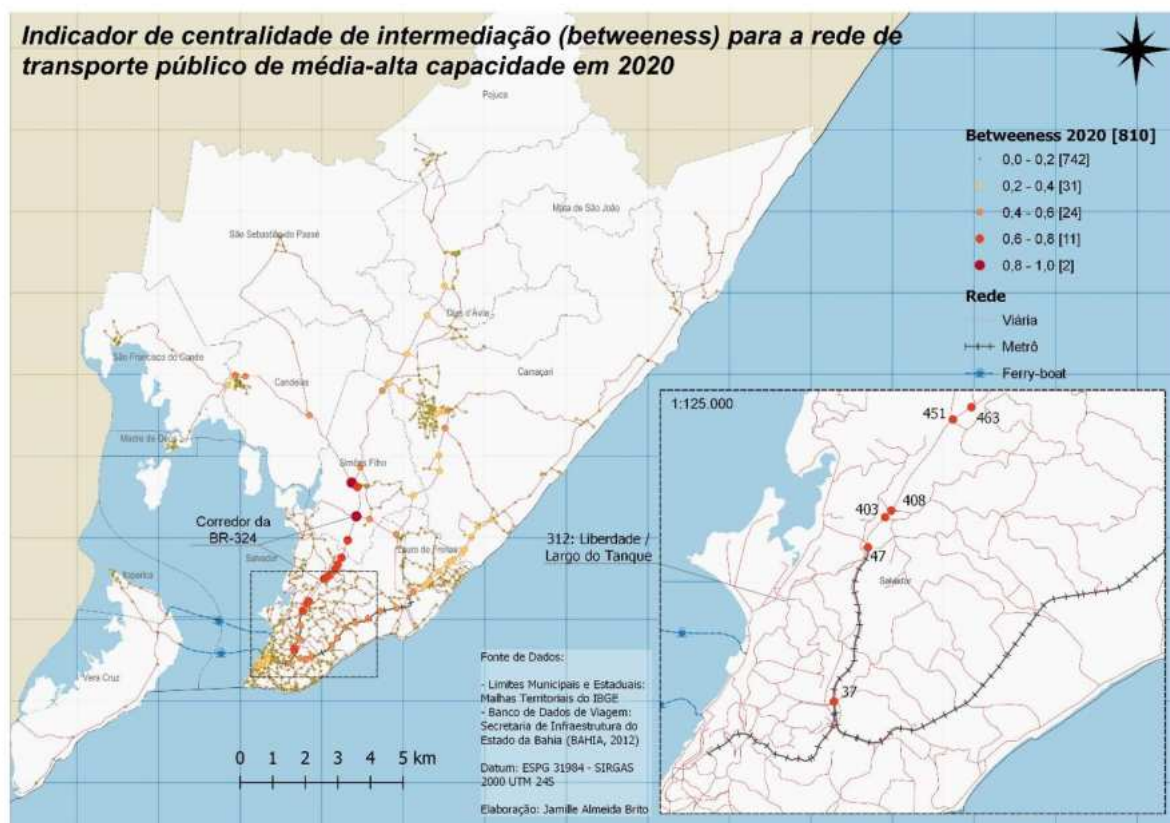
6.4.1 Centralidade de intermediação (betweenness)

O indicador de centralidade de intermediação objetiva destacar os nós que podem potencialmente influenciar o maior número de caminhos possíveis percorridos na rede. Por isso, espera-se que os nós localizados mais ao centro da

rede possam melhor desempenho neste indicador, enquanto nós na periferia da rede ou que articulam poucas ligações não se destaquem significativamente. A representação do indicador para cada cenário é apresentado nas figuras 21 e 22, respectivamente.

Na metrópole atual (Figura 21), observa-se que os nós localizados ao longo da rodovia BR-324 são pontos de passagem para a maioria dos caminhos mínimos metropolitanos. Essa indicação é coerente considerando o forte direcionamento da Rede viária e de transportes metropolitano no sentido norte-sul, acompanhando a forma da península, na procura das demandas e centralidades, destacando o papel estratégico da BR 324 e do Metrô Linha 1, para a conectividade em escala metropolitana (caminhos alternativos), configurando um forte eixo longitudinal de maior importância quando comparado com a Linha 2 do Metrô.

Figura 22. Centralidade de intermediação normalizado da rede de transporte público de média e alta capacidade em 2020.

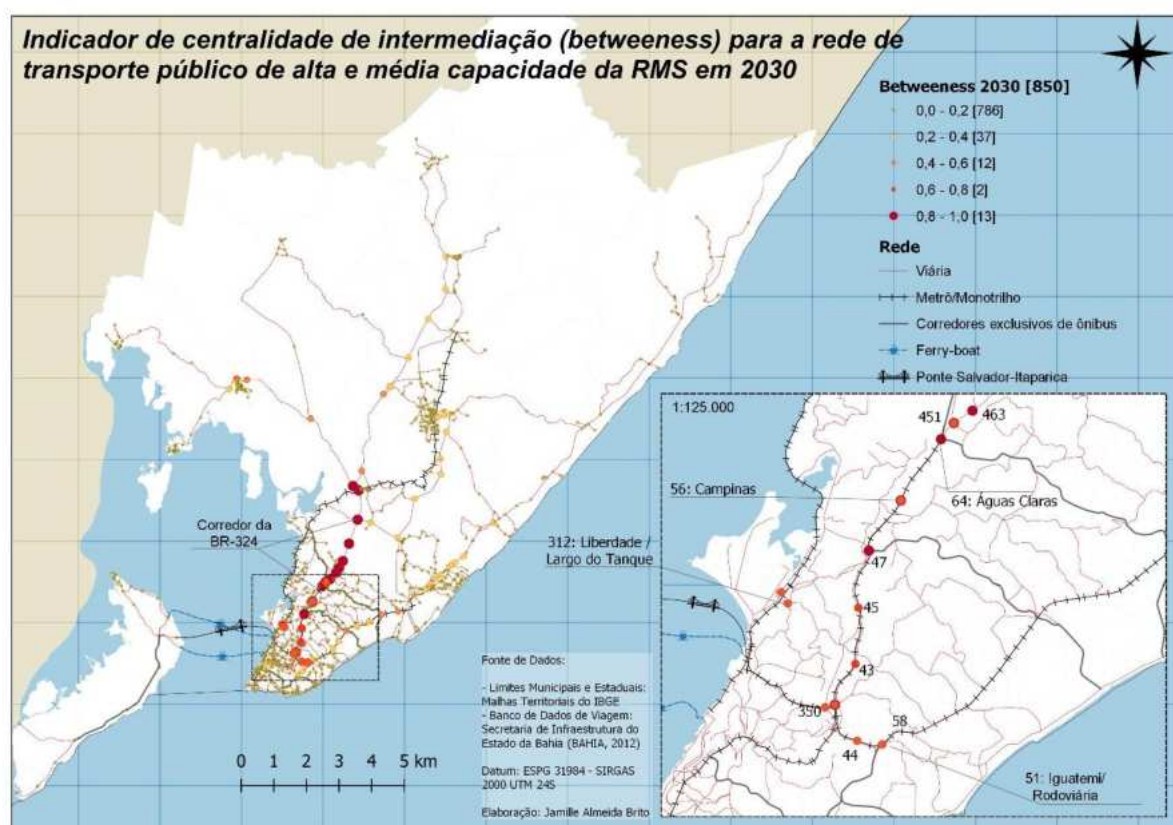


Fonte: (Própria autora).

Outros nós com elevado desempenho nesse indicador podem ser observados nas vias principais que conectam os municípios da RMS de norte a sul, especialmente no eixo longitudinal à leste da metrópole, que compreende a Linha 1 do metrô.

Na metrópole futura (Figura 22), o número de nós com maior hierarquia (capacidade de controle de fluxos) aumenta, de 2 para 13, mas eles continuam localizados sob o eixo da BR-324 e da Linha 1 do metrô, apesar das intervenções na Rede futura (novas ligações).

Figura 23. Centralidade de intermediação para a rede de transporte público de alta e média capacidade da RMS em 2030.



Fonte: (Própria autora).

No entanto, deve ser notado que os nós próximos das centralidades metropolitanas melhoraram nesse indicador, aumentando sua capacidade de conexão para outros pontos (localidades) da metrópole. De forma geral, os demais nós com capacidade de intermediação ou conectividade, não sofreram significativa

alteração, exceto aqueles que melhoraram sua performance na faixa 0,6 – 0,8 entre 2020 e 2030.

6.4.2 Nodalidade

A nodalidade é um tipo de indicador de centralidade que mede o grau de proximidade de um nó da rede em relação a todos os outros nós. Para a sua mensuração, é necessário somar o tempo de viagem de todos os caminhos mínimos possíveis a partir de determinado nó, por uma matriz de tempos de viagem gerado com os nós da rede. A Equação (9) apresenta essa relação. A matriz de tempos de viagem foi construída com o auxílio do QNEAT3 para o Cenário Atual e Tendencial.

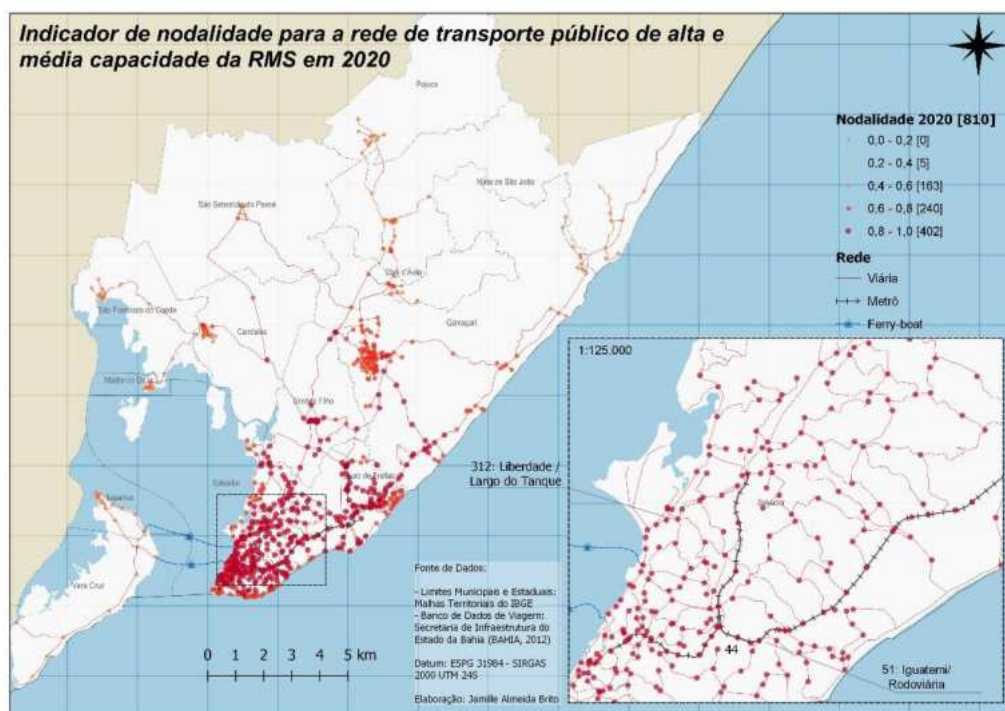
$$Nodalidade = \sum_{k=1}^{k=n} tempo\ de\ viagem_{i \rightarrow k} \quad (9)$$

O resultado do indicador normalizado é apresentado nas figuras 23 e 24. Os nós localizados na porção central da península são beneficiados pela maior densidade de rede de média-alta capacidade na metrópole e, dessa forma, apresentaram bom desempenho neste indicador nos 2 cenários.

No resultado não normalizado do indicador, percebeu-se diminuição do tempo total, em horas, para os nós mais centrais da rede entre 2020 e 2030. Essa melhora no desempenho da rede pode ser notada pelo aumento no número de nós classificados na faixa mais alta do indicador de nodalidade, entre 0,8 – 1,0.

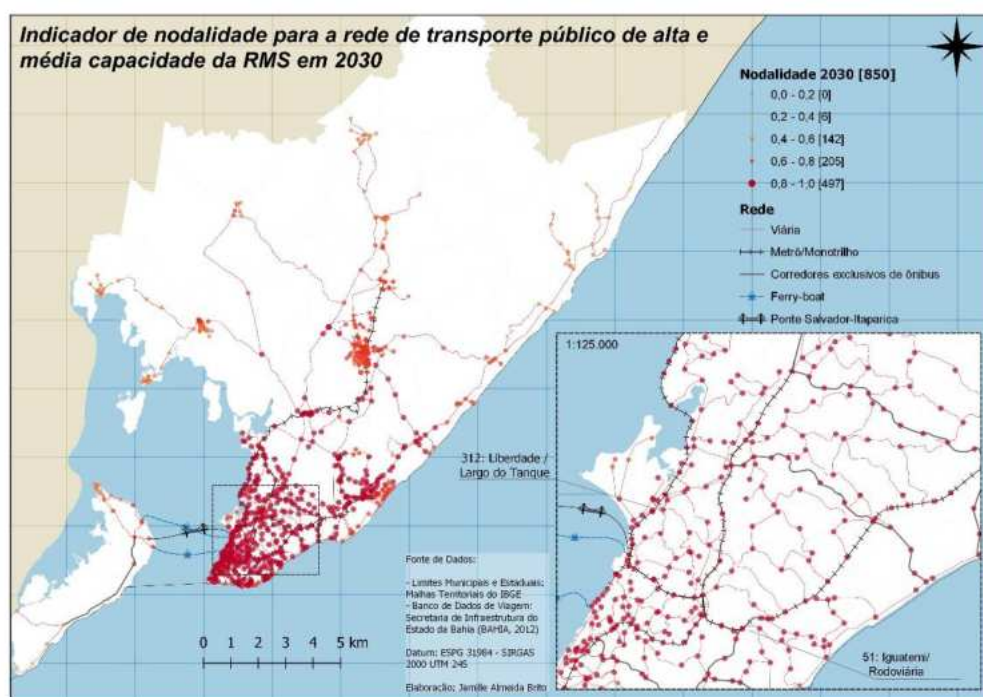
No entanto, vale notar que a inclusão de novos corredores de transporte público não aumentou de forma relevante o número de nós considerados centrais por esse indicador em localidades distantes das centralidades, como a sede dos municípios metropolitanos.

Figura 24. Indicador de nodalidade para a rede de transporte público de alta e média capacidade da RMS em 2020.



Fonte: (Própria autora).

Figura 25. Indicador de nodalidade para a rede de transporte público de alta e média capacidade da RMS em 2030.



Fonte: (Própria autora).

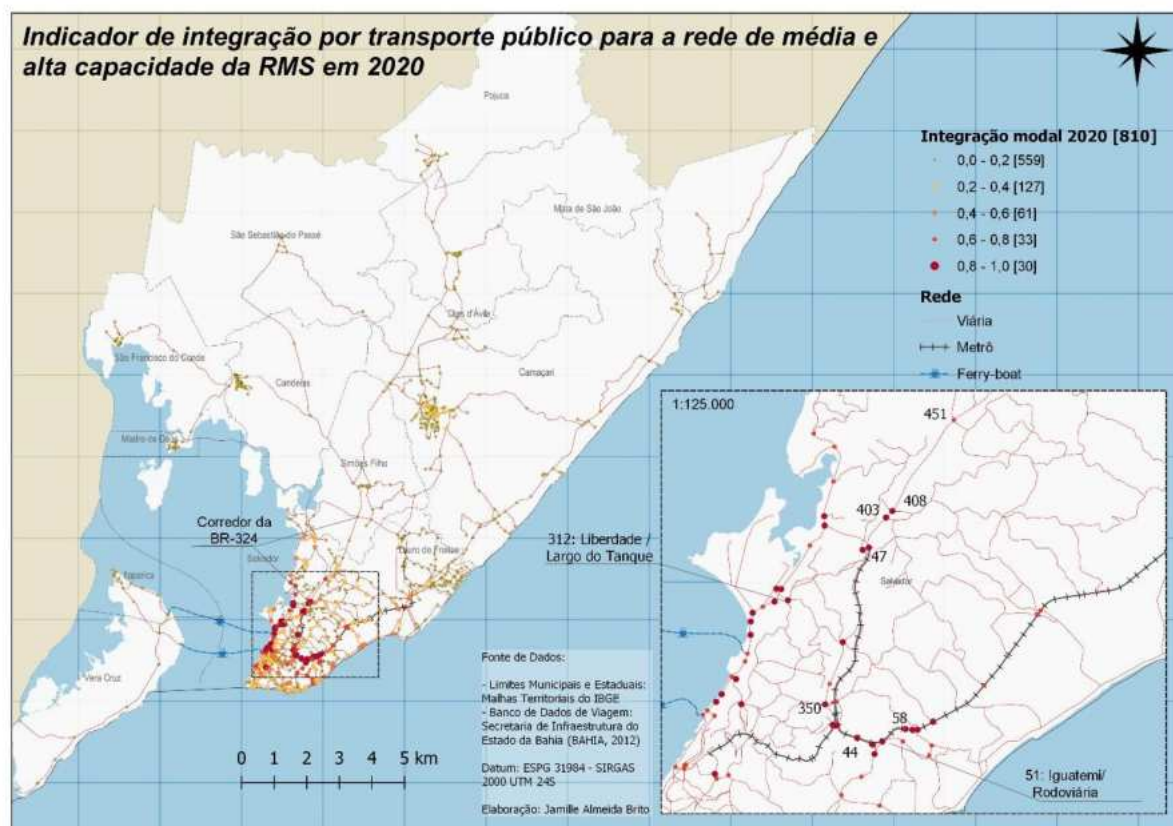
6.4.3 Integração por transporte público

Este indicador se refere à oferta de transporte coletivo por ônibus nas imediações do nós da rede, medindo, portanto, a capacidade dos nós em fornecer opções de integração com outros itinerários do transporte público. Esse indicador é adaptado de Chorus e Bertolini (2011), no qual procuravam “[...] o número de linhas de ônibus que partiam da estação”. A adaptação feita contempla a consideração de todos os nós da rede estudada, possuindo ou não estação implementada, de modo que todas as linhas de ônibus em operação em 2020 que passavam por cada nó foram consideradas para cálculo do indicador. As figuras 23 e 24 apresentam os resultados para a metrópole atual e futura, respectivamente.

Esse indicador também não apresentou mudanças relevantes na hierarquia dos nós entre 2020 e 2030. Através dos destaques das figuras 25 e 26, percebe-se que os nós localizados nas proximidades das 2 centralidades metropolitanas possuem maior oferta de linhas para a integração com o Sistema de Transporte Coletivo por Ônibus, decorrente do planejamento operacional atual da cidade de Salvador.

Essa indicação pode ser positiva para os Índices de Nó da rede atual e futura, já que a centralidade Iguatemi possui estações de metrô implementadas, ao passo que as estações terminais de Monotrilho serão construídas na Região do Comércio/Centro Tradicional.

Figura 26. Indicador de integração por transporte público para a rede de média e alta capacidade da RMS em 2020.

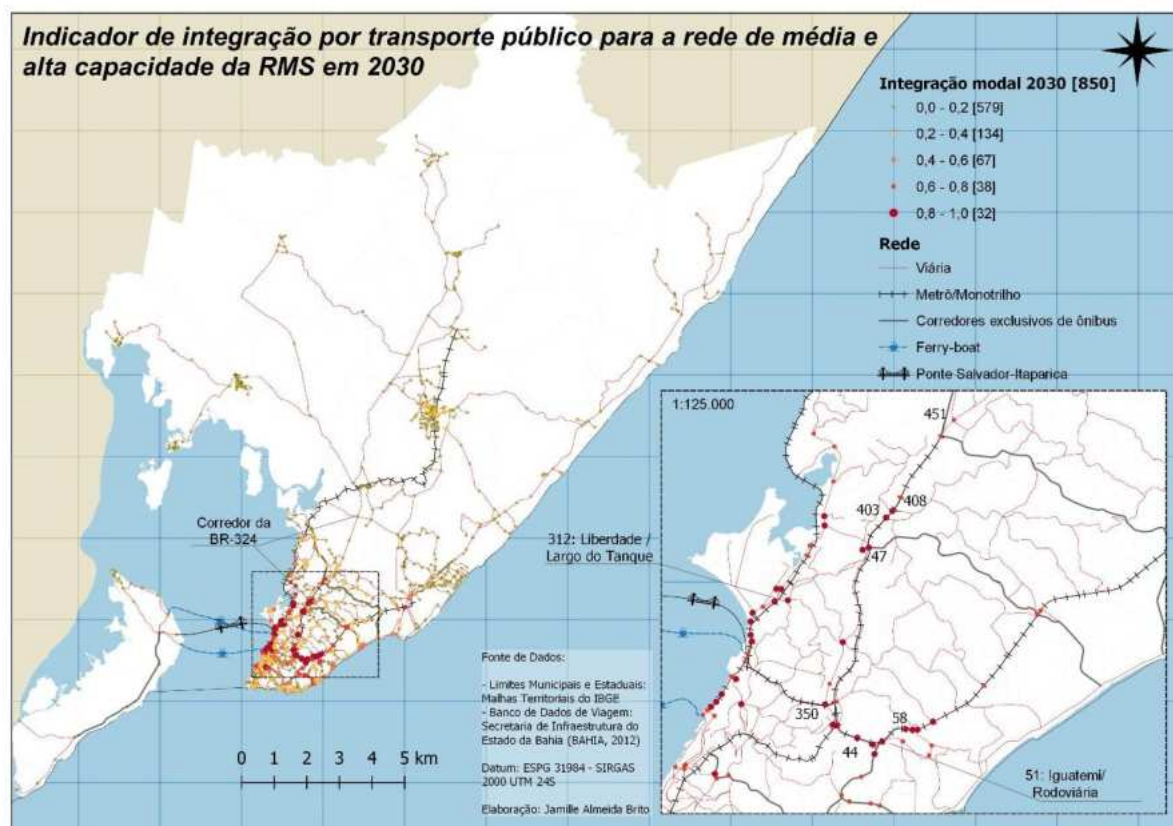


Fonte: Própria autora

Além disso, observa-se que houve um pequeno aumento no intervalo mais alto do mapa, mas mesmo com a chegada 40 novos nós na rede. Porém, esses 2 nós adicionais correspondem a estações de monotrilho localizadas nas proximidades da Região do Comércio/Centro Tradicional.

Destaca-se adicionalmente que as novas intervenções na Rede ou ligações futuras (metrô, monotrilho, BRT, entre outros) implicam em mudanças no traçado da rede alimentadora como um todo, a ausência dessas informações comprometeu o resultado deste indicador.

Figura 27. Indicador de integração por transporte público para a rede de média e alta capacidade da RMS em 2030.



Fonte: (Própria autora).

6.4.4 Cobertura e microacessibilidade

O indicador de cobertura e acessibilidade foi adaptado de Alves, Rossi e Portugal (2017, p. 278) e de Villada *et al.* (2017, p. 186). No primeiro, esse indicador é tido como o número de estações acessíveis em 20 min de caminhada de forma confortável. No segundo, a qualidade de caminhada no entorno das estações é medida pela quantidade de quarteirões por Km².

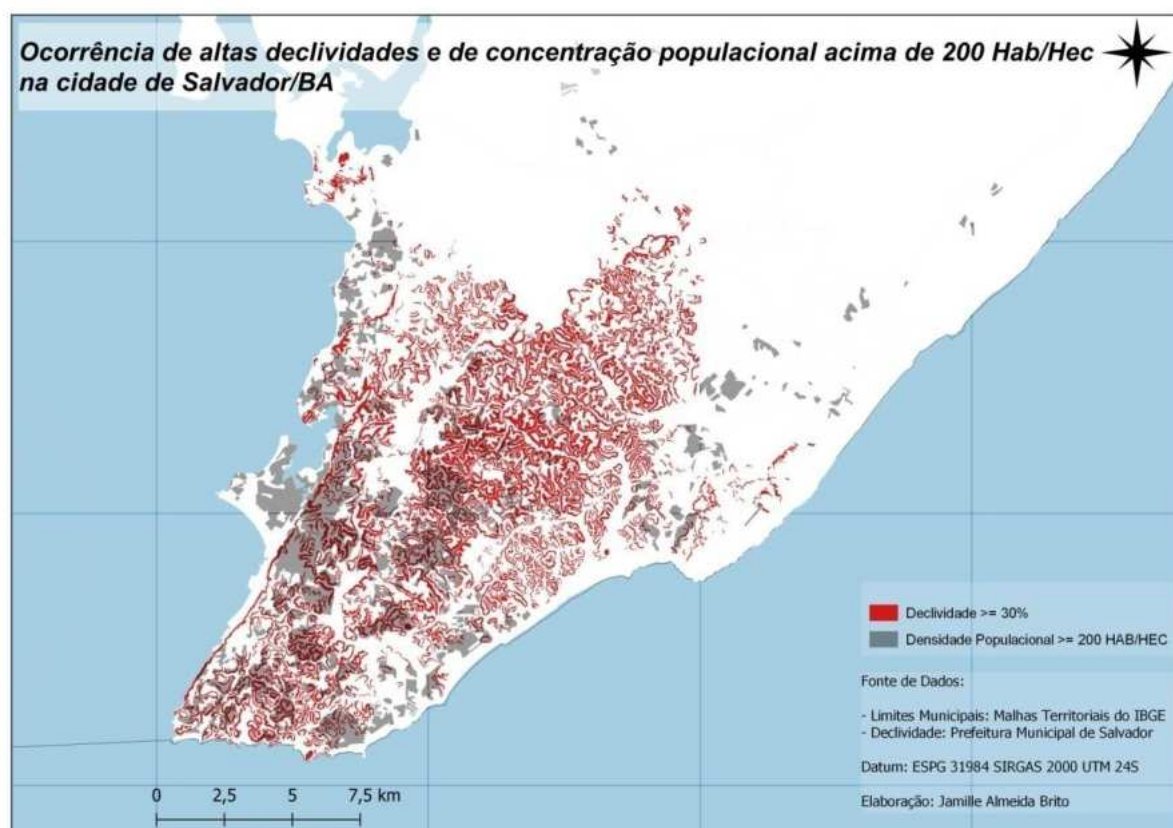
Porém, pela necessidade de mensurar a qualidade de caminhada para os nós da rede de transporte considerada e pela ausência de dados de quadras para toda a área de estudo, considera-se nesse indicador os quilômetros de vias disponíveis ao pedestre em 12 min de caminhada, a partir dos nós, considerando velocidade de caminhada compatível com a declividade do terreno.

Há 3 razões para essa definição: primeiramente, procurar-se quantificar o volume de vias disponíveis em um raio TOD, idealmente de 750 m (GUERRA; CERVERO, 2013), equivalente a 12 min de caminhada a 4 km/h. Em segundo lugar,

a qualidade de caminhada é mensurada pela consideração da fricção ao deslocamento imposta pelo terreno de Salvador, notadamente íngreme e em regiões densamente ocupadas, com declividades maiores que 30%. Por último, a extensão disponível de vias para o pedestre, dentro do raio de influência dos nós, pode ser reveladora da qualidade do desenho urbano da metrópole, que nem sempre é reticular e planejada, como é comum em cidades latino-americanas.

Considerando a disponibilidade de dados de declividade para Salvador, a concentração da demanda por transporte público e a maior densidade viária na cidade, optou-se por incluir os custos de deslocamento para logradouros com declividade acima de 30%. A representação da ocorrência de declividades altas em Salvador é dada na figura 27.

Figura 28. Ocorrência de declividades acima de 30% na cidade de Salvador/BA.

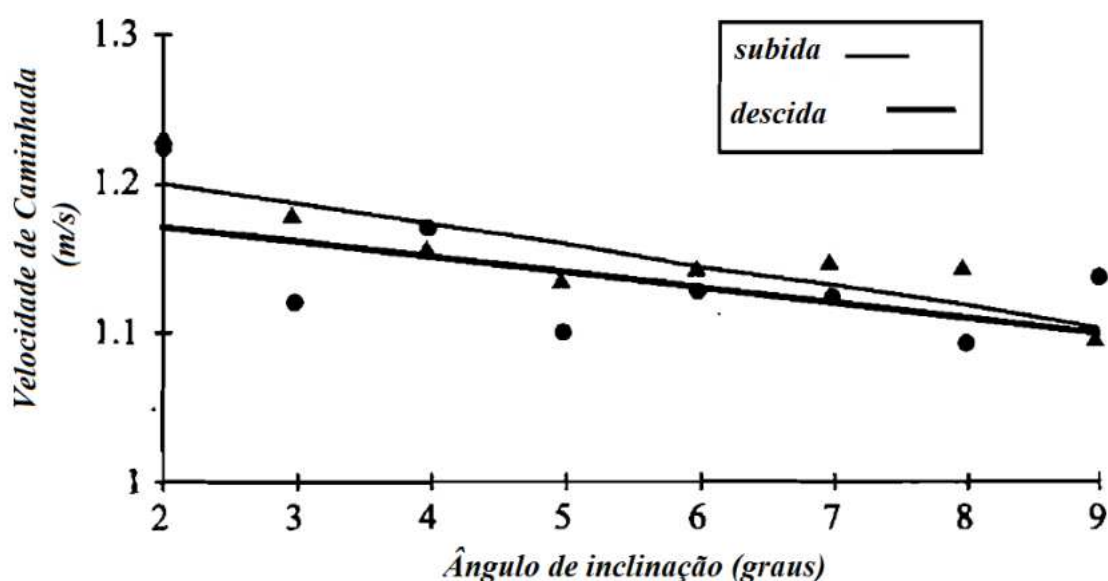


Fonte: (Própria autora).

A fricção espacial provocada pelo terreno ao pedestre foi retratada na rede de logradouros na forma de velocidade de caminhada. Dessa forma, a rede de logradouros foi seccionada espacialmente em ambiente SIG pela camada de

declividade obtida. Em seguida, todos os trechos da rede de logradouros dentro das regiões com terreno íngreme receberam velocidade igual a 3 km/h. A atribuição desse valor de velocidade é baseada no estudo de Sun *et al.* (1996), o qual demonstra que a declividade degrada a velocidade de caminhada com o aumento da inclinação do terreno, conforme a relação apresentada na figura 28.

Figura 29. Locomoção humana em superfícies inclinadas.



Fonte (SUN *et al.*, 1996).

Ao extrapolar a equação utilizada por esses autores, obtém-se que, a partir de 30%, a velocidade do pedestre decai para 3,57 km/h (Tabela 5). Considerando que, em Salvador, o terreno pode atingir até 70% de declividade, adotou-se uma velocidade de caminhada média de 3 km/h.

Tabela 7. Velocidade de subida e inclinação do terreno para locomoção humana.

Equação: (subida)		$V = 1,226 - 0,014 \cdot D_g$	
D_g (°)	D_p (%)	V (m/s)	V (km/h)
2	3%	1,20	4,31
3	5%	1,18	4,26
4	7%	1,17	4,21
5	9%	1,16	4,16
6	11%	1,14	4,11
7	12%	1,13	4,06
8	14%	1,11	4,01
9	16%	1,10	3,96
17	30%	0,99	3,57
35	77%	0,70	2,52

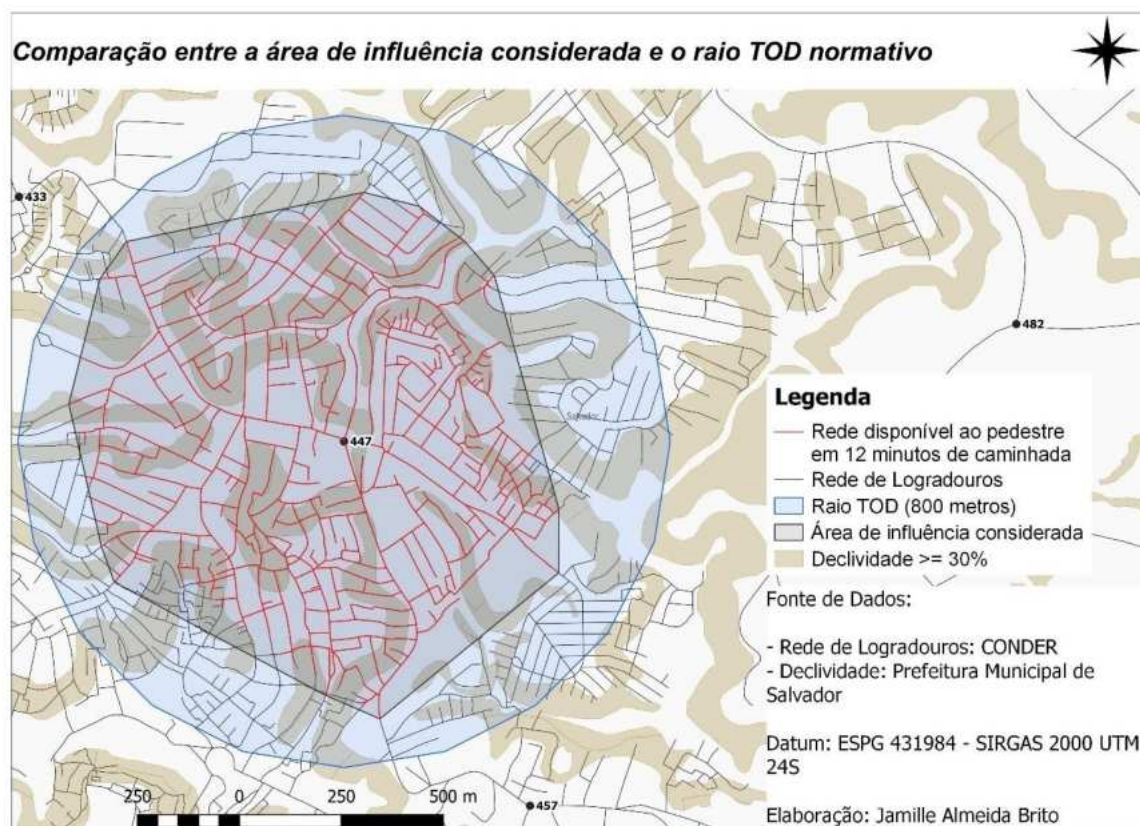
Fonte (SUN *et al.*, 1996)

Na tabela 7, observa-se que D_g corresponde ao grau acline, D_p corresponde à mesma inclinação em porcentagem e V indica a velocidade de caminhada.

Ao fim deste procedimento, percebeu-se que o terreno reduziu de forma significativa a área de caminhabilidade do pedestre para os nós localizados em regiões íngremes da área de estudo, prejudicando as condições de acesso do pedestre à infraestrutura de transporte. Um exemplo dessa diferença pode ser visto na figura 29.

Finalmente, o indicador de cobertura e microacessibilidade foi calculado pelo comprimento total, em quilômetros, da rede disponível ao pedestre em 12 min de caminhada e a área de influência dos nós é considerada como a envoltória convexa dessa rede.

Figura 30. Diferença de área observada pela consideração da declividade para a qualidade da caminhada.

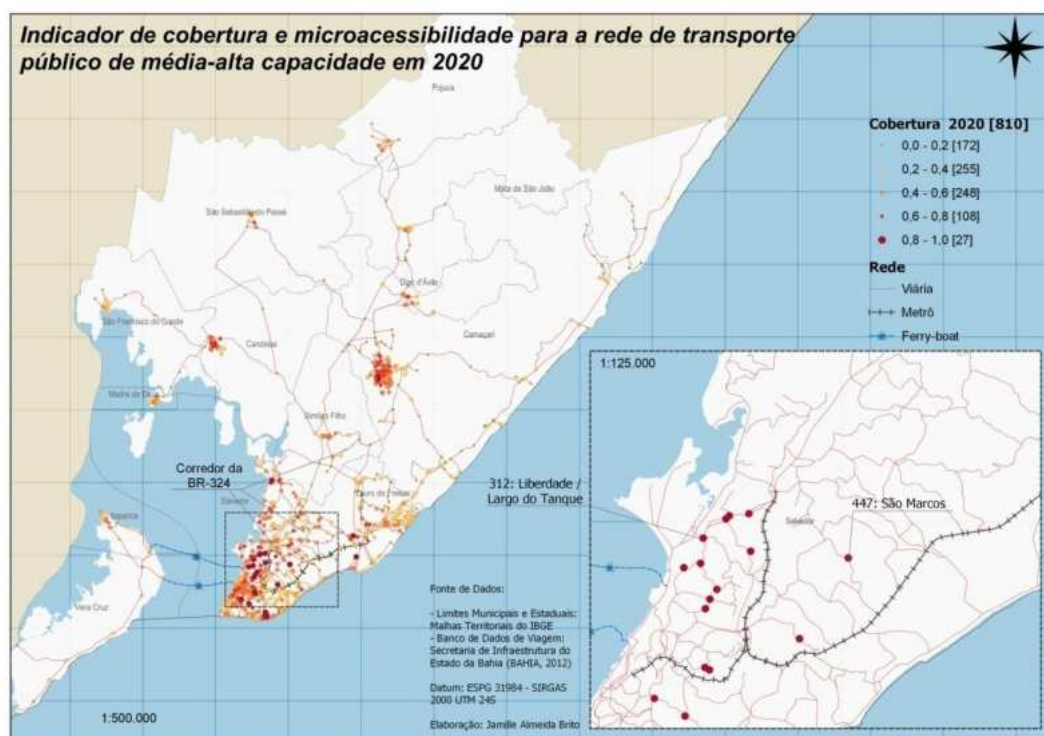


Fonte: (Própria autora).

O resultado do indicador de cobertura e microacessibilidade é representado na figura 30 para a metrópole 2020, e na figura 31, para 2030. Percebe-se que, em ambos os cenários, a cobertura da rede de microacessibilidade é maior para os nós localizados nas proximidades da área urbana central. Essa região engloba bairros de ocupação mais antiga de Salvador, consolidados ou predominantemente planos (cumeadas). Alguns nós com boa cobertura de rede para o pedestre podem ser encontrados de forma dispersa na porção central e norte de Salvador, localizados em áreas de maior densidade populacional.

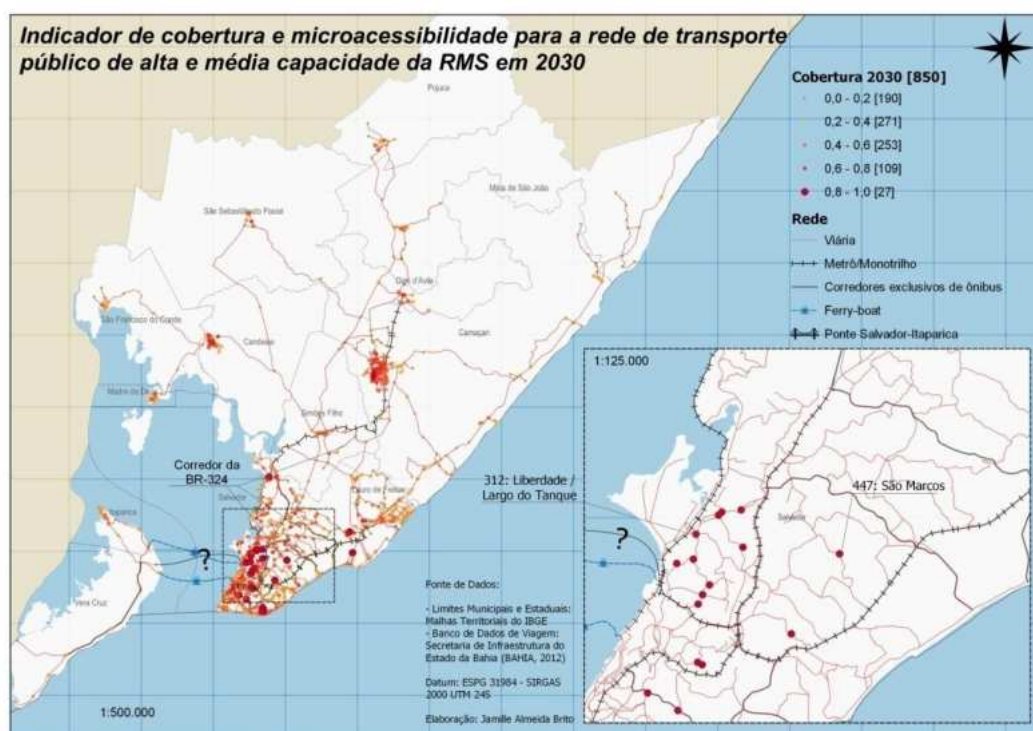
De forma geral, a distribuição de nós com boa cobertura e microacessibilidade permanece inalterada entre 2020 e 2030, o que aponta para o fato os novos nós podem estar inseridos em locais em fase de consolidação da ocupação e com baixa densidade de vias de acesso às atividades urbanas.

Figura 31. Indicador de cobertura e microacessibilidade para a rede de transporte público de média e alta capacidade em 2020.



Fonte: (Própria autora).

Figura 32. Indicador de cobertura e microacessibilidade para o Cenário Atual.



Fonte: (Própria autora).

6.5 Cenários de Planejamento TOD

A última etapa do estudo de caso compreende a construção de 2 cenários de planejamento TOD para a metrópole 2020 e a metrópole 2030. Cada cenário é composto por: 2 mapas-síntese; 2 Matrizes Nó-Lugar de Potencial TOD; e uma base de dados espacial para consulta.

Os mapas-síntese são resultantes de 2 cálculos: **a)** da alocação do Índice de Lugar Geral, para cada nó da rede, a partir do mapa raster desse índice; e **b)** do cálculo do Índice de Nó para cada uma das localizações ou nós. Ambas as operações foram feitas para cada cenário 2020 e 2030. A análise de cada um desses produtos permite uma visão global da organização do espaço urbano em áreas com Potencial TOD, considerando a integração espacial das variáveis e indicadores respectivos de Nó e Lugar. Seguindo a proposta metodológica cada índice corresponde a um somatório, conforme a Equação (10).

$$\text{ÍNDICE} = \text{Indicador}_a + \text{Indicador}_b + \text{Indicador}_c + \text{Indicador}_d \quad (10)$$

O mapa do Índice de Lugar Geral é um mapa raster de base, obtido pelo somatório dos indicadores de densidade, diversidade, demanda por transporte público e empregos acessíveis. Este índice será atribuído a cada nó da rede através de sua área de influência.

Por outro lado, o Índice de Nó, como foi indicado na metodologia, foi desenvolvido pela soma vetorial dos indicadores parciais de nodalidade, *betweenness*, integração por transporte público e de cobertura e microacessibilidade, para cada nó da rede

Cada Matriz Nó-Lugar de Potencial TOD permitirá avaliar o grau de potencial que o transporte público terá para orientar o desenvolvimento urbano, no universo de localizações/estações estudadas. Os valores dos índices de Nó (eixo Y) e Lugar (eixo X) estabelecem um sistema de coordenadas, válido para avaliar o desempenho TOD das localizações em estudo. Serão construídas 2 matrizes por cenário, sendo a primeira relativa a todos os nós da rede e a segunda, apenas os nós com estações implementadas ou esperadas, no futuro. A tabela 8, disposta abaixo, apresenta o guia da representação gráfica.

Tabela 8. Guia de cores para a Matriz Nó-Lugar de Potencial TOD.

Cor	Símbolo	Classificação
Cinza		Potencial TOD Baixo
Azul		Potencial TOD Baixo
Amarelo		Potencial TOD aceitável com necessidade de intervenção
Roxo		Potencial TOD alto com necessidade de intervenção no Lugar
Laranja		Potencial TOD alto com necessidade de intervenção no Nó
Verde claro		Potencial TOD aceitável
Verde escuro		Potencial TOD alto

Fonte: (Própria autora).

Por fim, uma base espacial de consulta construída ao longo da pesquisa servirá para apoiar a interpretação dos resultados. Para isso, as camadas vetoriais com os indicadores de lugar foram transformadas em imagem *raster*, ao passo que os indicadores de nó, individuais, foram unidos em uma única camada vetorial de pontos.

Esse processamento serve para possibilitar consultas espaciais pela ferramenta “Identificar feições” presente no QGIS 3.16, conforme será apresentado no capítulo seguinte.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Cenário Atual

O cenário de planejamento atual visa a avaliação do Potencial TOD para RMS em 2020 e a identificação de nós candidatos a receberem intervenções integradas de transporte e uso do solo para induzir desenvolvimento.

7.1.1 Índices de Nó e Lugar Atuais

Analizando apenas o Índice de Nó, verifica-se que os fatores de transporte consolidados para metrópole 2020 apontam para o favorecimento de nós localizados sobre o corredor eixo longitudinal que conecta a maioria dos municípios metropolitanos a Salvador e nas proximidades das 2 centralidades (BR-324 – acesso norte – Av. ACM). Assim, a Estação Terminal de Pirajá e outros nós próximos possuem as maiores notas da rede, seguido por nós que correspondem a estações próximas a Região do Iguatemi.

Nessa hierarquia, também vale menção ao conjunto de nós localizados no bairro da Liberdade, denso e populoso, com destaque para a Região do Largo do Tanque, que pode ser observada na imagem do canto inferior direito da figura 32. O mapa do Índice de Lugar para o Cenário Atual está disponível em dimensão ampliada na figura 43 do Apêndice.

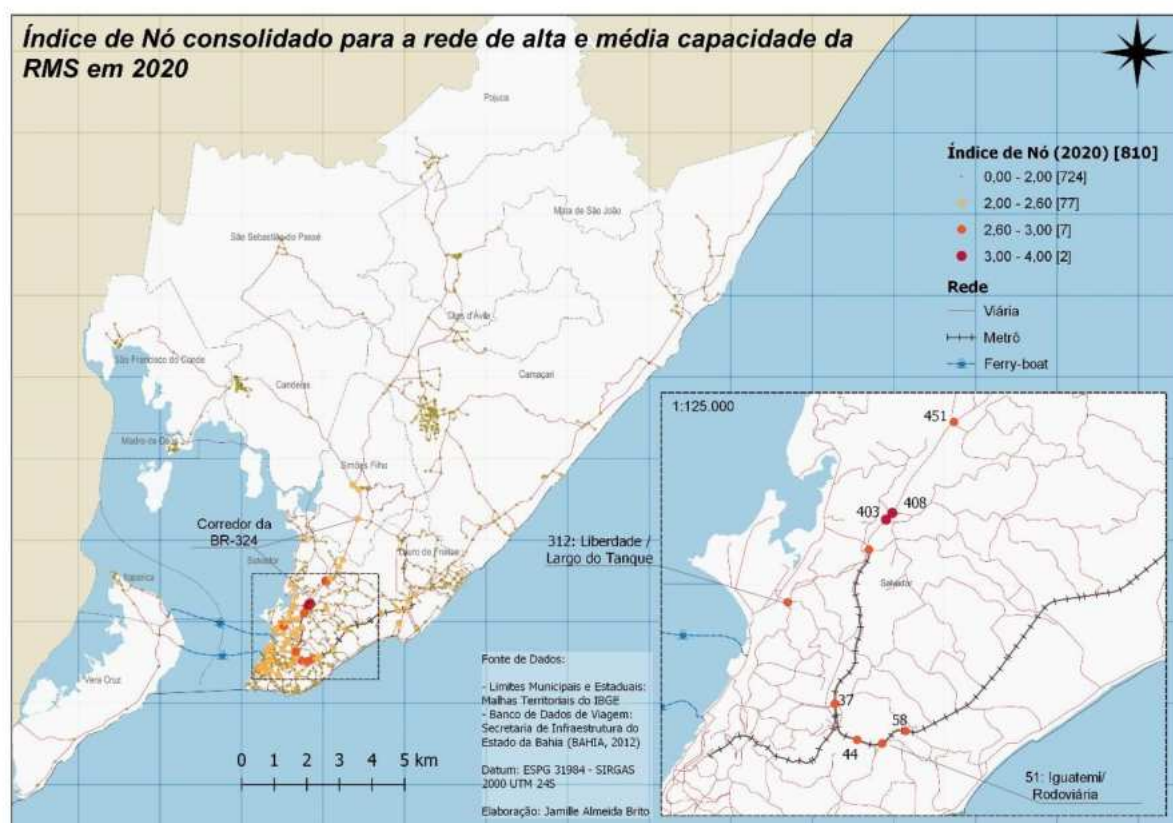
É interessante notar, que a maioria das estações do metrô em funcionamento na rede atual não apresentaram bom desempenho no Índice de Nó. Como a maioria das estações apresentaram notas boas ou intermediárias tanto para o *betweenness* e para a nodalidade, percebe-se que as características relativas ao acesso às estações são problemáticas: a) baixa oferta de linhas de ônibus para integração modal; e b) baixa cobertura de rede para captação de demanda na área de influência dessas estações.

Por sua vez, o Índice de Lugar (Figura 33) destaca quase toda porção centro-oeste de Salvador, onde se encontram as maiores densidades, demanda por transporte público e boa diversidade de atividades urbanas. Além dessa região, outras localidades próximas à centralidade do Iguatemi também apresentam boas condições para receber estações de média-alta capacidade na metrópole. O mapa do Índice de Lugar para o Cenário Atual está disponível em dimensão ampliada na figura 44 do Apêndice.

Distanciando-se das centralidades, identifica-se ilhas com bom potencial para acomodação de estações, como na Região de Coutos - Paripe, São Marcos e Itapuã - Mussurunga. Em faixas mais intermediárias do índice, com menor potencial, aparecem a sede urbana de Camaçari e Lauro de Freitas apresentando a necessidade de receber investimentos em transporte, porém integrados a estratégias de uso do solo, que aumentem a atratividade dessas localidades.

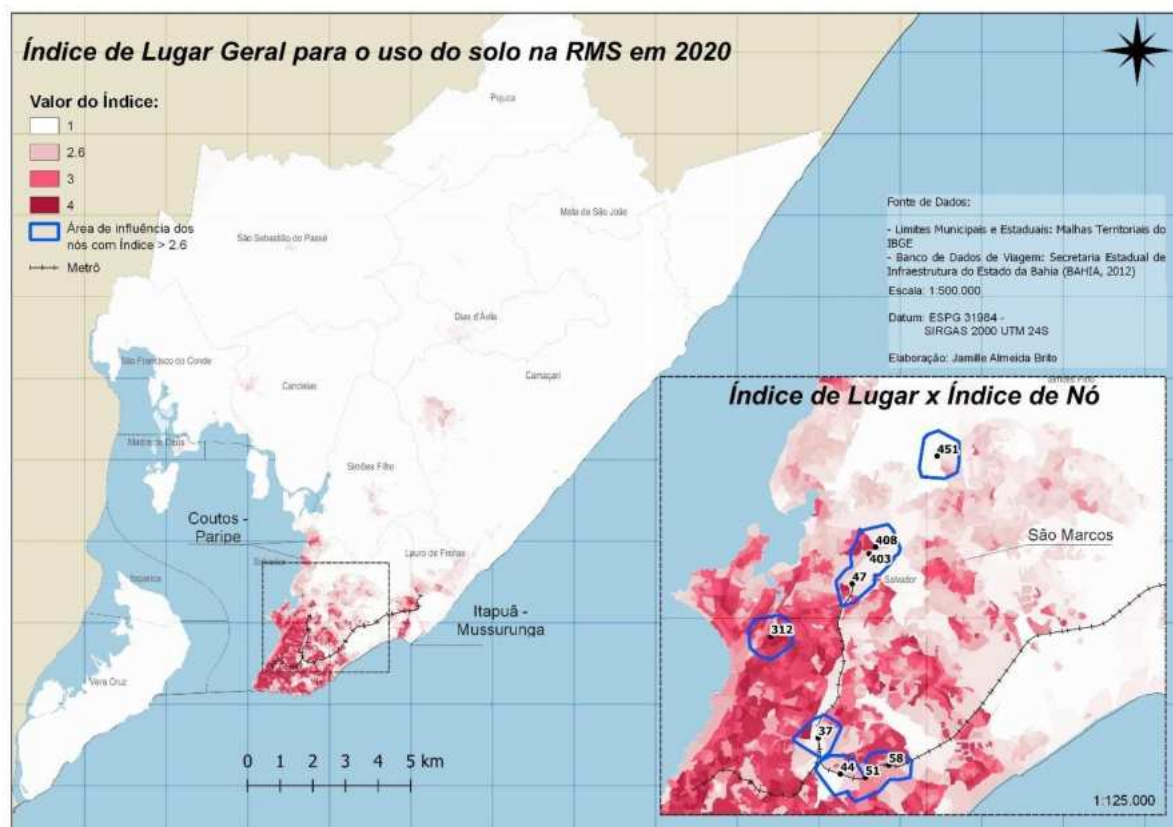
Comparando-se os resultados dos índices, percebe-se que os nós com melhor Índice de Nó potencial se encontram atualmente em regiões com Índice de Lugar baixo, como é o caso das estações de metrô na centralidade do Iguatemi. Nessa localidade, por exemplo, as densidades populacionais baixas contribuíram para esse resultado. Por outro lado, a região da Liberdade/Largo do Tanque já apresenta alto Potencial TOD, tanto pelos fatores de nó, quanto de lugar.

Figura 33. Índice de Nó para a rede de média e alta capacidade da RMS em 2020.



Fonte: (Própria autora).

Figura 34. Índice de Lugar Geral para o uso do solo na RMS em 2020.



Fonte: (Própria autora).

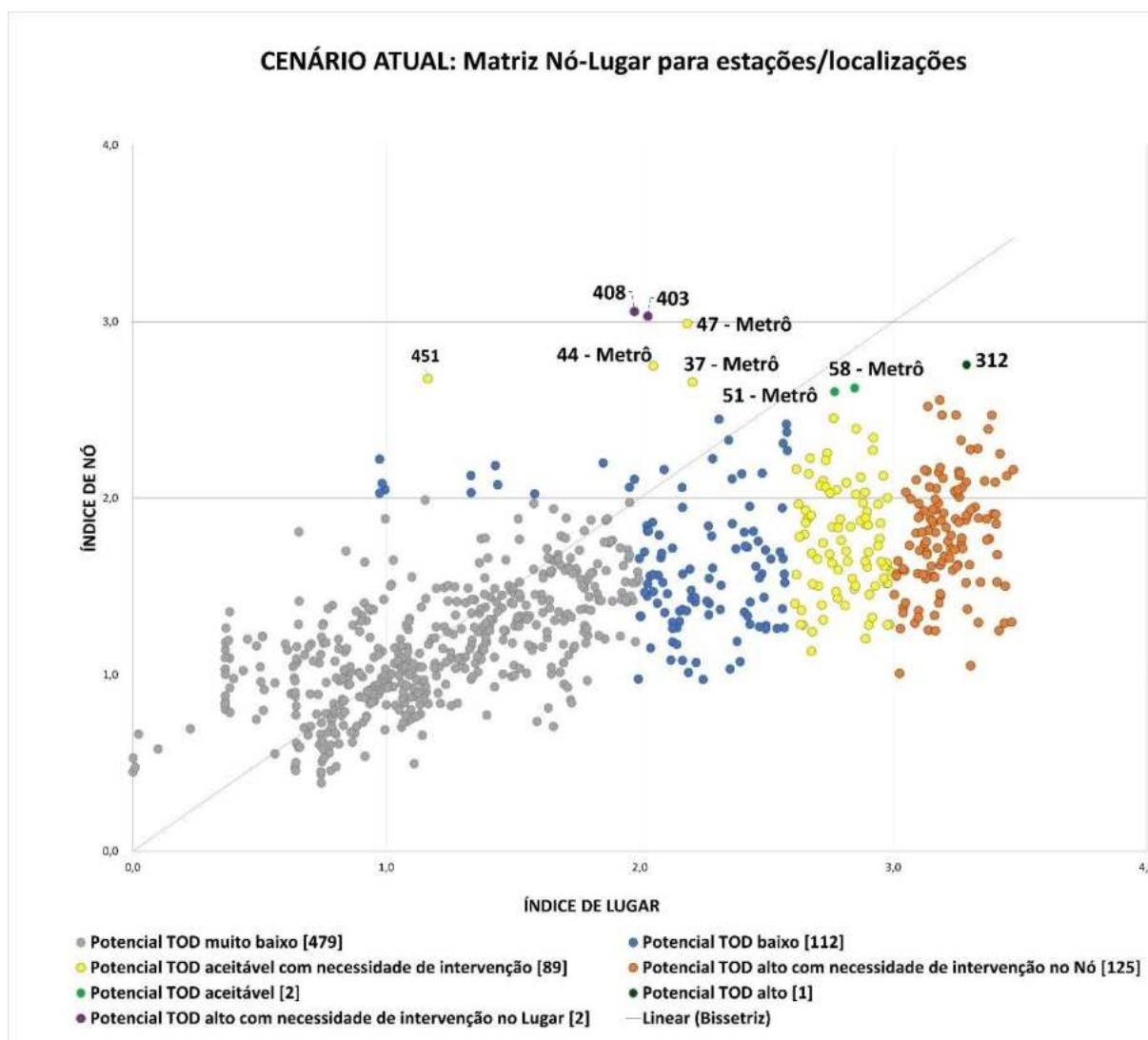
7.1.2 Matrizes Nó-Lugar de Potencial TOD: metrópole 2020

A representação gráfica do Modelo Nó-Lugar é apresentada na figura 34. Nela, as localizações/estações com Índice de Nó maiores ou iguais a 2,6 foram rotulados para discussão.

De forma geral, verifica-se que aproximadamente 28,5% dos nós da rede de transporte de média-alta capacidade da metrópole atual, em estudo, possuem potencial para implementação de políticas TOD, sendo que a maior parte deles necessitam de intervenções no padrão de uso do solo ou no desempenho territorial da rede de transporte, sendo as intervenções no Índice de Nó particularmente críticas.

Ao mesmo tempo, observa-se algumas estações de alta capacidade já existentes apresentando Potencial TOD, mas sob a condição de melhorarem os fatores/variáveis do Índice de Lugar, visando um uso mais eficiente da sua capacidade de transporte.

Figura 35. Matriz Nó-Lugar para localizações/estações no Cenário Atual (2020).



Fonte: (Própria autora).

Adicionalmente, identifica-se na figura 34 somente uma localização com Potencial TOD alto, referente ao nó 312, pertencente à Região da Liberdade/Largo do Tanque. Esse local não possui estação implementada, apesar de ter sido candidata no passado para receber o VLT – Monotrilho, porém houve uma mudança no traçado original dessa proposta. Este nó apresentou o melhor desempenho territorial da rede de transporte e como Lugar, no cenário atual, poderia se constituir, portanto, em ponto de partida para a concepção de uma relação transporte – uso do solo mais equilibrada, baseada em princípios TOD.

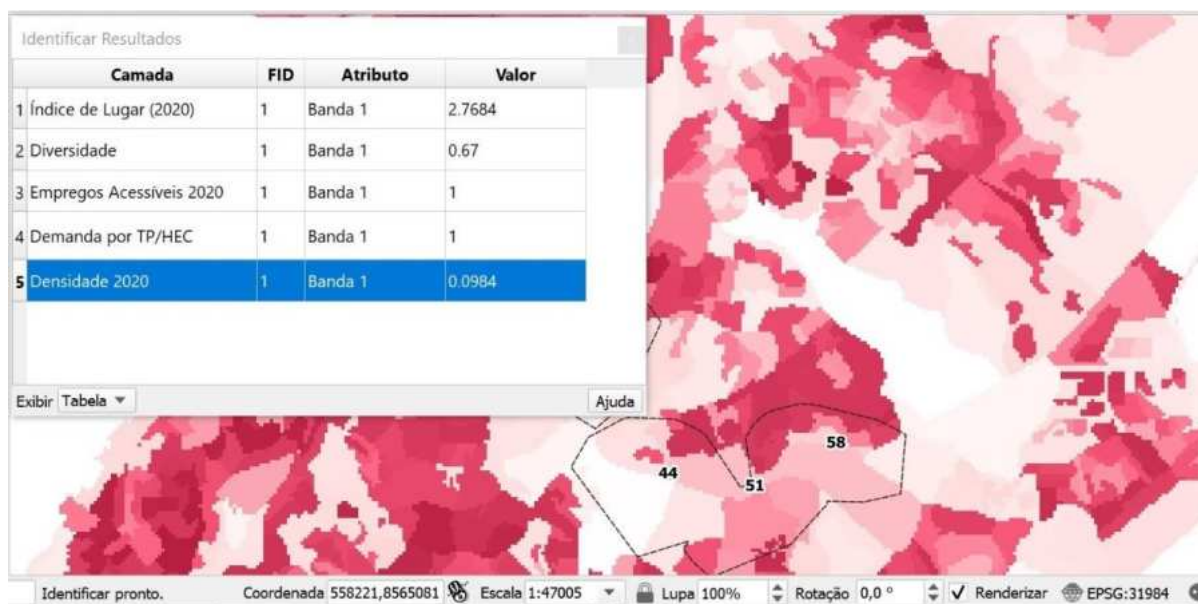
Outros 2 nós também obtiverem Potencial TOD na matriz do Cenário Atual: as estações de metrô 51 e 58, localizadas nas proximidades da centralidade Iguatemi. Em consulta espacial em ambiente SIG (Figura 35), verifica-se que essas estações

apresentam indicadores de densidade que a porção sudeste da área de influência compartilhada desses nós possui indicadores de densidade menores que 0,0984.

De fato, boa parte dessa região é ocupada por corredores viários, equipamentos públicos, concessionárias e postos de gasolina que consomem grandes porções do solo urbano, revelando um território de especulação imobiliária.

Além disso, a análise gravitacional de acesso a empregos da figura 13 demonstrou que essa região possui condição de acessibilidade abaixo da média metropolitana, sendo severamente impactada pela baixa densidade populacional. Diante desses fatores, percebe-se que a região da centralidade Iguatemi poderia se beneficiar de políticas TOD voltadas a habitação.

Figura 36. Consulta espacial aos indicadores de lugar em ambiente SIG no Nó 51.

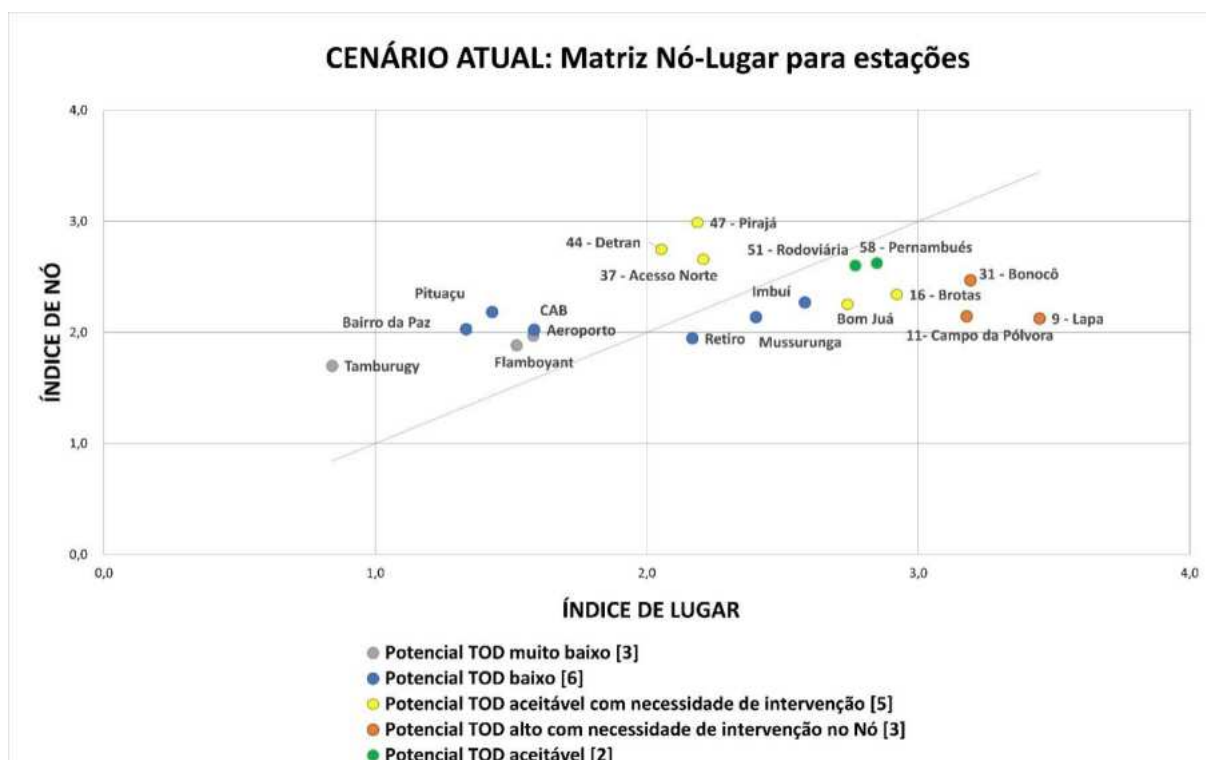


Fonte: (Própria autora).

Por outro lado, algumas estações de metrô necessitam de intervenções locais para aumentar seu Potencial TOD, como é o caso dos nós 37, 44 e 47. Nesses casos, essas infraestruturas apresentam bons índices de nó, mas os fatores relativos ao uso do solo, tais como: densidade; diversidade; e demanda por transporte público, reduzem sua capacidade de induzir desenvolvimento sustentável na sua área de influência. Essa discrepância entre os atributos de nó e lugar ficam bastante evidentes na figura 35.

A fim de analisar somente nós com estações implementadas, a Matriz Nó-Lugar foi recriada na figura 36, na qual percebe-se que a maioria das estações apresentam Potencial TOD baixo ou muito baixo.

Figura 37. Matriz Nó-Lugar para a representação dos nós com estações de alta capacidade implementadas em 2020.



Fonte: (Própria autora).

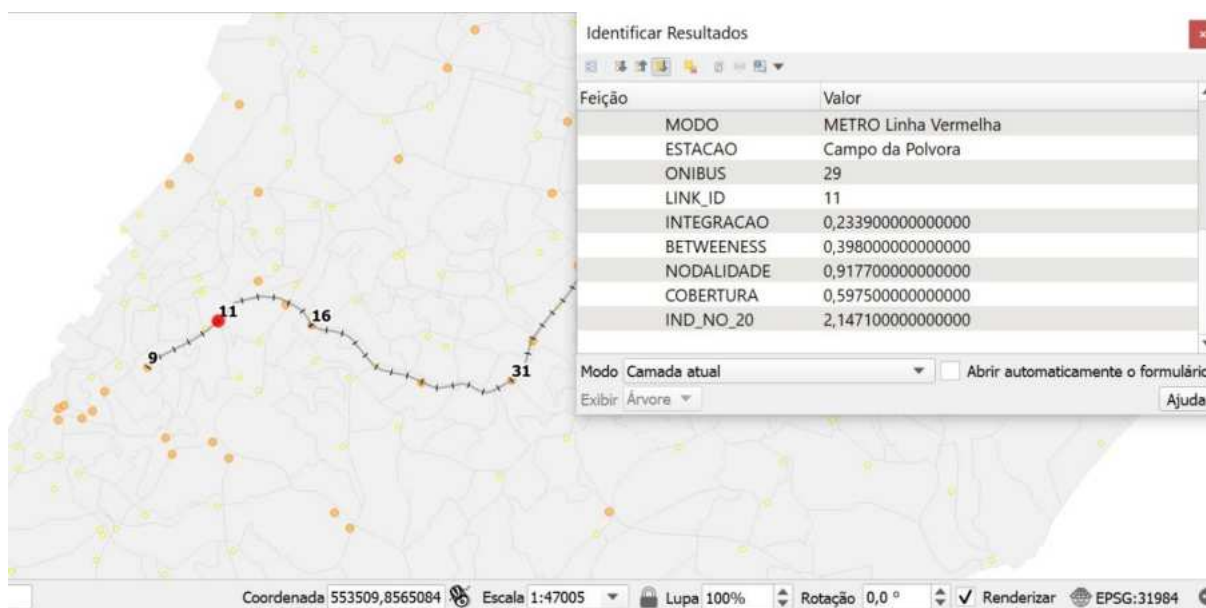
Todas as estações destacadas em cinza ou azul estão localizadas na Linha 02 do metrô, que atravessa uma região de baixa densidade, baixa demanda pelo transporte público e com pouca diversidade de atividades.

Alternativamente, as estações da Linha 01 do metrô, que se distribuem longitudinalmente desde a BR-324 pelo lado oeste da península até a centralidade do Comércio/Centro Tradicional, apresentam potencial aceitável para sustentabilidade se acompanhadas de estratégias integradas de transporte e uso do solo.

Nesse conjunto de estações, destacam-se Campo da Pólvora, Bonocô e Lapa, as quais se localizam em regiões densas e próximas à centralidade do Comércio/Centro Tradicional. Por exemplo, a estação Campo da Pólvora possui bom Índice de Lugar, mas Índice de Nó baixo (vide Figura 36). Em consulta à base de

dados espacial, verificou-se que o desempenho do nó fora comprometido pelo indicador “integração por transporte público” (vide Figura 37). Assim, pode ser interessante intervir na região com gestão do serviço do transporte público por ônibus, considerando que pertence a uma região com condição de acessibilidade aos empregos abaixo da média metropolitana, de acordo com os resultados da Acessibilidade Gravitacional.

Figura 38. Consulta espacial aos indicadores de Nó para o Cenário Atual.



Fonte: (Própria autora).

7.2 Cenário Tendencial

O cenário de planejamento tendencial tem por objetivo avaliar a indução do desenvolvimento urbano viável, no futuro, considerando a Rede proposta, os resultados dos mapas-síntese e Matrizes Nó-Lugar de Potencial TOD. Possíveis alterações entre os cenários atual e tendencial também são discutidas, tendo por base políticas integradas de transporte e uso do solo.

7.2.1 Índices de Nó e Lugar Tendenciais

Os resultados obtidos para o Índice de Nó para a metrópole futura na figura 38, indicam que a chegada de novas estações na rede não será suficiente para provocar mudanças importantes na hierarquia dos nós em relação à capacidade de atrair demandas. Nota-se, inclusive, uma redução no número de nós no melhor intervalo do índice. Isso ocorreu porque os nós localizados na BR-324 e que

participavam dessa categoria em 2030 reduziram sua performance relativa no indicador *betweenness*, já que passaram a intermediar menos fluxos na simulação, com a inclusão de 3 estações de metrô no mesmo corredor.

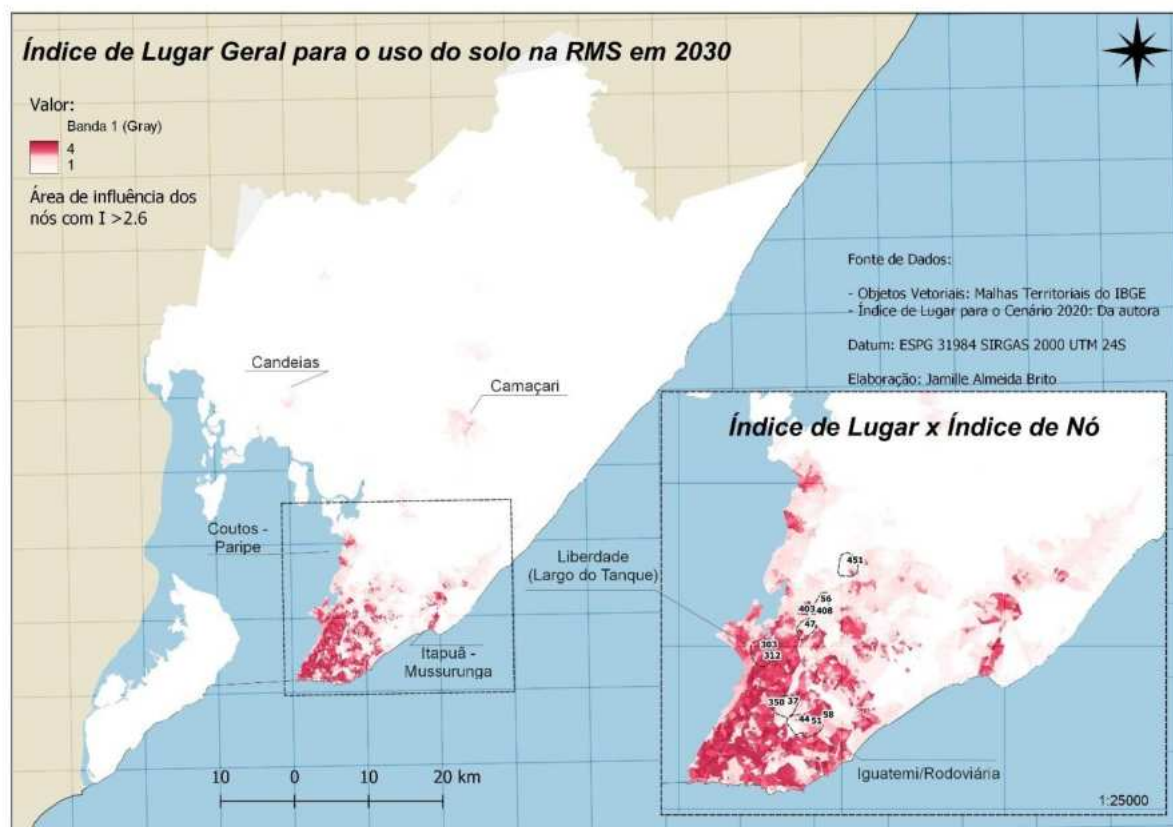
Para além disso, as observações feitas para o Índice de Nó em 2020 podem ser aplicadas para esta simulação do futuro tendencial: a) a Estação de Pirajá possui melhor resultado no índice; b) as estações próximas a centralidade do Iguatemi apresentam bom desempenho nos indicadores de Nó e; c) a Região da Liberdade/Largo do Tanque continua a se destacar no Índice mesmo sem presença de uma estação neste local.

A razão para que essa região esteja destacada em ambos os cenários é devido às boas notas nos indicadores de integração por transporte público e cobertura, demonstrando aptidão para captação de demanda e acesso a atividades urbanas na sua área de caminhabilidade e boa inserção urbana.

Em paralelo, o Índice de Lugar para a metrópole futura também espelha as condições observadas para a metrópole atual, como pode ser observado na figura 39. O mapa do Índice de Nó para o Cenário Tendencial está disponível em dimensão ampliada na figura 45 do Apêndice. Nesse caso, as variáveis de diversidade e demanda por transporte público foram assumidas como constantes nos 2 períodos. No entanto, chama a atenção ao fato que a dinâmica Nó-Lugar na metrópole da próxima década coloque as mesmas questões observadas para 2020:

- a) Os nós com maior potencial no Índice de Nó (desempenho do transporte) estão localizados em áreas de uso do solo pouco atrativo (Índice de Lugar). A acessibilidade ao emprego, pelo transporte público, a partir desses locais é baixa, porém esses nós não pertencem a regiões críticas para o planejamento, na perspectiva da equidade, pois possuem baixa densidade populacional e baixa demanda por transporte público. Considerando que as estações sejam implementadas, as políticas urbanas devem ser voltadas a descentralizar atividades urbanas nas metrópoles e atraí-las para o entorno dos nós com maior Potencial TOD, buscando a eficiência do uso do solo no entorno desses nós.
- b) A centralidade do Iguatemi apresenta um valor intermediário para o Índice de Lugar, sendo a baixa densidade a principal razão para tal. Em termos de acessibilidade aos empregos, essa região possui condições de

Figura 40. Índice de Lugar Geral para o Cenário Tendencial.



Fonte: (Própria autora).

7.2.2 Matrizes Nó-Lugar de Potencial TOD: metrópole 2030

A representação gráfica da Matriz Nó-Lugar de Potencial TOD para o Cenário Tendencial é apresentada na figura 40. O mapa do Índice de Lugar para o Cenário Tendencial está disponível em dimensão ampliada na figura 46 do Apêndice. De forma geral, percebe-se um incremento no número de nós com Potencial TOD alto, de 1 para 2, entre 2020 e 2030. No entanto, o mesmo não ocorreu para a categoria de classificação inferior, representada na cor verde clara. Para averiguar essas mudanças, foram destacados nós com Índice de Nó maior ou igual a 2,6 no Cenário Tendencial, assim como aqueles previamente rotulados na matriz do Cenário Atual.

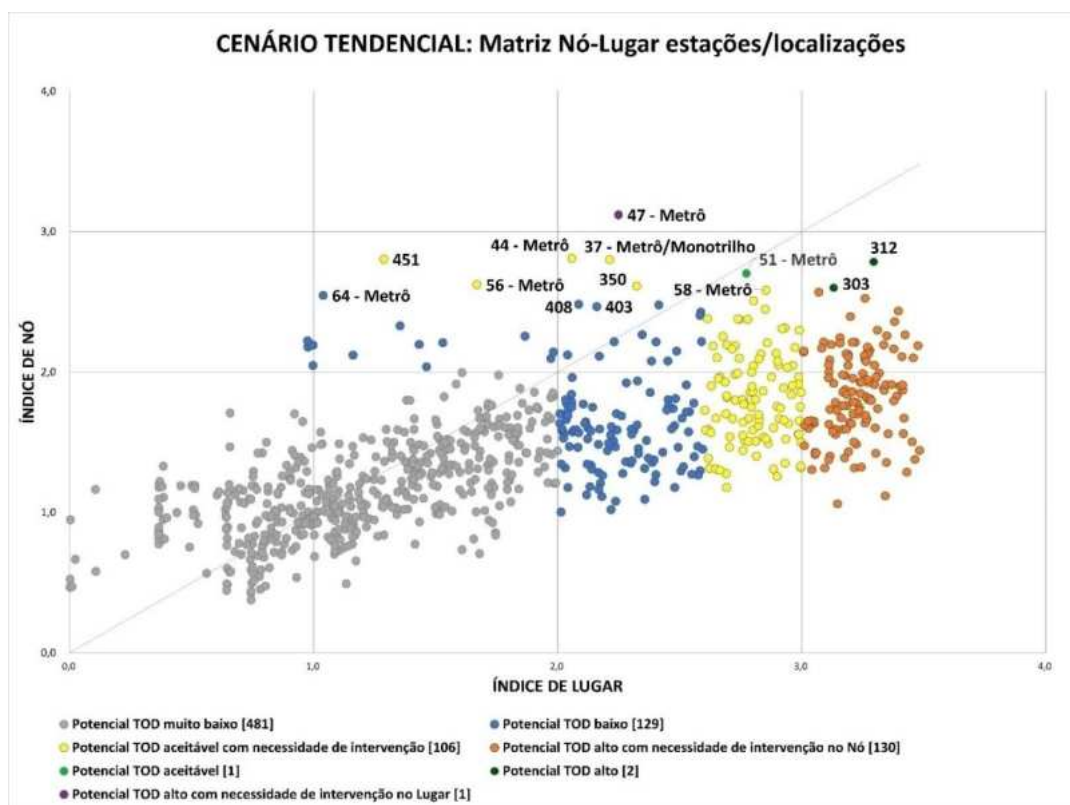
A primeira constatação importante é o aparecimento de uma segunda localização na classificação de Potencial TOD alto, referente ao nó 303. A área de influência desse nó se cruza com a do nó 312, o que acaba por estabelecer a Região da Liberdade/Largo do Tanque como uma área preferencial para implementação de políticas TOD na metrópole atual e futura.

A segunda observação importante acerca da Matriz Nó-Lugar para 2030 é o rebaixamento na classificação para o nó 58, a qual abriga estação de metrô Pernambués. Por meio de consulta espacial, verifica-se que sua área de influência tende a sofrer redução na densidade populacional, o que influencia seu potencial para indução de desenvolvimento. Nesse sentido, junto com os nós 37, 44 e 56, essa estação necessita de intervenções no uso do solo para torná-lo mais compacto e com melhores condições de microacessibilidade ao pedestre.

Percebe-se também que os nós 403 e 408 tendem a diminuir seu Potencial TOD reduzido na simulação realizada. Essas localizações se encontram no corredor viário da BR-324 e, por isso, perdem centralidade na rede pela ampliação da rede metroferroviária no sentido norte da metrópole. Porém, as 2 novas estações (nós 56 – Campinas e 64 - Águas Claras) apresentaram Potencial TOD insatisfatório, principalmente por possuírem Índice de Lugar baixo, iguais a 1,7 e 1,0, respectivamente. No entanto, o Índice de Nó dessas estações é igual a 2,6.

De forma similar ao Cenário Tendencial, as estações esperadas para a metrópole 2030 foram representadas isoladamente na figura 41. Por essa matriz, vale a pena destacar a presença de: 2 futuras estações do metrô; 3 futuras estações de BRT; e uma futura estação de Monotrilho.

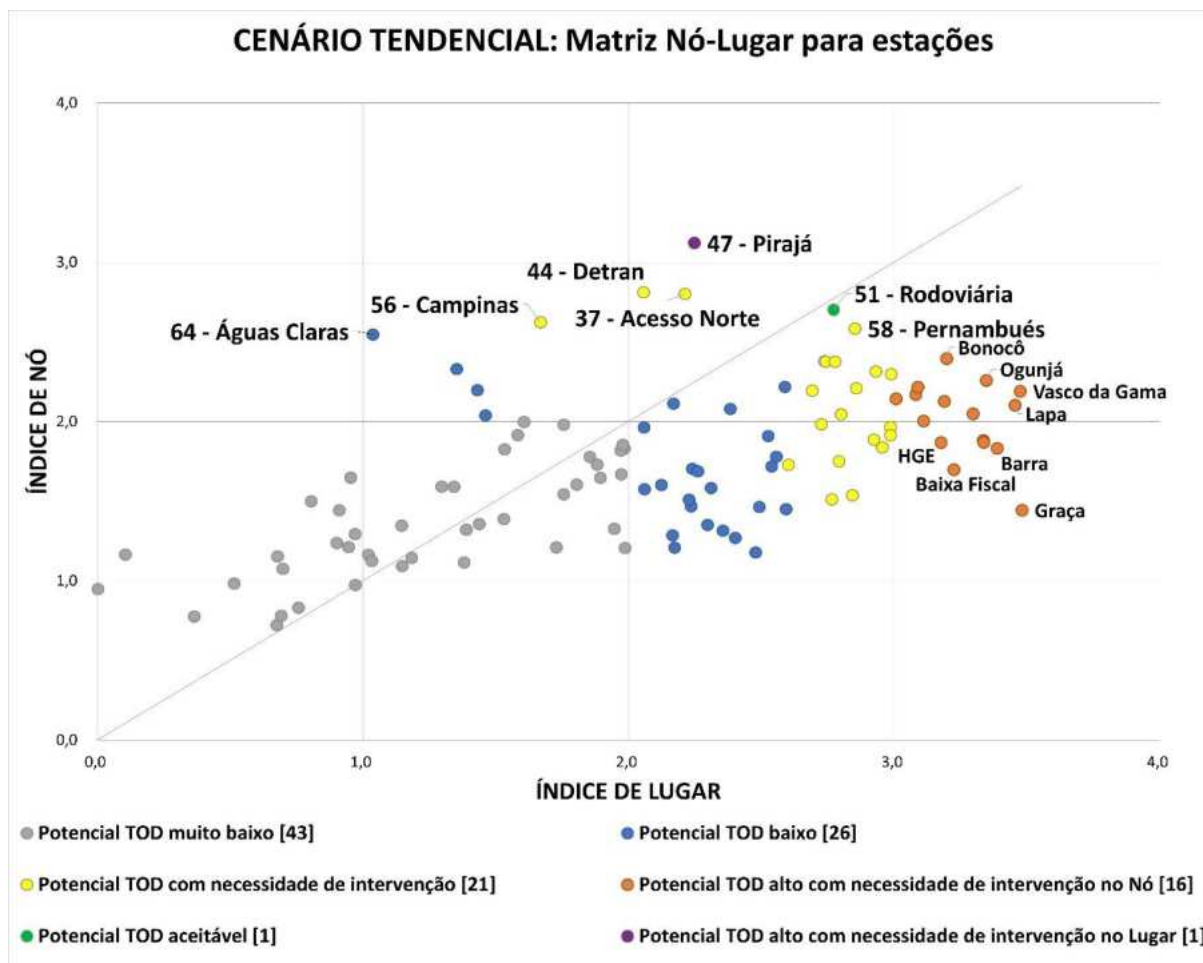
Figura 41. Matriz Nó-Lugar para localizações/estações no Cenário Tendencial (2030).



Fonte: (Própria autora).

Algumas dessas estações estão rotuladas na matriz. Infere-se a partir desse resultado que as regiões com investimentos previstos para o BRT e para o monotrilho podem se beneficiar com o aumento do Índice de Nó. Ao consultar a base de dados espacial, verifica-se que o *betweenness* foi o indicador de maior impacto negativo no Índice de Nó. Esse resultado está ligado à posição geográfica dessas futuras estações: ao sul da península, no caso das 3 estações do BRT (HGE, Vasco da Gama e Ogunjá) e na borda litorânea oeste, para o caso das 2 futuras estações do metrô (Graça, Barra) e a estação do Monotrilho da Baixa do Fiscal. Somado a isso, a característica arvorecente da rede de transporte público da RMS dificulta a passagem de fluxos na periferia da rede.

Figura 42. Matriz Nó-Lugar para a representação dos nós com estações de média-alta capacidade esperadas em 2030.



Fonte: (Própria autora).

7.3 Conclusões do Estudo de Caso

O estudo de caso realizado foi iniciado por uma pré-análise das condições atuais de acessibilidade gravitacional da RMS para as viagens casa-trabalho pelo transporte público. Essa análise evidenciou iniquidades na facilidade de acesso aos empregos devido a uma estrutura urbana centralizada e a configuração da rede de média-alta capacidade, que não favorece regiões mais densas da metrópole.

Observou-se também que poucas regiões possuem condições de acessibilidade acima da média, destacando-se apenas as áreas próximas às 2 centralidades metropolitanas e à sede urbana do município de Camaçari. Além disso, as regiões de demanda cativa por transporte público, localizadas na borda oeste da península de Salvador, obtiveram nota próximas a zero. Esses resultados são consistentes com o observado por Delgado e Brito (2019), que salientaram a

ocorrência de regiões de baixa acessibilidade a empregos em áreas com alta densidade populacional na metrópole. Assim, essa pesquisa reforça a necessidade de aumentar a conectividade da rede nas áreas mais densas e descentralizar as atividades urbanas.

A análise dos indicadores de lugar para a metrópole atual e futura apresentou um quadro de estagnação para o padrão de uso do solo urbano e ao volume de empregos acessíveis entre 2020 e 2030. Esses resultados são esperados, haja vista a tendência observada de desaceleração do crescimento demográfico e a premissa de manutenção do padrão de uso do solo da RMS.

No indicador de diversidade, observa-se que o solo diverso é encontrado principalmente nas regiões próximas ao litoral e às centralidades, ao passo que o indicador de demanda por transporte público se relaciona diretamente com o de densidade, evidenciando áreas com elevada densidade e alta demanda pelo transporte público.

Paralelamente, também foram observadas poucas mudanças nos indicadores de centralidade de intermediação, integração por transporte público, e de cobertura e microacessibilidade. A hierarquia da rede para esses indicadores permaneceu praticamente inalterada, possivelmente devido a uma combinação da topologia da rede e a ocorrência de muitas linhas nos eixos viários principais ou estruturais, como caminho obrigatório.

Apesar do acréscimo de novas ligações, na rede futura, estas estão sendo propostas em regiões com ligações já existentes pela rede viária, o que fundamentalmente não altera estruturalmente a forma da rede de transporte, mas apenas o desempenho nos fluxos. A melhoria no desempenho operacional foi de fato captada pelo indicador de nodalidade.

O efeito conjunto das dimensões observadas em cada indicador pode ser observado nos mapas-síntese de cada cenário. No **Cenário Atual**, a borda oeste na península de Salvador, as sedes urbanas dos demais municípios e determinadas porções no centro-leste da RMS apresentam índices TOD aceitáveis ou potenciais, para Lugar.

Percebe-se assim, que há diversos nós da rede atual candidatos a receber infraestruturas e investimentos, para melhorar o desempenho territorial, da rede de transporte. Ao mesmo tempo, a maioria das estações implantadas e localizações com Índice de Nó aceitáveis cruzam regiões com uso do solo pouco atrativo, ou seja,

com Índices de Lugar baixos, o que indica um descompasso nas políticas urbanas de transporte e uso do solo.

Esses desequilíbrios ficam ainda mais evidentes nas Matrizes Nó-Lugar elaboradas. Por outro lado, destaca-se que atualmente o Nó identificado com maior Potencial TOD para o Cenário Atual está localizado no Largo do Tanque (Nó 312), não possui nenhuma estação de transporte implantada e nem tem perspectiva de receber alguma estação.

No **Cenário Tendencial**, o Nó 312 mais uma vez apresentou Potencial TOD alto, acompanhado do Nó 303, localizado na mesma região da RMS – Liberdade/Largo do Tanque. Essa região apresenta uma das maiores densidades populacionais da RMS, alta demanda por transporte público e é servida por diversas linhas de ônibus na metrópole atual. No entanto, pesquisa demonstra que a região que atualmente e tendencialmente possui bons Índices de Nó e de Lugar não está usufruindo do seu Potencial TOD e não tem expectativa de receber políticas públicas nessa direção. Sendo assim, essas localizações de transporte são candidatas a receberem estações de transporte de média e alta capacidade.

Do ponto de vista da rede, o mapa-síntese do **Cenário Tendencial** mostrou uma redução de nós com Índice de Nó bom ou aceitável, que pode ser explicado pela concorrência entre modos rodoviário, por ônibus, e metroferroviário, no eixo norte-sul da metrópole.

Outro fator importante observado é que estações de metrô em construção na BR-324 estão situadas fora da área de influência de regiões com maior demanda por transporte público e com uso de solo mais atrativo. Esse desalinhamento poderá não somente dificultar a captação de demanda, como também penalizar o serviço de transporte existente nas localidades fora de sua área de influência. Essa tendência foi observada para o Nó 408, que reduziu sua posição de centralidade pela implementação das estações 56 – Campinas e 64 – Águas Claras.

Em relação ao lugar, a dinâmica espacial do índice permaneceu a mesma em escala metropolitana, com pequenas alterações localizadas devido ao aumento ou redução de densidades, por setor censitário. No estudo de caso, demonstrou-se por meio de exemplos como a base de dados espacial por ser utilizada para realizar uma análise de sensibilidade, consultar o valor de cada índice e seus indicadores e, dessa maneira, obtendo-se o desempenho de cada indicador nessa localização. Assim, torna-se possível identificar relações de causalidade com Potencial TOD

observado e localizar oportunidades de intervenção dirigidas a induzir a sustentabilidade.

Uma questão fundamental nessa análise é a premissa de estagnação dos atributos de diversidade, demanda por transporte público e empregos acessíveis considerados nesse estudo. Apesar de ser respaldado pelas observações de outros estudos, a escolha de se avaliar a permanência da conduta das políticas públicas na RMS revelou um papel de notório destaque para o indicador de densidade, mas este não deve ser o único a ser observado.

Nesse contexto, a falta de dados atualizados sobre outros aspectos socioeconômicos locais sobre renda e atividade de econômica formal e informal restringe a possibilidade de diferenciar estações e localizações com densidades acima de 200Hab/Hec seu Potencial TOD. Para além disso, a ausência de valores de referência para padronizar os indicadores de diversidade, demanda e empregos acessíveis também pode ter penalizado sobremaneira a contribuição desses indicadores para o Índice de Lugar, em cada cenário.

Outro aspecto importante da simulação do Cenário Tendencial é o Potencial TOD alto identificado para as estações futuras do BRT e do monotrilho pela Matriz da figura 41. Porém, observou-se também que os nós que deverão receber essas estruturas demandam uma melhora no Índice de Nó, ou seja, nos indicadores associados ao desempenho territorial da rede de transporte, a fim de aproveitar melhor as condições de Lugar existentes: a atratividade do uso de solo em seu entorno.

Assim, identifica-se no Cenário Tendencial um quadro de desarticulação entre ações de transporte - uso solo e nos investimentos na rede, pois: a) estruturas de transporte com bom Índice de Nó, estão sendo implementadas em regiões com baixos Índices de Lugar TOD ou baixo potencial; b) regiões com bom Índice de Lugar candidatas a receberem estações ou foram ignoradas, como no caso da Liberdade/Largo do Tanque, ou receberam infraestruturas de transporte com baixo desempenho territorial (traduzido nos 4 indicadores de Nó), como no caso das estações do BRT/Monotrilho; e c) a rede futura tendencial, para a RMS a 2030, não cria uma nova conexão e conectividade para o território da RMS, mas sim reforça a conectividade existente, levando a seguir utilizando os eixos viários principais ou estruturais, tais como: a BR-324; e a Av. Paralela, ou seja, não altera a topologia da rede.

Vale ressaltar, que na fase de elaboração do projeto da rede do monotrilho, considerou-se instalar uma estação na Região da Liberdade/Largo do Tanque, implementando um eixo que se conectaria ao metrô, na estação aceso norte. Mas no final, o projeto mudou o percurso e favoreceu a instalação das estações em localidades com menor densidade e diversidade de atividades, onde já existe uma via expressa de trânsito pesado. Sendo assim, percebe-se que a rede futura tendencial, em relação à atual, em virtude da sua concepção e traçado, não terá capacidade de induzir o desenvolvimento urbano ou a descentralização de atividades, caso sejam mantidos os estilos de planejamento e de governança na RMS.

Em relação ao método proposto, percebe-se que este procedimento evidencia as relações de transporte e uso do solo, em uma área de estudo, por intermédio de fatores, variáveis e indicadores. Além disso, ele fornece subsídios para a análise do sistema urbano sob uma abordagem na qual o transporte público é uma peça central na indução do desenvolvimento urbano associado - TOD.

Além disso, o processo de aprendizagem inerente à metodologia proposta possibilita 2 contribuições ao planejamento e gestão das cidades e a mobilidade. A primeira delas é a definição de cenários, traduzidos espacialmente em regiões de Potencial TOD, e que possibilita uma maior compreensão dos processos espaciais em curso na cidade. Em segundo lugar, o método permite consultas interativas na base de dados espacial, a fim de identificar relações de causalidades entre os fatores associados à relação transporte - uso do solo e o Potencial TOD encontrado.

Em terceiro lugar, os produtos do método aplicado fornecem subsídios para a concepção e traçado de futuras redes de transporte, sustentáveis e inseridas na cidade. Nesse processo, a acurácia dos indicadores escolhidos (ou futuros indicadores) pode ainda ser melhorada com o uso de informações mais atualizadas e mais desagregadas, tanto para o uso do solo, quanto para o transporte.

Contudo, o início da pandemia da Covid-19 e a redução do investimento público na coleta de dados urbanos impôs dificuldades adicionais para a atualização das bases de dados disponíveis. Diante disso, vê-se uma oportunidade para a inclusão de ferramentas de raspagem de dados de bancos não estruturados (*Big Data*) e maior aproveitamento de dados oriundos de Global Positioning System (GPS) para a extração de novas variáveis de interesse para trabalhos futuros.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esse trabalho se propôs a aplicar um método de avaliação do Potencial TOD para estações e localizações em escala metropolitana para diferentes cenários de planejamento, a fim de investigar os impactos de alterações da rede de transporte público de alta-média capacidade nas relações transporte - uso do solo e no potencial de indução do desenvolvimento sustentável.

Nessa perspectiva, os produtos do método permitiram avaliar o papel do desempenho da rede de transporte e da distribuição das atividades urbanas na sustentabilidade das relações transporte - uso do solo em diferentes cenários urbanos. Ademais, entende-se que o método proposto foi capaz de utilizar de forma efetiva as ferramentas de geoprocessamento para fins de planejamento e que os resultados obtidos expressam informações pertinentes sobre oportunidades de intervenção e implementação de políticas TOD para a área de estudo.

A implementação de políticas TOD representa uma mudança do modelo atual de urbanização das cidades, especialmente nas metrópoles de países em desenvolvimento. O modelo tradicional induz a dispersão urbana, a motorização e a inequidade no acesso a oportunidades urbanas. Portanto, intervenções TOD exigem mudanças de paradigma e um esforço de governança, uma vez que, são estratégias urbanas de ação integrada, tanto de transporte quanto de uso no solo.

É nesse contexto que a proposta metodológica desenvolvida incorpora ferramentas de planejamento destinadas a contextos urbanos complexos, como é a construção de cenários. O processo de planejamento a partir de cenários urbanos permite realizar um exercício hipotético de avaliação do impacto de decisões ao contrário de criar modelos matemáticos intrincados com respostas determinísticas. Em um contexto de incertezas, como é o cenário socioeconômico brasileiro, a flexibilidade dos cenários permite a reflexão sobre os possíveis rumos das políticas urbanas, ou da falta delas.

Partindo desse pressuposto, este trabalho se aprofundou nas técnicas de avaliação TOD disponíveis, incorporando à sua metodologia o uso de índices e indicadores TOD para avaliação e comparação dos atributos de transporte e uso do solo das localizações/estações da área de estudo.

Baseando-se especialmente nos trabalhos de Bertolini (1999), Singh *et al.* (2014) e Villada *et al.* (2017), propôs-se a realização de análise do Potencial TOD

em escala metropolitana a partir de cenários de planejamento representados por mapas-síntese, Matrizes Nó-Lugar de Potencial TOD e uma base espacial de consulta. Esses elementos foram utilizados para representar a dinâmica rede – uso do solo para o contexto atual e tendencial, bem como para identificar oportunidades e desafios para implementação TOD em determinadas regiões na área estudada.

Os índices utilizados nessa avaliação resultaram da composição de indicadores que buscaram representar os aspectos do solo e da rede necessárias para permitir o desenvolvimento sustentável, sendo elas para: a) o lugar: densidade populacional, diversidade de atividades urbanas, demanda por transporte público e empregos acessíveis; e para b) o nó: centralidade, conectividade, integração ao transporte público por ônibus e cobertura de rede para microacessibilidade. Os resultados de cada indicador serviram também para a compreensão desses aspectos individualmente e das possíveis estratégias de intervenção.

O estudo de caso foi então desenvolvido para a Região Metropolitana de Salvador (RMS), metrópole que tem recebido investimentos vultosos em mobilidade urbana com a expansão da rede de transporte público de média-alta capacidade. Ao mesmo tempo, a RMS é marcada pela fragmentação espacial (DELGADO, 2016) e mantém padrões insustentáveis de uso do solo, que combinam concentração de atividades urbanas na porção sul de seu litoral e dispersão espacial da população na direção oposta (PEREIRA *et al.*, 2017b).

Os cenários de planejamento foram então construídos considerando a manutenção do estado de desarticulação entre as políticas de transporte e uso do solo na RMS, com a permanência de sua estrutura urbana polarizada com 2 centralidades. Para o cenário atual, percebeu-se que as regiões com índices TOD desejáveis para o uso do solo (Índice de Lugar) não possuíam estações implementadas, mas são locais candidatos para a expansão da rede e para se desenvolver sob estratégias TOD. Inclusive, projetos e oficiais cogitaram a contemplar uma dessas regiões com uma estação, mas a ideia foi descartada em detrimento de uma região menos adequada para receber o investimento, segundo a análise conduzida.

Outro achado importante é relativo às estações planejadas, onde se verifica que regiões com alta capacidade atrativa do uso do solo ainda deve manter infraestrutura de transporte aquém de suas necessidades, enquanto regiões menos densas e com menos atividades devem ser favorecidas com estações de maior

capacidade. Tal descompasso nos investimentos parece ser um reflexo da forma como a cidade tem sido pensada: de forma isolada e com pouca cooperação entre os atores institucionais.

Conclui-se pelo estudo de caso, que a rede futura tendencial não alterará de forma significativa as relações transporte – uso do solo na metrópole, com baixo proveito dos investimentos para o desenvolvimento urbano sustentável e integração territorial. Adicionalmente, a inequidade no acesso às atividades urbanas na RMS deve permanecer, especialmente em relação à acessibilidade aos empregos.

Pelo que foi observado no cenário tendencial em relação ao atual, a RMS continuará com estrutura macrocefálica, com alta dependência dos demais municípios metropolitanos com a sede, Salvador, e efeitos positivos das novas estações terão abrangência localizada e restrita a regiões da metrópole já contempladas com boas condições de acessibilidade.

Não obstante, a metodologia proposta fornece meios para que o processo de planejamento possua ferramentas de aprendizagem. Uma dessas formas é o uso da base de dados espacial construída para cada cenário. Através de um Sistema de Informação Geográficas, é possível realizar consultas espaciais e verificar a contribuição de cada indicador, colhendo informações sobre necessidades de intervenção em fatores de Nó e de Lugar, ao longo da metrópole.

No entanto, um obstáculo encontrado durante essa pesquisa foi a obtenção de dados desagregados e desatualizados para a área de estudo. Essa situação foi ainda mais agravada com a pandemia da Covid-19, que não só inviabilizou coleta de dados em campo, já que os fluxos urbanos foram significativamente alterados, como também fez suspender a realização do censo demográfico. Por isso, esse trabalho precisou se utilizar de projeções de população e de dados antigos para expressar características de uso do solo e de transporte. Nesse ponto, o método proposto pode ser aprimorado com a consideração de indicadores socioeconômicos, como renda per capita, para a composição do Índice de Lugar e indicadores de mobilidade, como passageiros transportados, para o Índice de Nó.

Diante disso, recomenda-se a continuação desse trabalho com a expansão do número de cenários construídos, contemplando a criação de cenários de planejamento prospectivos, isto é, desejáveis, e preditivos, com a inclusão de eventos urbanos disruptivos. No estudo de cenários alternativos, é possível testar o

impacto desses eventos ou mesmo os efeitos de condições de uso do solo mais favoráveis, como a descentralização de atividades urbanas.

Adicionalmente, sugere-se inclusão de etapas para obtenção de dados em bases não estruturadas, como o *Big Data*, pois espera-se que o refinamento do método será obtido com dados mais atualizados e disponíveis para unidades espaciais menores que a zona e subzona de tráfego.

Por último, este trabalho demonstra que os princípios TOD servem aos planejadores de diretrizes importantes para o planejado urbano integrado, mas que técnicas de trabalho que utilizem dados disponíveis aos planejadores são fundamentais para iniciar a transição da teoria para a prática.

A realização de uma experiência da implementação de políticas TOD em metrópoles brasileiras ainda parece distante, especialmente pela necessidade de haver estruturas de governança metropolitana sólidas, mas essa pesquisa espera contribuir com um método de trabalho consistente e capaz de gerar ciclos de aprendizado no processo de planejamento.

9 REFERÊNCIAS

ALVES, P.; RAIÁ-JUNIOR, A. A. Mobilidade e Acessibilidade Urbanas Sustentáveis: A Gestão da Mobilidade no Brasil. In: CONGRESSO DE MEIO AMBIENTE DA AUGM, 6., 2009, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos: Universidade de São Carlos, 2009. p. 1-16.

ALVES, R. M.; ROSSI, A. M. G.; PORTUGAL, L. S. Mobilidade produtiva. In: PORTUGAL, L. DA S. **Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. p. 269–288.

ANDRADE, G. T. **Sistema Ferroviário e a promoção da mobilidade sustentável: uma análise da inclusão espacial das favelas**. Programa de Engenharia de Transportes. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2015.

ANTP. Associação Nacional de Transportes Públicos. **Mobilidade Humana para um Brasil Humano**. São Paulo: ANTP, 2017. 292 p.

BAHIA. Governo do Estado da Bahia. Departamento de Infraestrutura de Transportes da Bahia – DERBA (Org.). **Pesquisa de Mobilidade na Região Metropolitana de Salvador**: Síntese de Resultados das Pesquisas Domiciliares. Salvador: Secretaria de Infraestrutura, 2012. 51 p. Disponível em: <http://www.planmob.salvador.ba.gov.br/images/consulte/legislacao/pesquisa-o.d.-da-rm-de-salvador-2012-sintese-dos-resultados.pdf>. Acesso em: 25 abril 2019.

BAHIA. Secretaria de Desenvolvimento Urbano. **Caracterização da Área de Impacto Urbano Direto do Sistema Viário Oeste (SVO)**. Salvador, jun. 2015b. Disponível em: <http://www.sedur.ba.gov.br/arquivos/File/MunicipiosInfluenciaDiretaSVOCartogramaCaracterizacaoImpactosUrbanos.pdf>. Acesso em: 22 novembro 2019.

BAHIA. Secretaria de Desenvolvimento Urbano. **Metrô**. Salvador, nov. 2019c. Disponível em: <http://www.sedur.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=18>. Acesso em: 22 novembro 2019

BAHIA. Secretaria de Desenvolvimento Urbano. **Obras – Mobilidade Urbana**. Salvador, nov. 2019a. Disponível em: <http://www.sedur.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=18>. Acesso em: 22 novembro 2019.

BAHIA. Secretaria de Desenvolvimento Urbano. **Relatório Plano Urbano Intermunicipal**: PUI Ilha de Itaparica. Salvador, nov. 2015. Disponível em: <http://www.sedur.ba.gov.br/arquivos/File/PLANO.pdf>. Acesso em: 22 novembro 2019.

BAHIA. Secretaria de Desenvolvimento Urbano. **VLT/Monotrilho de Salvador**.

Salvador, nov. 2019b. Disponível em:

<http://www.sedur.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=44>. Acesso em: 22 novembro 2019

BERTOLINI, L. Spatial development patterns and public transport: The application of an analytical model in the Netherlands. **Planning Practice and Research**, v. 14, n. 2, p. 199–210, 1999.

BOISJOLY, G.; MORENO-MONROY, A. I.; EL-GENEIDY, A. Informality and accessibility to jobs by public transit: Evidence from the São Paulo Metropolitan Region. **Journal of Transport Geography**, v. 64, n. 2017, p. 89–96, 2017.

BRASIL. **Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012**. Brasília, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm. Acesso em: 10 junho 2017.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Planejamento em Mobilidade Urbana**: "Diálogos Setoriais". Brasília, 2013. 65 p. Disponível em: http://sectordialogues.org/sites/default/files/mobilidade_urbana_web.pdf. Acesso em: 10 agosto 2017.

CÂMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. In: CASANOVA, M. et al. (org.). **Bancos de Dados Geográficos**. Curitiba: MundoGEO, 2005. p. 1–44.

CARDOSO, C. E. P. Acessibilidade: alguns conceitos e indicadores. **Revista dos Transportes Públicos**. São Paulo: ANTP, p.77-85, out./dez. 2006.

CERVERO, R.; KOCKELMAN, K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 2, n. 3, p. 199–219, 1997.

CHORUS, P.; BERTOLINI, L. Developing transit-oriented corridors: Insights from Tokyo. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 10, n. 2, p. 86–95, 2016

CORRÊA, R. L. **O Espaço Urbano**. São Paulo: Ática, 2004.

CRANE, R. The Influence of Urban Form on Travel: An Interpretive Review. **Journal of Planning Literature**, v. 15, n. 1, p. 3-23, 2000.

CROZET, Y.; MERCIER, A; OVTRACHT, N. Accessibility: a key indicator to assess the past and future of urban mobility. In: GEURS, K.; KRIZEK, K.; REGGIANI, A. (org.). **Accessibility Analysis and Transport Planning**: Challenges for Europe and North America. Northampton: Edward Elgar, 2012. p. 263-279.

CUI, B. et al. Accessibility and the journey to work through the lens of equity. **Journal of Transport Geography**, v. 74, n. December 2018, p. 269–277, 2019.

DEBOOSERE, R.; EL-GENEIDY, A. M.; LEVINSON, D. Accessibility-oriented development. **Journal of Transport Geography**, v. 70, n. June, p. 11–20, 2018.

DELGADO, J. P. M. A rede integrada de transporte de alta capacidade como indutor da descentralização de atividades urbanas na região metropolitana de salvador. In: SILVA, S. B. M.; CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. **Transformações Metropolitanas no Século XXI: Bahia, Brasil e América Latina**. 1. ed. Salvador: EDUFBA, 2016. p. 339-376.

DELGADO, J. P. M. O Urbanismo das Redes e os Processos Espaciais na Avaliação das Redes de Transportes: Estudo da Região Metropolitana de Lima/Peru. **Urbana**, v.27, p.81-88, mar. 2000.

DELGADO, J. P. M. O Urbanismo das Redes e os Processos Espaciais na Avaliação das Redes de transporte – Estudo de caso em Lima Metropolitana. **Urbana**, Caracas, v. 5, n. 27, 2000.

DELGADO, J. P. M. Organização social do território e mobilidade urbana. In: CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. **Salvador: Transformações na ordem urbana**. Salvador: Letra Capital Editora, 2014. p. 199-235.

DELGADO, J. P. M.; BRITO, J. Equidade social e espacial na Região Metropolitana de Salvador: o futuro da acessibilidade. In: FONSECA, A.; ALMEIDA, L.; SILVA, C. **Território, Metropolização e Justiça Espacial: caminhos na geografia**. Curitiba: Editora CRV, 2019. p. 294

DÍAZ, V. R. Medición De La Accesibilidad Geográfica De La Población A Los Hospitales De Alta Resolución De Andalucía Mediante Herramientas Sig Basadas En El Análisis De Redfs. **Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica: GeoFocus**. Espanha, n. 11, p.265-292, 2011.

DJURHUUS, S. et al. Building a multimodal network and determining individual accessibility by public transportation. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 43, n. 1, p. 210–227, 2016.

DOU, M.; WANG, Y.; DONG, S. Integrating network centrality and node-place model to evaluate and classify station areas in Shanghai. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 6, p. 414, 2021.

DUCRUET, C.; RODRIGUE, J. Method 3 – Graph Theory: measures and indices. In: RODRIGUE, J.; COMTOIS, C.; SLACK, B. **The Geography of Transport Systems**. Nova Iorque: Routledge, 2013. p. 312-317.

DUJINE, F.; BISHOP, P. Introductions to Strategic Foresight. **Future Motions**. jan. 2018. Disponível em: https://www.futuremotions.nl/wp-content/uploads/2018/01/FutureMotions_introductiondoc_January2018.pdf. Acesso em: 10 agosto 2017.

EL-GENEIDY, A. M.; LEVINSON, D. M. **Access to Destinations**: Development of Accessibility Measures. Technical Report. Minnesota Department of Transportation Research Services Section. p. 125, 2006.

EWING, R.; CERVERO, R. Travel and the Built Environment. **Journal of the American Planning Association**, v. 76, n. 3, p. 265–294, 2010.

FERNANDES, C. M.; SANTANA FILHO, L. C. **Projeções populacionais para pequenas áreas**: aplicação para subáreas do município de Salvador - Bahia, 2015. (mimeo)

FERRONATTO, L. G.; MICHEL, F. D. **Índice de Acessibilidade por Transporte Coletivo**. Porto Alegre: Empresa Pública de Transporte Coletivo – EPTC. 2007. 12 p. Disponível em: <http://www.anpet.org.br/xxviii/anpet/anais/documents/AC165.pdf>. Acesso em: 15 junho 2017.

FLORENTINO, P. V. **Densidade Informacional e Comunicacional no Espaço Relacional Urbano**. Tese (Doutorado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

FRANSEN, K. et al. Identifying public transport gaps using time-dependent levels. **Journal of Transport Geography**, v. 48, p. 167–187, 2015.

FREITAS, I. M. D. P. DE; DELGADO, J. P. M.; SANTOS, J. L. C. Centralidades, Concentração de Serviços e Padrões de Mobilidade Urbana em Salvador-Bahia-Brasil. In: KNEIB, E. C. **Projeto e Cidade**: Centralidades e Mobilidade Urbana. Goiânia, Brasil: Gráfica UFG, 2014. p. 219–242.

GONZÁLEZ, C. A. et al. Mobilidade sustentável e o TOD-desenvolvimento orientado ao transporte. In: PORTUGAL, L. DA S. **Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. p. 175–190.

GOODSPEED, R. **Scenario Planning for Cities and Regions**: Managing and Envisioning Uncertain Futures. Cambridge: Lincoln Institute of Land Policy, 2020.

GUERRA, E.; CERVERO, R. Is a Half-Mile Circle the Right Standard for TODs? **ACCESS Magazine**, v. 42, p. 17–22, 2013.

HANDY, S. Planning for Accessibility: In theory and in practice. In: LEVINSON, D. M.; KRIZEK, K. J. **Access to destinations**. Davis: Elsevier, 2005. p. 133-147.

HANSEN, W. G. **Accessibility and residential growth**. 1959. 51 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Planejamento Urbano, Massachusetts Institute Of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1959.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Regiões de Influência das Cidades**: 2018. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

ITDP – Institute of Transportation and Development Policy. **TOD Standard v2.1**. Disponível em: <https://www.itdp.org/2017/06/23/tod-standard/>. Acesso em: 10 agosto 2017.

JUSTINO, A. et al. Concepção de uma abordagem baseada na acessibilidade e orientada à mobilidade sustentável na realização de planos e estudos de mobilidade. In: PORTUGAL, L. S. **Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. p. 89–118.

KAROU, S.; HULL, A. Accessibility modelling: Predicting the impact of planned transport infrastructure on accessibility patterns in Edinburgh, UK. **Journal of Transport Geography**, v. 35, p. 1–11, 2014.

KNEIB, C. Identificação de subcentros urbanos para planejamento de transportes e mobilidade: A Análise de variáveis relevantes e potenciais. In: KNEIB, E. C. **Projeto e Cidade**: Centralidades e Mobilidade Urbana. Goiânia, Brasil: Gráfica UFG, 2014.

KNEIB, E. C.; MELLO, A.; GONZAGA, A. Macroacessibilidade orientada à equidade e à integração com o território. In: PORTUGAL, L. **Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. p. 119-134.

KNEIB, E. C.; PORTUGAL, L. Caracterização da acessibilidade e suas relações com a mobilidade e o desenvolvimento. In: PORTUGAL, L. **Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. p. 65-86.

KNEIB, E. C.; PORTUGAL, L. S. Caracterização da acessibilidade e suas relações com a mobilidade e o desenvolvimento. In: PORTUGAL, L. S. **Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. p. 65–88.

KRIZEK, Kevin J. **Access to destinations**. Davis: Elsevier, 2005. p. 133-147.

LI, C. N.; LAI, T. Y. Why should cities change from DOT to TOD? **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**: Transport, v. 162, n. 2, p. 71–78, 2009.

LIMA, J. B. **Indicador de isoacessibilidade como ferramenta para o planejamento da mobilidade em regiões metropolitanas**: o caso da região

metropolitana de Salvador. (Dissertação) – Curso de Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

LONGLEY, P. A. et al. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LOPEZ-ESCOLANO, C.; PUEYO-CAMPOS, Á. Medidas básicas de accesibilidad territorial: Efoques, Evolución y Utilidades. **Bitácora Urbano Territorial**, v. 29, n. 3, p. 49–58, 2019.

LUCAS, K. A critical assessment of accessibility planning for social inclusion. In: GEUERS, K. T.; KRIZEK, K. J.; REGGIANI, A. **Accessibility Analysis and Transport Planing**: Challenges for Europe and North America. Northampton: Edward Elgar, 2012. p. 228-243.

MANAUGH, K.; EL-GENEIDY, A. Who benefits from new transportation infrastructure? Using accessibility measures to evaluate social equity in public transportation provision. In: GEUERS, K. T.; KRIZEK, K. J.; REGGIANI, A. **Accessibility Analysis and Transport Planing**: Challenges for Europe and North America. Northampton: Edward Elgar, 2012. p. 211-227.

MARTENS, K.; GOLOUB, A. A justice-theoretic exploration of accessibility measures. In: GEUERS, K. T.; KRIZEK, K. J.; REGGIANI, A. **Accessibility Analysis and Transport Planing**: Challenges for Europe and North America. Northampton: Edward Elgar, 2012. p. 195-210.

MARTÍN, J. C.; VAN WEE, B. Guest editorial: What can we learn from accessibility modelling? **European Journal of Transport and Infrastructure Research**, v. 11, n. 4, p. 346–349, 2011.

MELLO, A. et al. Concepção de uma abordagem baseada na acessibilidade e orientada à mobilidade sustentável na realização de planos e estudos de mobilidade. In: PORTUGAL, L. **Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. p. 89-118.

NTU. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. **Anuário NTU 2016-2017**. Brasília: NTU, 2017.

PARTHASARATHI, P.; LEVINSON, D. Network Structure and the journey to work: An intrametropolitan analysis. **Transportation Research Part A**, v. 118, p. 292-304, 2018.

PEDRO, J.; DELGADO, M. Padrões de mobilidade e forma urbana – argumentos a favor da descentralização de atividades na cidade de Salvador. **Panoramas Urbanos**: usar, viver e construir Salvador, p. 131–156, 2014.

PEDRO, L.; SILVA, M.; PORTUGAL, L. Desenvolvimento e mobilidade sustentáveis. In: PORTUGAL, L. S. **Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. p. 19-38.

PEREIRA et al. **Salvador**: Visões de Futuro: relatório 3 – metrópole 2030, T1. Salvador: nov. 2019. Disponível em: <https://u.pcloud.link/publink/show?code=XZ7FRTkZWHPOMD6TYLVA2TiJSKROTKjd8huy>. Acesso em: 15 outubro 2020.

PEREIRA et al. **Salvador**: Visões de Futuro: relatório 5 – metrópole 2049, T2. Salvador: jun. 2020. Disponível em: <https://u.pcloud.link/publink/show?code=XZXOaRXZrFuwWVJUwc07lgQ4zfmDnf0RYMjX>. Acesso em: 15 outubro 2020.

PEREIRA, G. C. et al. Ambiente Construído e Natural. In: PEREIRA, G. C.; SILVA, S. B. DE M.; CARVALHO, I. M. M. **Salvador no século XXI**: transformações demográficas, sociais, urbanas e metropolitanas - cenários e desafios. Salvador, Bahia, Brasil: Letra Capital, 2017e. p. 110–149.

PEREIRA, G. C. et al. Circulação. In: PEREIRA, G. C.; SILVA, S. B. DE M.; CARVALHO, I. M. M. **Salvador no século XXI**: transformações demográficas, sociais, urbanas e metropolitanas - cenários e desafios. Salvador, Bahia, Brasil: Letra Capital, 2017b. p. 73–109.

PEREIRA, G. C. et al. Conceitos e Pressupostos. In: PEREIRA, G. C.; SILVA, S. B. DE M.; CARVALHO, I. M. M. **Salvador no século XXI**: transformações demográficas, sociais, urbanas e metropolitanas - cenários e desafios. Salvador, Bahia, Brasil: Letra Capital, 2017d. p. 15–22.

PEREIRA, G. C. et al. Governança. In: PEREIRA, G. C.; SILVA, S. B. DE M.; CARVALHO, I. M. M. **Salvador no século XXI**: transformações demográficas, sociais, urbanas e metropolitanas - cenários e desafios. Salvador, Bahia, Brasil: Letra Capital, 2017a. p. 150–167.

PEREIRA, G. C. et al. População. In: PEREIRA, G. C.; SILVA, S. B. DE M.; CARVALHO, I. M. M. **Salvador no século XXI**: transformações demográficas, sociais, urbanas e metropolitanas - cenários e desafios. Salvador, Bahia, Brasil: Letra Capital, 2017c. p. 23–72.

PEREIRA, G. C.; PEREIRA, M. G. G. S. Expansão Urbana e Metropolitana de Salvador. In: SILVA, S. B. M.; CARVALHO, I. M. M.; PEREIRA, G. C. **Transformações Metropolitanas no Século XXI**: Bahia, Brasil e América Latina. Salvador: Edufba, 2016. p. 301-338.

PEREIRA, R. H. M. Future accessibility impacts of transport policy scenarios: Equity and sensitivity to travel time thresholds for Bus Rapid Transit expansion in Rio de Janeiro. **Journal of Transport Geography**, v. 74, n. December 2018, p. 321–332, 2019.

PEREIRA, R. H. M. Transport legacy of mega-events and the redistribution of accessibility to urban destinations. **Cities**, v. 81, n. October 2017, p. 45–60, 2018.

PEREIRA, R. H. M.; SCHWANEN, T.; BANISTER, D. Distributive justice and equity in transportation. **Transport Reviews**, v. 37, n. 2, p. 170–191, 2017.

POJANI, D.; STEAD, D. Going Dutch? The export of sustainable land-use and transport planning concepts from the Netherlands. **Urban Studies**, v. 52, n. 9, p. 1558–1576, 2015.

PORTUGAL, L. S.; SILVA, M. A. S. Índices de desenvolvimento e mobilidade sustentáveis. In: **Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1995. p. 39–64.

RAFFESTIN, C. **Por uma Geografia do Poder**. Tradução: FRANÇA, M. C. São Paulo: Ática, 1993.

RAIA-JUNIOR, A. A. **Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice de Potencial de Viagens utilizando Redes Neurais Artificiais e Sistemas de Informação**. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil. Transportes, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2000.

REGGIANI, A. Accessibility, connectivity and resilience in complex networks. In: GEUERS, K. T.; KRIZEK, K. J.; REGGIANI, A. **Accessibility Analysis and Transport Planing**: Challenges for Europe and North America. Northampton: Edward Elgar, 2012. p. 15-36.

RODRIGUE, J. P.; COMTOIS, C.; SLACK, B. **The Geography of Transport Systems**. 4. ed. London: Routledge, 2016. 454 p.

SALVADOR, P. M. **RT15**: Relatório da Audiência Pública Final do Planmob. Salvador: Prefeitura Municipal de Salvador, 2017. 101 p. Disponível em: <http://www.planmob.salvador.ba.gov.br/>. Acesso em: 29 junho 2019.

SANTOS, M. A. **Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

SINGH, Y. J. et al. GIS in Sustainable Urban Planning and Management. In: VAN MAARSEVEEN, M.; MARTINEZ, J.; FLACKE, J. **GIS in Sustainable Urban Planning and Management**. 1. ed. Washington: CRC Press, 2018. p. 267–282.

SINGH, Y. J. et al. Measuring transit oriented development: A spatial multi criteria assessment approach for the City Region Arnhem and Nijmegen. **Journal of Transport Geography**, v. 35, p. 130–143, 2014.

SONG, Y.; MERLIN, L.; RODRIGUEZ, D. Comparing measures of urban land use mix. Computers, **Environment and Urban Systems**, v. 42, p. 1–13, 2013.

SUN, J. et al. The influence of surface slope on human gait characteristics: A study of urban pedestrians walking on an inclined surface. **Ergonomics**, v. 39, n. 4, p. 677–692, 1996.

SUZUKI, H.; CERVERO, R.; IUCHI, K. **Transforming Cities with Transit**. 1. ed. Washington, DC: The World Bank, 2013.

TAN, W.; BERTOLINI, L.; JANSSEN-JANSEN, L. Identifying and conceptualising context-specific barriers to transit-oriented development strategies: The case of the Netherlands. **Town Planning Review**, Liverpool University Press, v. 85, n. 5, pp. 639–63, 2014.

THOMAS, R. et al. Is transit-oriented development (TOD) an internationally transferable policy concept? **Regional Studies**, v. 52, n. 9, p. 1201–1213, 2018.

VALE, D. S.; VIANA, C. M.; PEREIRA, M. The extended node-place model at the local scale: Evaluating the integration of land use and transport for Lisbon's subway network. **Journal of Transport Geography**, v. 69, p. 282–293, 2018.

VAN LIEROP, D. et al. Evolution in Land Use and Transportation Research. In: SANCHEZ, T. W. **Planning Knowledge and Research**. 1. ed. New York: Routledge, 2017. p. 110–131.

VAN MAARSEVEEN, M.; MARTINEZ, J.; FLACKE, J. GIS in Sustainable Urban Planning and Management: A Global Perspective. In: VAN MAARSEVEEN, M.; MARTINEZ, J.; FLACKE, J. (org.). **GIS in Sustainable Urban Planning and Management**. 7. ed. Washington: CRC Press, 2018b. p. 1–6.

VASCONCELLOS, E. A. A Crise do Planejamento de Transportes nos Países em Desenvolvimento: Reavaliando Pressupostos e Alternativas. **Transportes**, v. 3, n. 2, p.7-26, 1995.

VILLADA et al. Mobilidade sustentável e o TOD – desenvolvimento orientado ao transporte. In: PORTUGAL, L. **Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. p. 175-190

VILLADA, C. A. G.; PORTUGAL, L. S. Mobilidade Sustentável e o Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável. In: XXIX CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET, 24., 2015, Ouro Preto. **Anais**. Ouro Preto: ANPET, 2015. p. 2743 – 2754.

WEGENER, M.; FUERST, F. Land-Use Transport Interaction: State of the Art. **SSRN Electronic Journal**, p.3-19, 2004.

ZHANG, Y. et al. Identifying Urban structure based on transit-oriented development. **Sustainability** (Switzerland), v. 11, n. 24, 1 dez. 2019.

ZHANG, Y.; MARSHALL, S.; MANLEY, E. Network criticality and the node-place-design model: Classifying metro station areas in Greater London. **Journal of Transport Geography**, v. 79, 1 jul. 2019.

WENEGER, M. FÜRST, F. **Land-use Transport Interaction: State of the Art.**Dortmund: Berichteaus dem Institut für Raumplanung 46. Institut für Raumplanung, Universität Dortmund, 1999.

APÊNDICES

Figura 43. Índice de Nó para o Cenário Atual em tamanho A3.

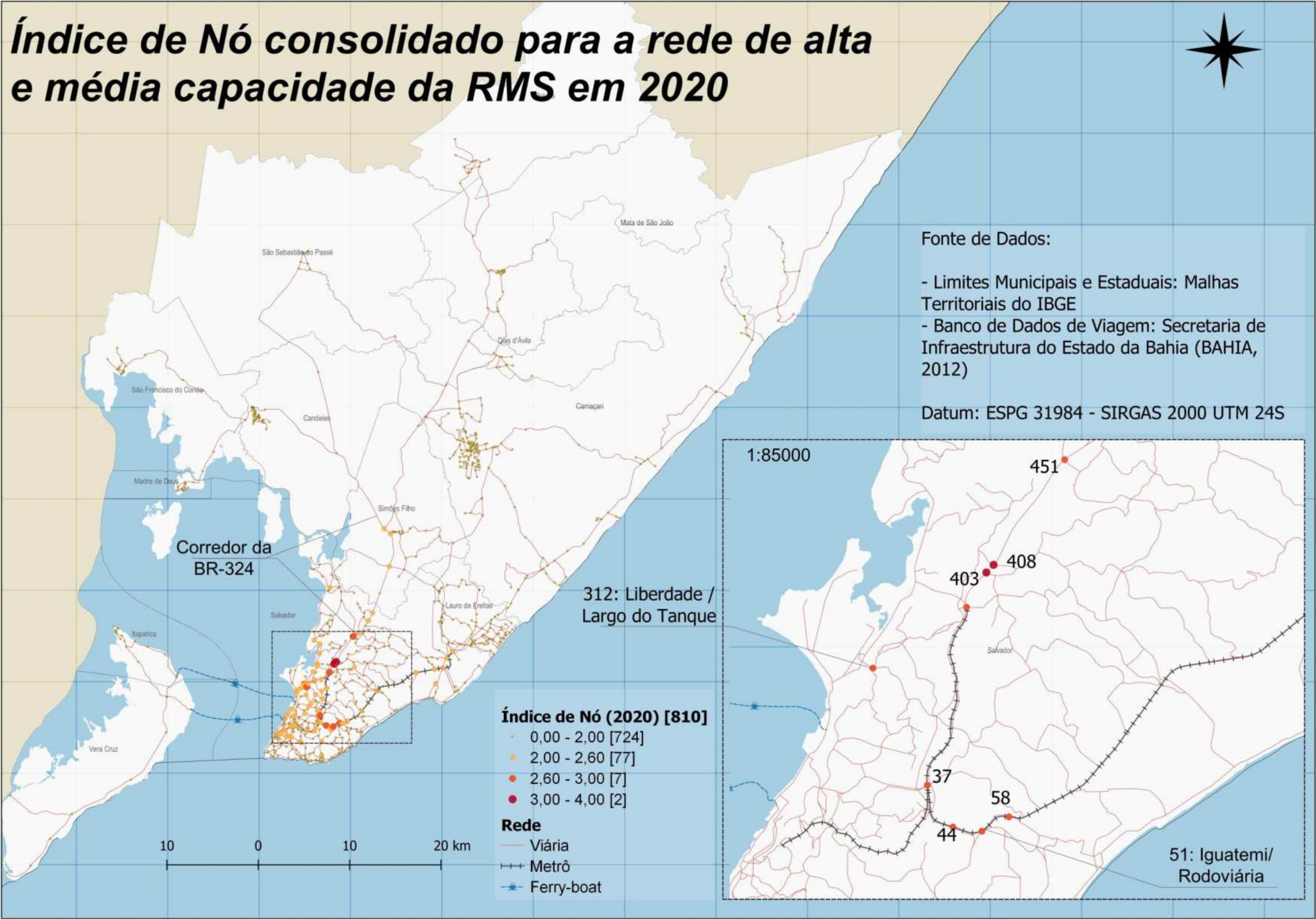


Figura 44. Índice de Lugar para o Cenário Atual em tamanho A3.

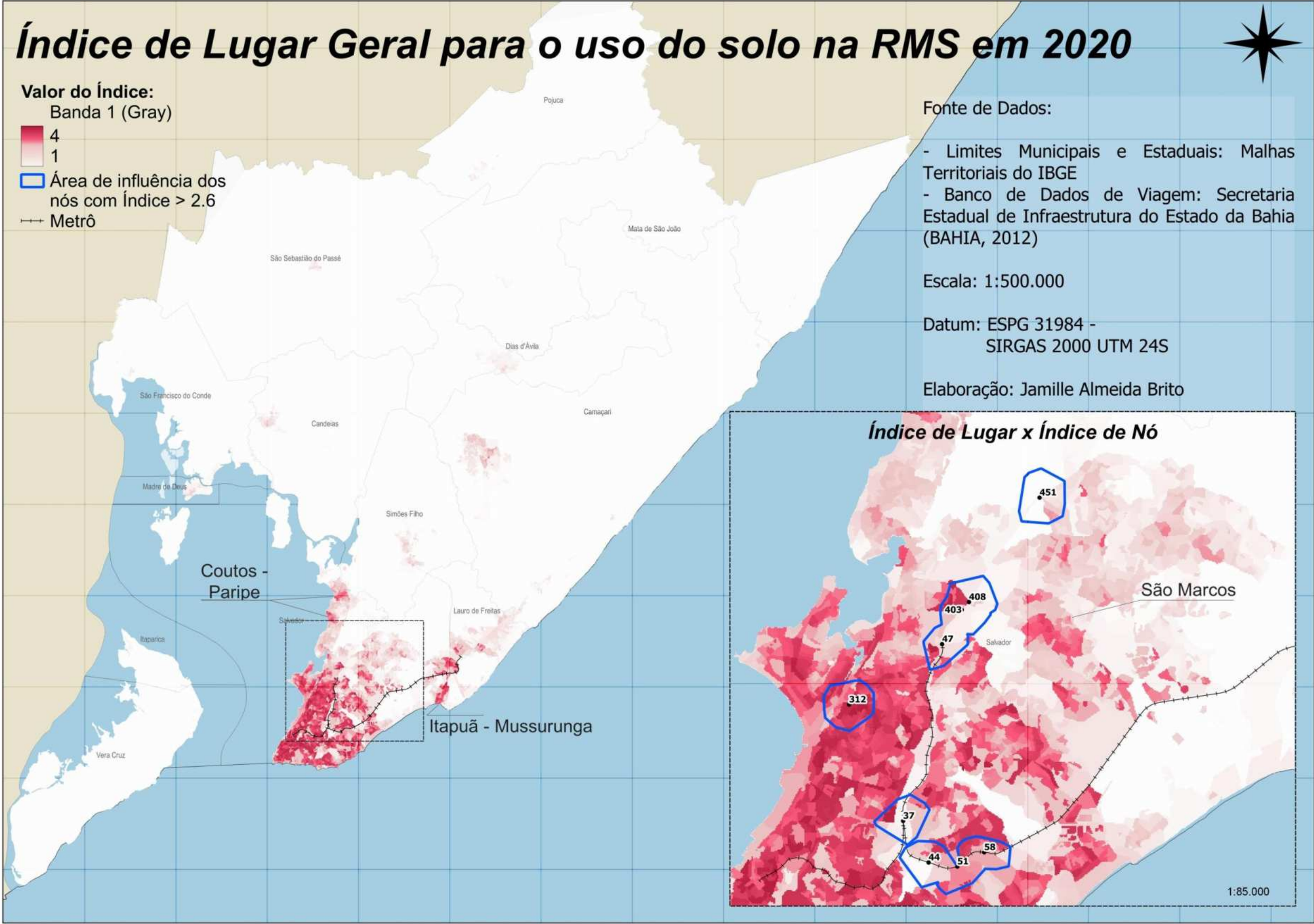


Figura 45. Índice de Nó para o Cenário Tendencial em tamanho A3.



Figura 46. Índice de Lugar para o Cenário Tendencial em tamanho A3.

