



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES E
GESTÃO TERRITORIAL

Daiane Denise Masson

Proposição de metodologia de avaliação da abrangência de redes de linhas de transporte coletivo urbano usando um critério de multivariáveis e mapeamento em SIG: Caso de Nova Serrana - MG

Florianópolis
2021

Daiane Denise Masson

Proposição de metodologia de avaliação da abrangência de redes de linhas de transporte coletivo urbano usando um critério de multivariáveis e mapeamento em SIG: Caso de Nova Serrana - MG

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

Orientador: Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Masson, Daiane

Proposição de metodologia de avaliação da abrangência de redes de linhas de transporte urbano usando um critério de multivariáveis e mapeamento em SIG : Caso de Nova Serrana MG / Daiane Masson ; orientador, Luis Alberto Gómez, 2021. 114 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2. Sistemas de Transportes. 3. Transporte coletivo urbano. 4. Análise multicritério. 5. Mapeamento em SIG. I. Alberto Gómez, Luis . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. III. Título.

Daiane Denise Masson

Proposição de metodologia de avaliação da abrangência de redes de linhas de transporte urbano usando um critério de multivariáveis e mapeamento em SIG: Caso de Nova Serrana - MG

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Samuel Steiner dos Santos, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof.^a Lenise Grando Goldner, Dra.

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof. Eduardo Lobo, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2021.

Este trabalho é dedicado à Deus e à minha querida família.

AGRADECIMENTOS

A produção deste trabalho demandou resiliência, paciência, disciplina, horas de estudo e dedicação e o resultado desse processo não teria sido possível sem o suporte e apoio de pessoas especiais para as quais tento aqui demonstrar minha gratidão.

Não há como não agradecer primeiramente a Deus, a quem recorri tantas vezes, no silêncio, pedindo força para prosseguir e não desistir, e do qual sempre tive o amparo necessário.

Agradeço à minha família pelo amor, pelo carinho, pela preocupação, pelos valores que dela aprendi e por sempre acreditar no meu potencial, me incentivando a ser cada dia melhor.

Lembro aqui meu companheiro de vida, Giórgio, que comigo divide uma casa, uma história, as preocupações, os momentos alegres e os tristes, e que sem o seu incentivo eu não seria hoje mestre. Obrigada pela paciência, tolerância, compreensão e amor.

Agradeço ao meu orientador, Professor Luis Alberto Gómez, pelo acompanhamento durante esta jornada, pela paciência e pela troca de conhecimento.

Aos meus colegas do LabUrb/UFSC por todo companheirismo e aprendizado ao longo do último ano. Trabalhar com vocês foi enriquecedor e fundamental para o desenvolvimento deste estudo. À Geruza e o Guilherme por compartilharem comigo muitas das discussões sobre mobilidade e aos Professores Samuel e Gustavo, pela coordenação tão humana do projeto.

Devo lembrar meus colegas do Observatório da Mobilidade Urbana da UFSC, pela parceria e aprendizado e em especial ao Prof. Werner pela oportunidade que me foi dada em estudar sobre planejamento do Transporte Público Coletivo, assunto que acabou se tornando meu tema de pesquisa.

Agradeço imensamente aos colegas de profissão e estudiosos da mobilidade urbana que responderam aos questionários enviados no decorrer deste trabalho de pesquisa e que contribuíram com suas observações e expertise.

Agradeço à FEESC, que através do projeto 10919 (Nova Serrana - Cad. Territorial Multifinalitário, Mobiliário e Imobiliário) possibilitou a realização deste trabalho.

E, por fim, agradeço meus estimados amigos e amigas que entenderam cada momento dessa minha jornada acadêmica, respeitando a minha ausência para focar nos estudos, bem como pelos convites para aquele *happy hour* merecido quando oportuno.

Cada adversidade, cada fracasso, cada dor de cabeça carrega consigo a semente de um benefício igual ou maior. (HILL Napoleon, [---])

RESUMO

O transporte público coletivo possui um papel de indutor do desenvolvimento urbano, ao mesmo tempo em que é fundamental para a democratização da mobilidade. Ele provê acesso aos diversos setores das cidades, o que é especialmente importante para as pessoas de baixa renda que o têm, muitas vezes, como única opção de transporte. O planejamento adequado de rotas do transporte coletivo dentro de um município ou região contribui para a garantia da equidade de acesso ao transporte público. Assim, este trabalho tem por objetivo avaliar a abrangência de redes de transporte coletivo urbano na cidade de Nova Serrana (MG), com base na análise de características urbanas e socioeconômicas do município. Para tanto foram utilizadas técnicas de mapeamento em ambiente SIG e análise multicritério pelo método AHP para identificação de regiões com demanda potencial para o transporte coletivo, mas mal atendidas pela rede de linhas de ônibus existente. Os resultados da pesquisa apontam para a validade da metodologia proposta ao permitir a tomada de decisões de planejamento mais assertivas pelos gestores públicos bem como a reprodução das análises a partir de dados de domínio público ou existentes em bases dos próprios municípios.

Palavras-chave: Sistemas de Transportes. Transporte coletivo urbano. Análise multicritério. Mapeamento em SIG.

ABSTRACT

Public transport plays an important role as an inducer of urban development at the same time it is fundamental for the democratization of mobility. It allows access to different sectors of cities, which is especially important for low-income people who often have it as their only transport option. Appropriate planning of public transport routes within a municipality or region contributes to guaranteeing equity in access to public transport. Thus, this work aims to evaluate the scope of urban public transport networks in the city of Nova Serrana (MG), based on the analysis of urban and socioeconomic characteristics of the city. For this purpose, mapping techniques in a GIS environment and multi-criteria analysis by the AHP method were used to identify regions with potential demand for public transport, but poorly served by the existing network of bus lines. The results point to the validity of the proposed methodology by allowing public managers to make more assertive planning decisions, as well the reproduction of analyzes based on data in the public domain or existing in the municipalities' own databases.

Keywords: Transport Systems. Urban public transport. Multi-criteria analysis. GIS mapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Círculo vicioso da falta de planejamento urbano.....	21
Figura 2 - Relação entre desvantagem de transporte, desvantagem social e exclusão social...	27
Figura 3 - Modos de transporte utilizados por classe social (2017)	35
Figura 4 - Posse de veículo por classe social (2017).....	37
Figura 5 - Modelos de cidade: (a) compacta ou monocêntrica, (b) policêntrica e (c) difusa. .	40
Figura 6 - Diagrama funcional de um processo comum de planejamento de operação de transporte público	43
Figura 7 - Estrutura hierárquica básica do método AHP.....	46
Figura 8 - Fluxograma das etapas do trabalho.....	54
Figura 9 - Crescimento populacional em Nova Serrana.....	56
Figura 10 - Configuração da mancha urbana (2010).....	57
Figura 11 - Configuração da mancha urbana (2020).....	57
Figura 12 - Crescimento percentual da frota de veículos e da população de Nova Serrana 2010-2019	59
Figura 13 - Rede de linhas do transporte coletivo municipal.....	60
Figura 14 - Pesquisa de opinião – Avaliação de aspectos do transporte público coletivo	63
Figura 15 – Pesquisa de Mobilidade – Proporção dos tempos médios de viagem por transporte público	64
Figura 16 - Tipos de reclamações do serviço de transporte público pelos usuários.....	64
Figura 17 - Renda média domiciliar	66
Figura 18 - Densidade Populacional (hab./km ²).....	68
Figura 19 - Fluxograma de cálculo do índice de acessibilidade.....	69
Figura 20 - Limite das Zonas de Tráfego	71
Figura 21 - Localização dos POIs dentro das Zonas de Tráfego.....	71
Figura 22 - Localização dos pontos de acesso ao serviço (SAPs).....	72
Figura 23 – Conversão do Índice de Acessibilidade para PTAL	75
Figura 24 – Nível de acessibilidade do Transporte Coletivo em Nova Serrana.....	76
Figura 25 - Cruzamento de imóveis do cadastro municipal com quadras edificadas.....	78
Figura 26 - Diversidade de usos	79
Figura 27 - Dataview do software Stata com extração dos microdados de interesse.....	80
Figura 28 – Percentual de domicílios com existência de veículos	82
Figura 29 – Declividade do terreno	83

Figura 30 - Formação dos respondentes da pesquisa	86
Figura 31 - Área de atuação dos respondentes da pesquisa.....	86
Figura 32 - Tempo de experiência na área de atuação dos respondentes da pesquisa	86
Figura 33 - Média das ponderações segundo a área de atuação dos avaliadores	87
Figura 34 - Janela da ferramenta WMCA no QGIS - Atribuição de pesos	89
Figura 35 - Janela da ferramenta WMCA no QGIS - Atribuição dos <i>Scores</i>	89
Figura 36 - Áreas de demanda por transporte coletivo.....	90
Figura 37 - Áreas de demanda por transporte coletivo sobrepostas com a rede de linhas	91
Figura 38 - Recorte das áreas de demanda por transporte coletivo e da rede de linhas	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Lista de indicadores segundo estudo de Andrade (2013).....	22
Quadro 2 - Lista de variáveis utilizadas por Alves (2011).....	24
Quadro 3 - Lista de variáveis avaliadas por Cunha (2005)	25
Quadro 4 - Índices para cálculo da diversidade de usos.....	33
Quadro 5 - Padrões de serviço disponíveis e seus intervalos de critérios típicos.....	43
Quadro 6 - Escala de comparações do AHP.....	47
Quadro 7 - Matriz de prioridade de critérios	47
Quadro 8 - Classificação e frequência das linhas do transporte coletivo	60
Quadro 9 - Atributos - Base de face de logradouros	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice randômico médio do AHP	48
Tabela 2 – Dados de domicílios com existência de veículos	81
Tabela 3 - Valores normalizados e Scores para cada critério	84
Tabela 4 - Prioridades resultantes por critério e por especialista	86
Tabela 5 - Pesos globais resultantes do método AHP por critério	88
Tabela 6 - Matriz de ponderações – Especialista 1	109
Tabela 7 - Matriz de ponderações – Especialista 2	109
Tabela 8 - Matriz de ponderações – Especialista 3	110
Tabela 9 - Matriz de ponderações – Especialista 4	110
Tabela 10 - Matriz de ponderações – Especialista 5	111
Tabela 11 - Matriz de ponderações – Especialista 6	111
Tabela 12 - Matriz de ponderações – Especialista 7	112
Tabela 13 - Matriz de ponderações – Especialista 8	112
Tabela 14 - Matriz de ponderações – Especialista 9	113
Tabela 15 - Matriz de ponderações – Especialista 10	113
Tabela 16 - Matriz de ponderações – Especialista 11	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AMP	Análise Multicritério Ponderada
API	<i>Application Programming Interface</i>
CEP	Código de Endereçamento Postal
CNT	Confederação Nacional do Transporte
COVID	Coronavírus
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DOTS	Desenvolvimento Orientado para o Transporte Sustentável
EUA	Estados Unidos da América
FEU	Frequência Equivalente de Umbral
GDAL	<i>Geospatial Data Abstraction Library</i>
IA	Índice de Acessibilidade
I.C.	Índice de Consistência
ICW	<i>Interval Criterion Weights</i>
I.R.	Índice Randômico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDS	Índice de Desenvolvimento Social
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>
MAVT	<i>Multi-Attribute Value Theory</i>
MILP	<i>Mixed Integer Linear Programming</i>
MXI	<i>Mixed-Use Index</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
OD	Origem-Destino
PDP	Plano Diretor Participativo
PMU	Plano de Mobilidade Urbana
POF	Pesquisa de Orçamentos Familiares
POI	<i>Point of Interest</i> (Ponto de Interesse)
PTAL	<i>Public Transport Accessibility Level</i>
QGIS	Quantum GIS
R.C.	Razão de Consistência
SAP	<i>Service Access Point</i> (Ponto de Acesso ao Serviço)

SIG Sistema de Informação Geográficas
SIRGAS Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SMART *Simple Multi-Attribute Rating Technique*
SRTM *Shuttle Radar Topography Mission*
STEM *Step Method*
TC Tempo de Caminhada
TD *True Diversity*
TME Tempo Médio de Espera
TOPSIS *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*
TTA Tempo Total de Acesso
UTM Universal Transversa de Mercator
WMCA *Weighted Multi-Criteria Analysis*
WRI *World Resources Institute*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	O PROBLEMA.....	18
1.2	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	19
1.3	OBJETIVOS	20
1.3.1	Objetivo Geral.....	20
1.3.2	Objetivos Específicos	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	RELAÇÃO ENTRE CIDADES E SISTEMAS DE TRANSPORTE	21
2.2	CARACTERÍSTICAS URBANAS E SOCIOECONÔMICAS RELACIONADAS AO TRANSPORTE.....	25
2.2.1	Densidade populacional	28
2.2.2	Índice de Acessibilidade	28
2.2.2.1	<i>Cálculo dos tempos de acesso a pé.....</i>	<i>30</i>
2.2.2.2	<i>Seleção de rotas válidas</i>	<i>30</i>
2.2.2.3	<i>Cálculo do tempo total de acesso</i>	<i>31</i>
2.2.2.4	<i>Cálculo da frequência de porta equivalente.....</i>	<i>31</i>
2.2.2.5	<i>Cálculo do índice de acessibilidade para cada POI</i>	<i>32</i>
2.2.3	Diversidade de uso do solo	32
2.2.4	Renda	34
2.2.5	Posse de veículo	36
2.2.6	Declividade do terreno	37
2.3	PLANEJAMENTO DE ROTAS DE LINHAS DO TRANSPORTE COLETIVO URBANO	39
2.4	ANÁLISE MULTICRITÉRIO	44
2.4.1	Método <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP).....	45
3	METODOLOGIA.....	50
3.1	REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA	50

3.2	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	50
3.3	LEVANTAMENTO DE DADOS GEOGRÁFICOS E SOCIOECONÔMICOS .	51
3.4	APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO	52
3.5	ELABORAÇÃO DO MAPA DE DEMANDA POR TRANSPORTE COLETIVO	53
3.6	FLUXOGRAMA	53
4	ESTUDO DE CASO	55
4.1	CARACTERIZAÇÃO DE NOVA SERRANA – MG.....	55
4.2	LEVANTAMENTO DE DADOS GEOGRÁFICOS E SOCIOECONÔMICOS .	65
4.2.1	Renda	65
4.2.2	Densidade Populacional	67
4.2.3	Índice de Acessibilidade	68
4.2.3.1	<i>Seleção dos Pontos de Interesse (POIs)</i>	70
4.2.3.2	<i>Alocação dos Pontos de Acesso ao Serviço (SAP)</i>	72
4.2.3.3	<i>Cálculo do Tempo de Acesso a pé</i>	73
4.2.3.4	<i>Identificação de Rotas Válidas e Frequências</i>	73
4.2.3.5	<i>Cálculo do Tempo Total de Acesso e Frequência de Porta Equivalente (EDF)...</i>	74
4.2.3.6	<i>Cálculo do Índice de Acessibilidade (IA) para cada POI</i>	75
4.2.4	Diversidade de Uso do Solo	76
4.2.5	Posse de veículo individual motorizado	79
4.2.6	Declividade do terreno	82
4.2.7	Normalização dos critérios.....	83
4.3	APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO	85
4.4	MAPA DE DEMANDA POR TRANSPORTE COLETIVO	88
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
	REFERÊNCIAS.....	97
	APÊNDICE A – Formulário de consulta a especialistas.....	101

APÊNDICE B – Pesquisa de ponderação de critérios para o Método AHP	106
APÊNDICE C – Quadro de frequência horária das linhas do transporte coletivo urbano em Dias Úteis	107
APÊNDICE D – Matriz de ponderação de critérios por avaliador	109

1 INTRODUÇÃO

O transporte público coletivo tem um papel importante na democratização da mobilidade. Ele se constitui em um modo acessível, seguro e cômodo às pessoas que não podem ou não querem ter de dirigir para efetuar seus deslocamentos, mas, especialmente, às pessoas de baixa renda que por vezes o têm como única opção de transporte.

No âmbito das relações entre o transporte público e a dinâmica dos territórios, Ghidini (2015) menciona que o fenômeno do automóvel é que produziu a ocupação de territórios distantes dos centros das cidades, originando espaços descontínuos ao longo das rodovias de acesso às cidades e criando a periferização.

Em cidades menores, se observa a concentração da população próxima da região central onde estão localizadas as atividades econômicas e serviços. No entanto, à medida que o crescimento populacional extrapola a capacidade de uso do solo nestas regiões, ocorre o espraiamento da ocupação territorial.

Ainda segundo Ghidini (2015), buscando uma harmonia entre as funções urbanas de morar, produzir e habitar, é que o transporte se tornou o centro das discussões, derivando em modelos de desenvolvimento territorial que buscavam priorizar a setorização das funções urbanas, equilibrando o crescimento econômico e os problemas sociais, articuladas por um sistema de vias de transporte.

Ao mesmo tempo em que o transporte público se moldou à setorização existente nas cidades a fim de atender aos desejos de deslocamentos da população, ele passou aos poucos a ser causador da dispersão territorial. Ao possibilitar o acesso a determinadas regiões das cidades, ele toma o papel de indutor do desenvolvimento nestas áreas.

Planejar, portanto, o transporte urbano, requer o conhecimento das dinâmicas sociais e econômicas da cidade. Ele deve dar suporte às demandas que as atividades urbanas geram levando em consideração as interações espaciais e os diversos contextos urbanos. Esta tarefa é obrigação do poder público a quem também incumbe gerir o sistema e implementar obras e ações para garantir a mobilidade eficiente.

O contexto do planejamento do transporte público coletivo é complexo e não estático, uma vez que as interações urbanas mudam constantemente. No Brasil, os sistemas de transporte público coletivo vêm enfrentando uma queda significativa do número de usuários ao longo dos últimos anos. De acordo com estudos da Associação Nacional das Empresas de Transportes

Urbanos (NTU, 2018), houve uma redução de 35% no número de passageiros pagantes do transporte público urbano em pouco mais de 20 anos. Esta queda dá-se por fatores como a baixa qualidade do serviço, tarifas elevadas, concorrência de novos modos de transporte, pouca confiabilidade, entre outros. Com a queda do número de usuários, esses problemas acabam se agravando de modo que se forma um ciclo vicioso que onera os sistemas de transporte coletivo, dando espaço ao crescimento do uso de modos de transporte individual motorizado e afetando a mobilidade nas cidades.

Trazendo tais questões para o contexto discutido anteriormente em que o transporte público tem um viés social importante, observa-se que os problemas mencionados afetam em especial a população de média e baixa renda que é usuária majoritária do transporte coletivo urbano, segundo Carvalho e Pereira (2010). São pessoas que habitam, em geral, regiões mais afastadas dos centros de atividade econômica e que dependem do ônibus para seus deslocamentos diários.

Diante disto, muitos são os desafios dos planejadores de transporte, dentre os quais estão: de que forma atrair passageiros para o sistema público de transporte, de que maneira propiciar a qualidade e o conforto desejados sem onerar as tarifas, de que modo tornar o transporte coletivo atrativo em locais onde corredores exclusivos não são uma alternativa viável, como criar rotas que atendam adequadamente os usuários e potenciais usuários do transporte coletivo, entre outras questões.

1.1 O PROBLEMA

Na tarefa de criar redes de linhas com rotas adequadas, alguns fatores devem ser levados em conta: atender um deslocamento a pé máximo até os pontos de ônibus, percorrer regiões onde há demanda (de modo a garantir equilíbrio financeiro ao operador), percorrer regiões que sejam destinos de desejo dos usuários, propiciar uma integração regional de modo que os deslocamentos atendidos estejam além daqueles voltados apenas à conexão residência – trabalho ou residência – estudo, entre outros.

Em alguns casos, as rotas dos sistemas de transporte coletivo urbano são alteradas e ajustadas pelo próprio operador, sem estudos que as justifiquem. Para o poder público é importante que haja meios de se avaliar se a rede de linhas de ônibus é adequada em termos de atendimento e abrangência.

1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O planejamento de rotas assume um papel de potencializador do crescimento econômico de uma região. Ao propiciar acessibilidade a regiões que antes só dispunham de meios de transporte individual motorizado como acesso, ele favorece a descentralização de atividades econômicas, melhorando os aspectos da mobilidade como um todo.

Portanto, é primordial que o transporte público seja entendido como vetor de desenvolvimento, melhoria da mobilidade e integração social ao atrair não apenas o usuário de baixa renda, mas que ele seja visto como a melhor opção de transporte a todos. É essencial que haja um planejamento estratégico dos itinerários, para melhorar a abrangência e eficiência do sistema.

No ano de 2012, foi aprovada a Lei Nº 12.587 (BRASIL, 2012) que institui diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Ela tem por objetivo:

“...contribuir para o acesso universal à cidade, o fomento e a concretização das condições que contribuam para a efetivação dos princípios, objetivos e diretrizes da política de desenvolvimento urbano, por meio do planejamento e da gestão democrática do Sistema Nacional de Mobilidade Urbana.” (BRASIL, 2012)

Na lei supracitada, o termo “Sistema Nacional de Mobilidade Urbana” refere-se ao conjunto organizado e coordenado dos modos de transporte, de serviços e de infraestruturas, garantindo os deslocamentos dentro dos municípios. Ela traz como uma de suas diretrizes a priorização de projetos de transporte público coletivo estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado; e, em seu artigo 5º, aponta como alguns de seus princípios:

- a) a acessibilidade universal (facilidade disponibilizada às pessoas que possibilite a todos, autonomia nos deslocamentos desejados);
- b) o desenvolvimento sustentável das cidades, nas dimensões socioeconômicas e ambientais;
- c) a equidade no acesso dos cidadãos ao transporte público coletivo;
- d) a eficiência, eficácia e efetividade na prestação dos serviços de transporte urbano;
- e) a equidade no uso do espaço público de circulação, vias e logradouros.

Com base no exposto, entende-se que o planejamento adequado de rotas do transporte coletivo dentro de um município ou região contribui para alcançar os objetivos da Política

Nacional de Mobilidade Urbana. Entende-se que o estudo de características urbanas e socioeconômicas da população aplicadas à identificação de déficit de mobilidade urbana pode trazer resultados relevantes para a escolha de itinerários de modo a garantir equidade de acesso ao transporte público.

1.3 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.3.1 Objetivo Geral

Propor uma metodologia de avaliação da abrangência de redes de transporte coletivo urbano baseado na análise de características urbanas e socioeconômicas de um município utilizando técnicas de mapeamento e análise multicritério.

1.3.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos têm-se:

- a) Identificar características urbanas e socioeconômicas importantes para o planejamento do transporte coletivo urbano, através de análise multicritério;
- b) Identificar potenciais usuários do transporte coletivo e áreas com necessidade de linhas de ônibus;
- c) Testar a metodologia através de um estudo de caso na cidade de Nova Serrana (MG);
- d) Indicar melhorias na rede de transporte coletivo do estudo de caso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão abordados temas relevantes para a compreensão das análises e metodologias utilizadas no trabalho, a partir da revisão da literatura e trabalhos elaborados por outros autores.

2.1 RELAÇÃO ENTRE CIDADES E SISTEMAS DE TRANSPORTE

Por muito tempo, as cidades foram crescendo sem realizar qualquer tipo de planejamento, inexistindo a integração de políticas setoriais como de habitação, mobilidade urbana e uso do solo (CNT e NTU, 2017). Esta falta de planejamento e gestão acaba gerando um círculo vicioso de desintegração do uso do solo e dos transportes que é representado na Figura 1.

Figura 1 – Círculo vicioso da falta de planejamento urbano



Fonte: CNT e NTU (2017)

A má integração mencionada acima gera uma série de problemas como acidentes de trânsito, congestionamento e encargos ambientais. Este cenário de planejamento insuficiente vem mudando, especialmente com a obrigatoriedade, no Brasil, da elaboração de Planos Diretores e Planos de Mobilidade Urbana em cidades com mais de 20 mil habitantes.

No que tange especificamente ao planejamento do transporte público coletivo, relacionado às dinâmicas urbanas e sociais das cidades, alguns autores aprofundaram seus estudos buscando compreender a dimensão dessas relações e a sua importância para os sistemas de transportes.

Andrade (2013) estudou fatores sociais, ambientais e econômicos para identificar áreas de demanda por transporte coletivo. Para o autor, existem áreas urbanas que não são adequadamente atendidas pelo sistema de transporte em função da falta de interação com as relações espaciais e o uso da terra. Fazendo uso da análise multicritério e análise espacial em conjunto com o SIG (Sistema de Informação Geográficas), o autor analisou as variáveis apontadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Lista de indicadores segundo estudo de Andrade (2013)

Aspectos	Indicadores
Sociais	Média do Grau de Instrução
	Densidade populacional
	Distância de Hospitais, Escolas e Delegacias
	Índice de Desenvolvimento Social (IDS)
Econômicos	Média da Renda Familiar
	Tipo de Uso do solo
	Fator de Expansão de Viagens
	Acessibilidade às estações de trem e metrô e principais vias
	Zoneamento Plano Diretor
Ambientais	Declividade do terreno

Fonte: Andrade (2013)

Para cada indicador, foram coletadas informações referentes ao bairro de Santa Cruz no Rio de Janeiro, região escolhida para o estudo de caso. Os dados foram extraídos de bases públicas como o IBGE e bases cartográficas disponibilizadas por órgãos municipais e do exército (ortofotos), e tratadas a fim de se tornarem adequadas para avaliação em SIG.

O método de análise multicritério utilizado no estudo (combinação linear ponderada) requer a utilização de pesos para o desenvolvimento de um conjunto de ponderações relativas para um grupo de fatores que serão os dados de entrada para a avaliação. Assim, o autor optou por definir tais pesos a partir de uma média de valores atribuídos por 21 profissionais da área de transportes provenientes tanto da academia quanto do mercado de trabalho e do poder

público, julgando esta, a forma mais isenta possível de quantificar a importância de cada variável.

Na aplicação ao estudo de caso, foram criados mapas temáticos por variáveis. Uma vez que na etapa de tratamento de dados, a base de informações para cada indicador foi convertida para o formato *Raster*, cada plano de informação passou a ter a mesma resolução de armazenamento, o que permitiu o cruzamento dos dados e a ponderação de critérios com os pesos finais definidos anteriormente.

Como resultado obteve-se um mapa indicando as áreas a serem atendidas com projetos de infraestrutura ou com modelos para o melhor atendimento da demanda. A região estudada foi dividida em quatro classes de prioridade.

As conclusões do trabalho apontam eficiência das ferramentas de análise de dados para a caracterização espacial da mobilidade. O uso do SIG permitiu realizar interações em áreas onde não havia informações tabuladas e mensuráveis e trouxe um resultado visual importante aos tomadores de decisão para o melhor planejamento da mobilidade.

Na mesma linha de pesquisa, Alves (2011) utilizou técnicas de mapeamento para localizar e identificar potenciais usuários do transporte coletivo urbano. Por meio da avaliação de duas técnicas o autor identificou como os potenciais usuários se distribuem geograficamente em uma cidade brasileira.

O município escolhido para aplicação do estudo foi São Carlos, em São Paulo. A formatação dos dados partiu da divisão de áreas segundo os códigos de endereçamento postal (CEP) e da obtenção de dados socioeconômicos da pesquisa de Origem-Destino (O-D) realizada em 2007 com informações de uso do transporte público da pesquisa de opinião feita junto à pesquisa OD. Dados geográficos de domicílios, rede viária e do sistema de transporte público também foram levantados com auxílio de operações no software de SIG denominado TransCAD.

A definição das variáveis de análise partiu dos indicadores utilizados na cidade Holandesa de Wageningen, pois um dos objetivos do trabalho era o de comparar os resultados com um local onde a técnica já havia sido aplicada. Assim, as variáveis utilizadas são apresentadas no quadro a seguir.

Quadro 2 - Lista de variáveis utilizadas por Alves (2011)

Aspectos	Indicadores
Sociais	Nível de instrução
	Densidade populacional
	Tamanho da família (número de pessoas)
	Status social (renda por pessoa do domicílio)
	Tipo da família (família com criança, com idosos ou família de jovens)
Econômicos	Disponibilidade de automóvel
	Distância ao centro
	Distância à rodovia
	Número de linhas de ônibus
	Razão do tempo de viagem ônibus-carro

Fonte: Adaptado de Frazão (2011)

O município é dividido em áreas segundo o CEP, cada área é caracterizada por atributos socioeconômicos da população e do sistema de transporte. Através da possibilidade de melhoria do transporte público (pesquisa de opinião), identificou-se aqueles usuários que trocariam para o ônibus e aqueles que continuariam a utilizar o automóvel. Construiu-se um modelo que representasse o comportamento de escolha dos usuários de cada região. Para isso, foi utilizado o modelo Logit (regressão logística) com dados da cidade de São Carlos o qual foi comparado ao estudo feito na cidade holandesa de Wageningen. Na sequência, elaborou-se um modelo de escolha modal por redes neurais artificiais e, por fim, foram gerados mapas potenciais.

A construção de cenários futuros permitiu ao autor identificar a influência de alguns atributos sobre a escolha do modo de transporte urbano e destacar áreas onde se espera um aumento potencial de uso do transporte público pela mudança de densidade populacional.

Com um foco um pouco distinto dos demais estudos, Cunha (2005) utilizou a teoria da abordagem de características, proposta por Wright (1992), para verificar a relação existente entre aspectos das áreas urbanas e características das linhas do transporte coletivo urbano. Na aplicação da teoria no transporte por ônibus, o autor considerou as linhas como um bem a ser “consumido” pelos usuários, e que seria visto, portanto, como um conjunto de atributos identificados e valorados pelos “consumidores” no ato do uso.

O autor levantou características de áreas urbanas que interagem com o sistema de transporte de alguma forma, a fim de correlacioná-las aos tipos de linhas de transporte público e às características do sistema de transporte que indicam a qualidade do serviço prestado.

Assim, o estudo avaliou a relação entre os aspectos elencados no Quadro 3.

Quadro 3 - Lista de variáveis avaliadas por Cunha (2005)

Características das áreas urbanas	Tipos de linhas	Características de desempenho do Sistema de Transporte
Taxa de crescimento da população; Descentralização (% de atividades fora da área central); Densidade populacional; Setorização; Atividade econômica; Renda; Forma das cidades; Altimetria; Conectividade da rede viária; Caminhabilidade.	Radial; Diametral; Circular; Folha; Tronco; Intersetorial.	Legibilidade ou orientação; Cobertura do serviço / facilidade de caminhadas; Tempo de viagem; Diferença entre o tempo de viagem gasto no transporte coletivo e no automóvel; Renovação; Acessibilidade ao sistema; Frequência de atendimento; Confiabilidade; Custo operacional.

Fonte: Adaptado de Cunha (2005)

Utilizando uma escala de pontuação entre “+1”; “-1”; “#” e “vazio” (representando respectivamente: impacto positivo; impacto negativo; há interferência, mas com distintas percepções; e não há relação) para avaliar o cruzamento entre cada tipo de linha com cada característica da área urbana, sob os aspectos desempenho, o estudo gerou análises pontuais de correlação resultando na indicação de maior ou menor aderência entre o tipo de linha e a característica da área urbana.

Para reforçar a proposta do trabalho, o autor utilizou as áreas do Distrito Federal e de Brasília, isoladamente, para aplicação do método. Como conclusões, Cunha (2005) reitera que algumas características da região prejudicam o desempenho do sistema de transporte público, independentemente do tipo de linha a ser utilizado.

2.2 CARACTERÍSTICAS URBANAS E SOCIOECONÔMICAS RELACIONADAS AO TRANSPORTE

Garantir o acesso democrático à cidade requer o planejamento integrado da infraestrutura de circulação, da gestão da mobilidade e da ocupação do território, e do incentivo

ao uso diverso dos meios de transporte. A carência de opções para mobilidade urbana contribui para a desigualdade e o isolamento social (Lucas, 2012).

Para a construção de qualquer sistema de transporte é preciso se ter em mente qual o tipo de área urbana se deseja ter e quais as características da área existente. Pode-se ter como diretriz o uso intensivo do automóvel, onde o transporte público e o transporte ativo sejam preteridos, ou, a valorização do transporte público e da circulação de pedestres. Em cada uma destas situações a escolha deve se basear nas relações existentes entre as características da área com o sistema de transporte a ser implantado (Cunha, 2005).

Nos anos mais recentes, muito se tem discutido sobre o desenvolvimento sustentável das cidades tendo em vista a responsabilidade que as áreas urbanas têm em limitar os impactos ambientais ocasionados pelo seu crescimento acelerado. Discussões no âmbito internacional têm resultado em documentos que apontam a direção para uma nova forma de planejar as cidades.

No Brasil, o *World Resources Institute* (WRI) publicou, em 2018, um guia para inclusão do DOTS – Desenvolvimento Orientado para o Transporte Sustentável – no planejamento urbano. Nele destaca-se que o modelo de crescimento urbano observado atualmente é o 3D, isto é, distante, disperso e desconectado, enquanto o modelo de cidade a ser alcançado seria o 3C, compacta, conectada e coordenada. Entende-se, com esta estratégia, que a cidade passe a priorizar a transformação urbana junto aos eixos de transporte.

O guia traz orientações para municípios brasileiros de médio e grande porte com ações para inclusão do DOTS em seus planos diretores e aponta oito elementos para sua implementação efetiva: transporte coletivo de qualidade; densidades adequadas; uso misto do solo; transporte ativo priorizado; centralidades e fachadas ativas; espaços públicos e infraestrutura verde; gestão do uso do automóvel e diversidade de renda.

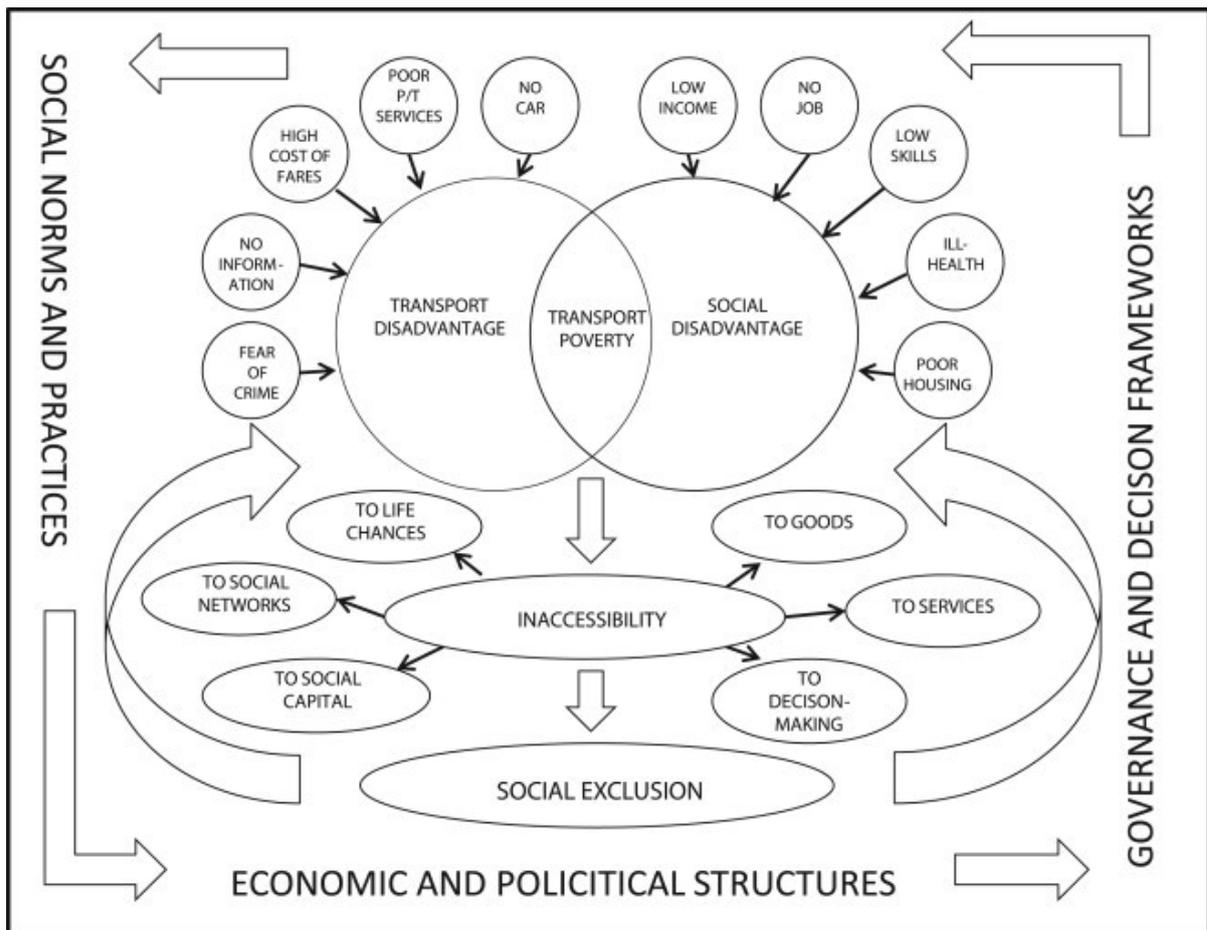
Para além dos aspectos de planejamento relacionados a um transporte de qualidade e sustentável, é importante destacar o aspecto social que o transporte público possui. O estudo conduzido pela NatCen (2019) abordou as relações entre desigualdades socioeconômicas e o transporte. São citados no estudo os seguintes fatores chave dessas relações: a maneira como as pessoas estão distribuídas geograficamente e em classes sociais; como as oportunidades (de trabalho, educação etc.) estão distribuídas; e o quão acessível o sistema de transporte é em termos de custo, acessibilidade geográfica e de tempo.

O primeiro fator chave elencado no estudo destaca que pessoas com maior condição financeira têm mais opções de onde morar e de como se locomover, sendo que as conexões de

transporte são fatores que afetam o valor da terra e os custos de moradia. O segundo fator chave tem relação com o fato de que a concentração de postos de trabalho, estudo e outras facilidades é geralmente estimulada pelas conexões de transporte e que o acesso a elas é fundamental para acessar as oportunidades. O último fator chave implica na própria qualidade e eficiência do sistema de transporte.

Tem-se, com isso, que desvantagens relacionadas ao transporte associadas a desvantagens sociais geram o que os autores chamam de “pobreza de transporte”, o qual leva a “inacessibilidade de oportunidades, como o desenvolvimento de capital social, a aquisição de bens e o uso de serviços”, que pode levar, por sua vez, à exclusão social. Lucas (2012) elaborou um esquema que busca ilustrar estas relações de desvantagens sociais, de transporte e a exclusão social, o qual é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Relação entre desvantagem de transporte, desvantagem social e exclusão social



Fonte: Lucas (2012)

As interações ilustradas indicam que desvantagens sociais nem sempre são sinônimas de inacessibilidade de transporte, mas que a associação de fatores pode causar pobreza de mobilidade, assim como esta pode ser um agravante das exclusões sociais e da pobreza.

A partir da análise dos fatores urbanos e socioeconômicos abordados nesta e na seção anterior, identificaram-se algumas características que pudessem ser de fácil mensuração e que poderiam ser consideradas para um melhor planejamento de redes de transporte público, são elas: densidade populacional, acessibilidade ao transporte público, diversidade de uso do solo, renda, posse de veículos e declividade do terreno. Na sequência são apresentadas descrições destas características e a interação com o transporte.

2.2.1 Densidade populacional

É uma medida que retrata a distribuição espacial dos habitantes no território e sua unidade é dada em habitantes/km². Cidades compactas com maior densidade populacional permitem um uso mais eficiente da infraestrutura e do solo urbanizado, há uma otimização dos serviços de transporte coletivo que passam a estar articulados aos adensamentos.

Rajamani et al. (2003), avaliaram em seu estudo como a forma da ocupação urbana impacta as viagens não relacionadas a trabalho e a escolha modal. Analisando formas de ocupação relacionadas a uso misto do solo, acessibilidade, densidade residencial e conectividade das redes de ruas, os autores observaram que vizinhanças mais densas aumentam as chances de utilização do transporte público e reduzem a probabilidade de utilização do transporte individual motorizado (automóvel).

Adensar cidades é uma das principais formas de evitar ou reduzir jornadas, aproximando as pessoas de seus destinos e permitindo que infraestruturas e serviços públicos sirvam o maior número de pessoas possível. Assim, as regiões mais adensadas representam maior demanda pelo serviço de transporte e servem de norte aos planejadores para a implantação de eixos de transporte.

2.2.2 Índice de Acessibilidade

A acessibilidade no transporte coletivo é muitas vezes compreendida como o acesso de pessoas com deficiência aos veículos, assim como a adaptação de calçadas e do meio-fio nos pontos de ônibus. No entanto, o termo é mais abrangente e deve ser compreendido como o

direito que as pessoas possuem de acessar o espaço da cidade e todos os serviços que ela oferece, tais como o transporte público e a infraestrutura urbana pública da cidade, independentemente das suas condições físicas e mentais (MARTINEZ, 2016).

A medição da acessibilidade é importante para identificar localidades com baixo nível de acesso a serviços e facilidades, tendo, portanto, relação com a garantia da inclusão social (Achuthan, 2017). Indicadores de acessibilidade tem um papel importante para o planejamento de transporte e para os gestores públicos, pois ajuda a identificar onde ações são necessárias ajudando na alocação de recursos.

Dentre as principais “*facilities*” cuja acessibilidade é fundamental estão os locais destinados à educação, ao trabalho, à saúde, à alimentação (supermercados) e às áreas centrais das cidades. Um bom serviço de transporte público deve permitir de maneira eficiente o acesso a esses locais.

A acessibilidade pode ser medida de várias maneiras, seja pela distância ou tempo de caminhada até os pontos de ônibus, pela distância de deslocamento até os eixos de transporte, pelo tempo gasto para acessar serviços e outras facilidades a partir da residência do usuário, pelo custo de transporte, entre outros indicadores. Neste âmbito, destaca-se o método *Public Transport Accessibility Level* ou PTAL, desenvolvido em 1992, pelo London Borough of Hammersmith and Fulham, um distrito de Londres, para medição da conectividade por transporte público na cidade.

O método é abrangente e utiliza tanto as distâncias de caminhada até os pontos de ônibus, como as frequências e oferta de serviço de cada linha de transporte coletivo. Depois de testado e revisado, o método foi aprovado para ser utilizado em toda a cidade de Londres e assim, ele tem sido utilizado em vários processos de planejamento local ao longo dos anos (TRANSPORT FOR LONDON, 2015).

O PTAL pode ser visto como uma medida de densidade da rede de transporte público e não leva em consideração os destinos para os quais se pode viajar ou a facilidade para efetuar os transbordos entre veículos. Os valores de acessibilidade segundo o método variam de zero a seis, onde o valor mais alto representa a melhor conectividade. Assim, para o caso do transporte público por ônibus, um local terá um PTAL maior se:

- a) Estiver a uma distância de caminhada curta das estações ou paradas mais próximas;
- b) O tempo de espera nas estações ou paradas mais próximas for curto;

- c) Mais serviços passam nas estações ou paradas mais próximas; ou
- d) Qualquer combinação dos itens acima.

Segundo Transport for London (2015), para calcular os valores do índice necessita-se de quatro conjunto de dados:

- e) A lista de locais para os quais se deseja calcular a acessibilidade, os quais podem ser casas, escritórios, e qualquer outro ponto de interesse (POI);
- f) Informações sobre a localização das estações e paradas do transporte público, os quais são considerados como pontos de acesso ao serviço (SAPs);
- g) A rede de ruas e caminhos que pode ser utilizada para caminhadas, de maneira a possibilitar o cálculo do tempo de caminhada do local de origem das viagens até o SAP mais próximo; e
- h) Dados sobre as rotas do transporte público como itinerário e frequências de viagem.

A partir da obtenção das informações listadas o índice é calculado seguindo as etapas apresentadas a seguir.

2.2.2.1 Cálculo dos tempos de acesso a pé

Uma vez localizados os pontos de ônibus, a distância de caminhada é calculada a partir da representação da rede viária. As distâncias entre os POIs e os SAPs são convertidas em uma medida de tempo utilizando uma velocidade média de caminhada de 80 metros/minuto, velocidade esta que representa um tempo máximo de caminhada de 8 minutos ou uma distância máxima de 640 metros. Assim, o tempo de caminhada (TC), em minutos, pode ser representado por:

$$TC = \frac{\text{distância}}{80} \quad (1)$$

2.2.2.2 Seleção de rotas válidas

O método considera para o cálculo do índice, as rotas e frequências de serviço que ocorrem, em geral, no período pico da manhã. Para cada POI, as informações da rota são consideradas apenas uma vez e, quando uma rota ocorre mais de uma vez porque atende mais

de um SAP na área de influência de um POI, utiliza-se o SAP mais próximo para efetuar os cálculos.

No que tange à frequência de serviço a ser utilizada, tem-se para cada rota, em geral, frequências diferentes para cada sentido de operação, neste caso, a direção com maior frequência é utilizada no modelo.

2.2.2.3 Cálculo do tempo total de acesso

O tempo total de acesso ao serviço de transporte é calculado a partir da soma do tempo de caminhada do ponto de origem ao SAP e do tempo de espera pelo serviço no SAP.

Estima-se o tempo de espera programado como sendo a metade do intervalo entre os serviços, uma vez que se presume que os passageiros cheguem ao SAP de maneira aleatória. Desta maneira, para uma frequência de serviço com 4 viagens/hora haverá um ônibus a cada 15 minutos passando pelo SAP, o tempo de espera, então, será a metade deste intervalo, ou seja, 7,5 minutos.

A este tempo, soma-se ainda um fator de confiabilidade que busca compensar a falta de regularidade do serviço ocasionada por fatores diversos, como trânsito, atrasos em embarque e desembarque de passageiros, entre outros. Para o serviço de ônibus o método PTAL indica que se sejam assumidos 2 minutos.

Assim, temos que:

$$TTA = TC + TME \quad (2)$$

$$TME = 0,5 * \frac{60}{frequência} \quad (3)$$

Onde:

TTA = tempo total de acesso (minutos)

TC = tempo de caminhada (minutos)

TME = tempo médio de espera (minutos)

2.2.2.4 Cálculo da frequência de porta equivalente

A frequência de porta equivalente ou frequência equivalente de umbral (FEU) mede como a frequência de serviço seria caso não houvesse nenhum tempo de caminhada, ou seja,

caso o serviço fosse oferecido “porta a porta” nos pontos de origem (POI). Trata-se de um tempo de acesso relativo que consegue comparar os benefícios oferecidos por cada percurso em diferentes distâncias. O FEU converte o Tempo Total de Acesso (TTA) de volta em unidades de frequência e é dado em minutos pela Equação (4):

$$FEU = 0,5 * \frac{60}{TTA} \quad (4)$$

Como é comum que para uma determinada viagem haja uma rota específica que seja mais adequada, o método PTAL simplifica isso dando um peso maior para o serviço único que apresente FEU mais alto e um peso menor para as demais rotas. Atribui-se, portanto, um peso de 1 à rota com maior frequência e 0,5 para todas as rotas restantes.

2.2.2.5 Cálculo do índice de acessibilidade para cada POI

O índice de acessibilidade (IA) nada mais é que a soma das ponderações efetuadas na etapa anterior. Assim, para cada POI o IA é calculado como sendo:

$$IA_{POI} = FEU_{MÁX} + 0,5 * \sum \text{ todos os outros FEUs} \quad (5)$$

2.2.3 Diversidade de uso do solo

Entende-se por diversidade de uso do solo o nível de mistura de diferentes tipos de uso do solo compreendidos em um determinado espaço físico, incluindo espaços comerciais, residenciais, para escritórios, espaços públicos, entre outros (SAELEN; SALLIS; FRANK, 2003).

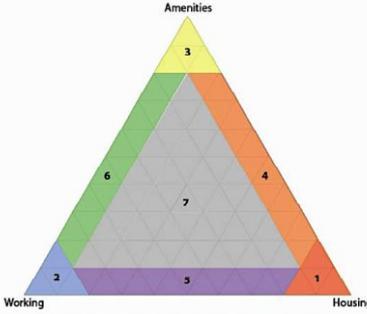
Acredita-se que locais onde há a mistura de usos do solo, tendem a apresentar uma série de benefícios, como o estímulo a criação de centralidades e diversidade de atividades, aproximando as pessoas de seus destinos, criando um fluxo contínuo de pessoas pela cidade e contribuindo com a densificação.

A tendência nestes locais é a realização de deslocamentos cotidianos menores, com menor uso do transporte individual, estimulando o transporte ativo e tornando mais eficiente o sistema de transporte coletivo, ao conectar as centralidades.

A definição de quão diverso um espaço físico pode ser é abordada na literatura de várias maneiras. Neste sentido, Kretzer (2018) efetuou um levantamento de algumas medidas

apresentando seus potenciais e fragilidades. Suas principais observações encontram-se elencadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Índices para cálculo da diversidade de usos

Método	Cálculo	Aplicação	Fragilidades
Entropia de Shannon	$\sum_{k=1}^N \frac{(p_k \ln p_k)}{\ln N}$ <p>p = proporção de um uso k em uma determinada zona geográfica N = número total de categorias de uso do solo</p>	Os valores variam de 0 a 1, sendo que 0 representa uma completa homogeneidade e 1 representa uma completa heterogeneidade de usos do solo.	Os valores resultantes não ilustram necessariamente a presença de uma maior variedade de tipos de uso. Ou seja, o método não reflete a maior ou menor riqueza de tipos de uso.
MXI – <i>Mixed-Use Index</i>	<p><u>1ª Abordagem</u>: a diversidade é medida por meio da proporção entre usos residenciais e não-residenciais, em porcentagem.</p> <p><u>2ª Abordagem</u>: um diagrama de cores, cujos vértices correspondem a áreas monofuncionais.</p> 	<p><u>1ª Abordagem</u>: valores variam de 0 a 100, onde 0 representa inexistência de usos residenciais e 100 a ocorrência de apenas usos residenciais.</p> <p><u>2ª Abordagem</u>: o diagrama mostra a porcentagem de distribuição dos usos, somando sempre 100%. Cada vértice do triângulo corresponde a áreas monofuncionais (habitação, trabalho e facilidades) e as demais posições representam algum mix de usos.</p>	<p><u>1ª Abordagem</u>: valores não descrevem a mistura real em termos de diferentes usos e suas proporções.</p> <p><u>2ª Abordagem</u>: ao considerar três tipos de funções, o índice pode não englobar uma possível diversidade de usos existente em cada um dos componentes. A quantificação por cores e mapas dificulta uma medida final.</p>
Índice de Gini-Simpson e a Diversidade Real (<i>True Diversity</i>)	$x \equiv 1 - \sum_{k=1}^S p_k^2$ <p>x = diversidade p = porcentagem do uso k S = quantidade total de categorias</p> $TD = 1/(1 - x)$ <p>x = diversidade encontrada na fórmula de Gini-Simpson</p>	Quanto maior o valor do índice “x”, maior a diversidade de usos. Valores iguais a 0 indicam a inexistência de diversidade no local, mas não há linearidade na análise. Utiliza-se assim, a Diversidade Real para permitir a comparação entre valores.	Utilizar apenas o Índice de Gini-Simpson não garante que uma área com diversidade 1 tenha o dobro da diversidade de uma área com valor 0,5. Ao utilizar a Diversidade Real, o valor obtido se torna equivalente ao número de espécies, isto é, se TD for igual a 4, há o dobro de diversidade que uma área com TD igual a 2.

Fonte: Adaptado de Kretzer (2018)

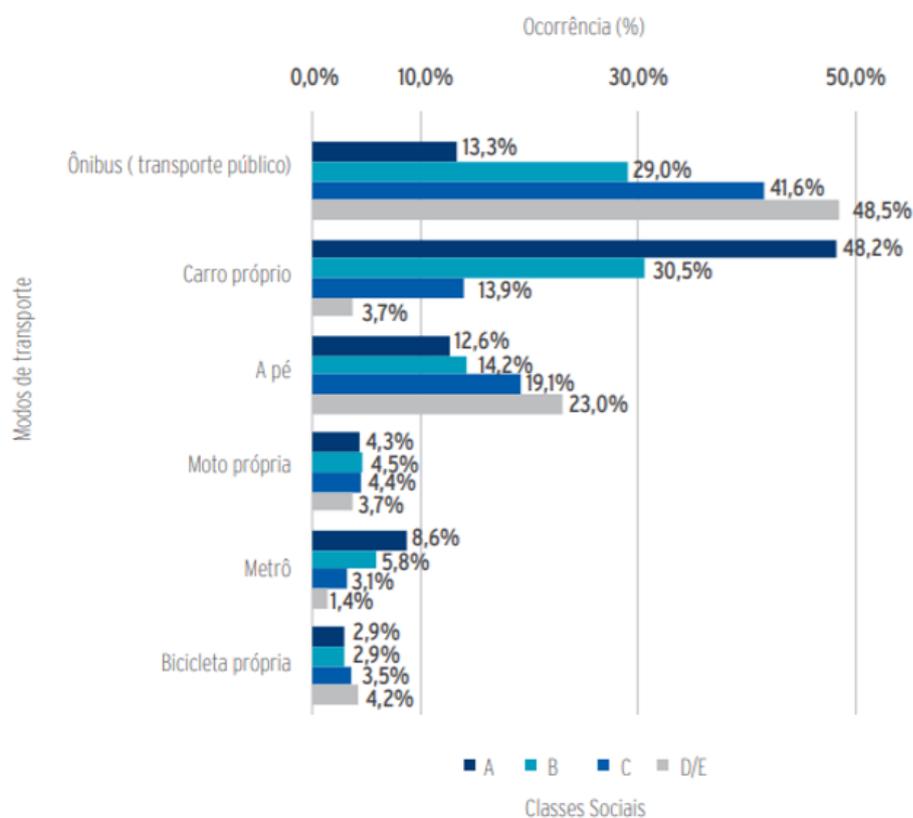
Conforme apontado pela autora, a utilização do Índice de Gini-Simpson combinado ao cálculo da Diversidade Real (*True Diversity*) traduz de maneira mais correta a proporção e o mix de usos considerando as possíveis combinações.

2.2.4 Renda

É comum observar, em sistemas de transporte público no Brasil, uma relação inversa entre o uso de meios de transporte coletivo e renda. No geral, a população de maior renda tende a dar preferência ao uso do transporte individual, mesmo que haja um bom serviço público de transporte. Já a população de menor capacidade econômica faz uso da bicicleta ou da caminhada para se deslocar, por serem meios de transporte pouco dispendiosos, e são eles os maiores usuários do transporte público (Cunha, 2005).

Dados de uma pesquisa de mobilidade da população urbana conduzida pelo CNT e NTU (2017) reforçam este comportamento. Foram investigados os padrões de mobilidade da população urbana residente em municípios brasileiros com mais de 100 mil habitantes. A Figura 3 ilustra um recorte dos resultados da pesquisa no que se refere aos modos de transporte utilizados por classe social, destacando os percentuais de utilização de ônibus, carro próprio, transporte ativo (a pé e bicicleta), motocicleta e metrô, e mostra que o uso dos transportes coletivos é maior nas classes C e D/E, assim como os deslocamentos a pé.

Figura 3 - Modos de transporte utilizados por classe social (2017)



Fonte: Adaptado de CNT e NTU (2017)

No que refere aos gastos do orçamento familiar com transporte, observa-se um peso maior no orçamento de famílias de alta renda, com 15,3%, segundo dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) divulgados pelo IBGE (2019b), enquanto as famílias mais pobres comprometeram 9,4% de suas despesas com transporte. Esse resultado deixa claro o gasto maior com transporte individual dos mais ricos, enquanto os mais pobres concentram gastos no transporte público.

Um aspecto relevante da mobilidade associada a renda pode ser medido pela quantidade de viagens que uma pessoa faz por dia. Um estudo realizado pela ITRANS (2003) revelou que o número de deslocamentos por habitante/dia era menor que um em famílias cuja renda era menor que três salários-mínimos por mês. Valor este considerado baixo quando comparado à quantidade de deslocamentos de pessoas com renda familiar acima de 20 salários-mínimos por mês que tinham em média 3 deslocamentos diários, segundo dados da pesquisa de origem e destino efetuada em São Paulo em 2002. Na região metropolitana de Belo Horizonte, por exemplo, os números de deslocamentos em dias úteis era de 0,90, enquanto nos fins de

semana era de 0,40 deslocamentos por habitante/dia. Segundo o estudo, esses baixos índices representam privações de atividades como viagens a estudo, trabalho, saúde e busca de emprego, e, aos fins de semana, traz consequências negativas nas atividades de lazer e de integração social, como visitas a parentes e amigos.

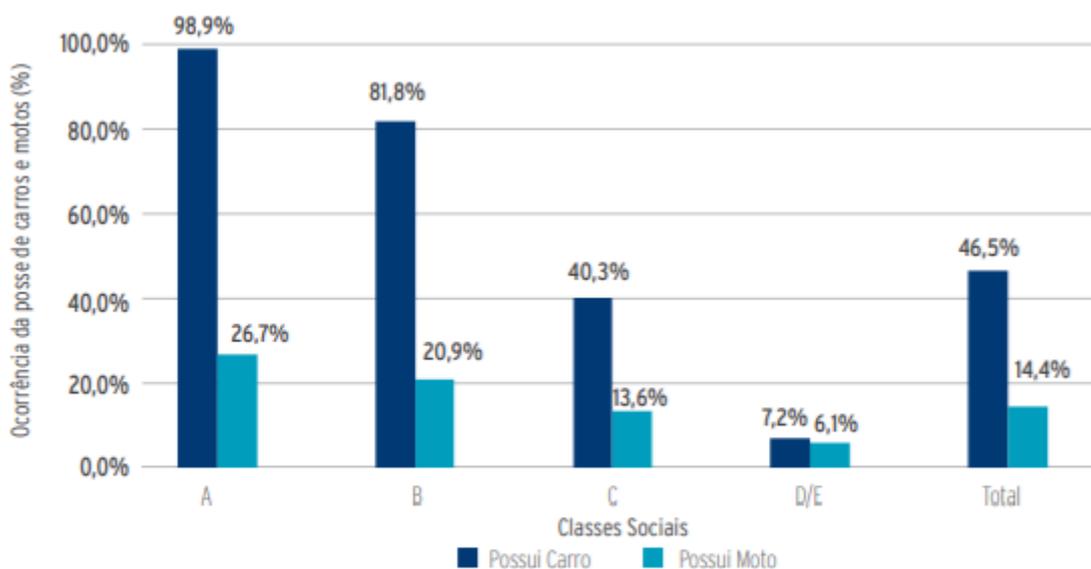
Pode-se inferir, a partir do estudo citado anteriormente, que a baixa mobilidade de pessoas de baixa renda tem consequências que agravam a exclusão social, uma vez que elas restringem suas atividades a um raio de distância que pode ser percorrida a pé. Estas restrições englobam opções de trabalho mais próximas de sua residência e a utilização de equipamentos públicos e de lazer ofertados nas proximidades. Entende-se, portanto, que é necessário planejar o sistema de transporte público das cidades para atendimento da maior parte da população, mas, dando atenção àqueles que tem menores opções de mobilidade.

2.2.5 Posse de veículo

No Brasil, o transporte é, desde o ano de 2015, garantido como um direito social incluído na Constituição Federal de 1988 que já prevê outros direitos aos cidadãos como educação, saúde, alimentação, moradia, trabalho e outros. O direito ao transporte ganha relevância ao oferecer acesso a muitos destes outros direitos e garante, em especial, a inclusão de quem vive em periferias, quem sobrevive com baixos salários e que não tem outros meios de mobilidade.

A pesquisa de mobilidade elaborada pelo CNT e NTU (2017) destaca que o uso do automóvel ainda é muito comum, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Posse de veículo por classe social (2017)



Fonte: CNT e NTU (2017)

Contudo, ao se observar os valores referentes à propriedade de veículos nas faixas com menor renda (D/E) encontram-se valores bem abaixo da média. Enquanto os entrevistados na pesquisa possuem em média 1,91 automóveis na classe A, o índice de propriedade de veículos na classe D/E é de apenas 0,07. Na classe B é de 1,02 e na classe C é de 0,42.

Tem-se, portanto que o transporte é um serviço essencial e cabe ao governo disponibilizar meios adequados e de qualidade para os deslocamentos diários dos cidadãos. A inexistência de meios de transporte motorizados nas residências é um indicativo da necessidade de prover o atendimento da localidade com o serviço de transporte público.

2.2.6 Declividade do terreno

A declividade trata de um aspecto ambiental que, no âmbito do planejamento de transporte público, tem relação direta com a distância percorrida a pé até os pontos de ônibus e estações. Segundo a estratégia de planejamento DOTS uma distância considerada caminhável é de cerca de 15 minutos, o que seria representada linearmente por uma distância de 500m a 1000m (WRI, 2018).

No entanto, em regiões de aclave, a distância percorrida em comparação à um local plano, durante um mesmo intervalo de tempo, é menor. Assim, áreas com maior declividade trazem mais obstáculos ao uso do transporte coletivo em relação a áreas planas, pois necessitam

de mais pontos de ônibus para atender ao tempo máximo de caminhada, por exemplo. Percursos com declividade muito acentuada também reduzem a velocidade operacional dos ônibus, aumentando os tempos de viagem e o consumo de combustível, tornando o serviço menos eficiente.

Em termos de classificação de solos, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018) qualifica as condições de declividade de modo a facilitar inferências sobre suscetibilidade dos solos à erosão, sendo reconhecidas as seguintes classes:

- **Plano:** superfície de topografia horizontal e desnivelamentos muito pequenos, com declividades variáveis de 0% a 3%;
- **Suave ondulado:** superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros (com elevações até 100 m), e declives suaves variando de 3% a 8%;
- **Ondulado:** superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros e declives moderados, variando de 8% a 20%;
- **Forte ondulado:** superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros (elevações de 50 m a 200 m), com declives fortes que variam de 20% a 45%;
- **Montanhoso:** superfície com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços e alinhamentos montanhosos, com grandes desníveis e declives fortes, variando de 45% a 75%;
- **Escarpado:** áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuevas, falésias, vertentes de declives muito fortes, usualmente com declividades superiores a 75%.

Embora as classes mencionadas sejam utilizadas com a finalidade de identificação de locais com possibilidade de erosão, elas também são úteis para o planejamento urbano na definição de locais propícios para ocupação urbana. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (ITP, 1991 apud SOUZA et al., 2007) estipula os seguintes intervalos de declividades: 0 a 15% inclinação máxima longitudinal tolerável nas vias para circulação de veículos; 15 a 30% inclinação máxima prevista pela Lei Federal 6766/79 para ocupação de encostas; 30 a 50% limite de declividade recomendável para ocupação; e superior a 50% as áreas que possuem alta declividade e podem ser utilizadas para urbanização, embora sejam onerosos.

2.3 PLANEJAMENTO DE ROTAS DE LINHAS DO TRANSPORTE COLETIVO URBANO

O planejamento adequado de rotas de transporte urbano é um dos desafios enfrentados pelos gestores públicos na construção de redes de transporte público eficientes e é um aspecto que tem forte impacto no modo como as pessoas enxergam o transporte coletivo nas cidades.

Muito além do custo do transporte e da qualidade dos veículos que compõem a frota, o traçado das linhas tem papel importante na atração de usuários ao sistema. Garantir a cobertura territorial das linhas, tempos de viagem não muito longos e uma oferta adequada de viagens são aspectos fundamentais do processo de planejamento.

As rotas geralmente são definidas com base em informações provenientes de estudos de demanda e pesquisas de origem e destino, as quais indicam os locais onde as pessoas iniciam suas viagens diárias e para onde elas vão. De acordo com Ferraz e Torres (2004), uma linha de transporte público deve propiciar uma cobertura adequada das áreas habitadas e percorrer os principais polos de atração de viagens da região, como shoppings centers, universidades, áreas industriais, entre outros. A rota deve ainda permitir o acesso da população com uma distância a pé que esteja dentro de limites aceitáveis, tanto para o deslocamento do usuário quanto para a eficiência da rede.

No âmbito da tipologia de linhas, existem classificações quanto à função e quanto ao traçado. Ferraz e Torres (2004) descrevem esta categorização da seguinte maneira:

Traçado:

- Radial: linha que liga a zona central (onde, em geral, há grande concentração de atividades comerciais e de prestação de serviços) à outra região da cidade (onde se localizam um ou mais bairros);
- Diametral: linha que conecta duas regiões opostas, passando pela zona central;
- Circular: linha que liga várias regiões da cidade, formando um circuito fechado como se fosse um círculo;
- Interbairros: linha que liga duas ou mais regiões da cidade sem passar pela zona central, com o objetivo de atender com viagens diretas um ou mais polos de atração importantes;

- Local: linha cujo percurso se encontra totalmente dentro de uma região da cidade (onde se localizam um ou mais bairros), também com o objetivo de atender com viagens diretas a um ou mais polos de atração importantes.

Função:

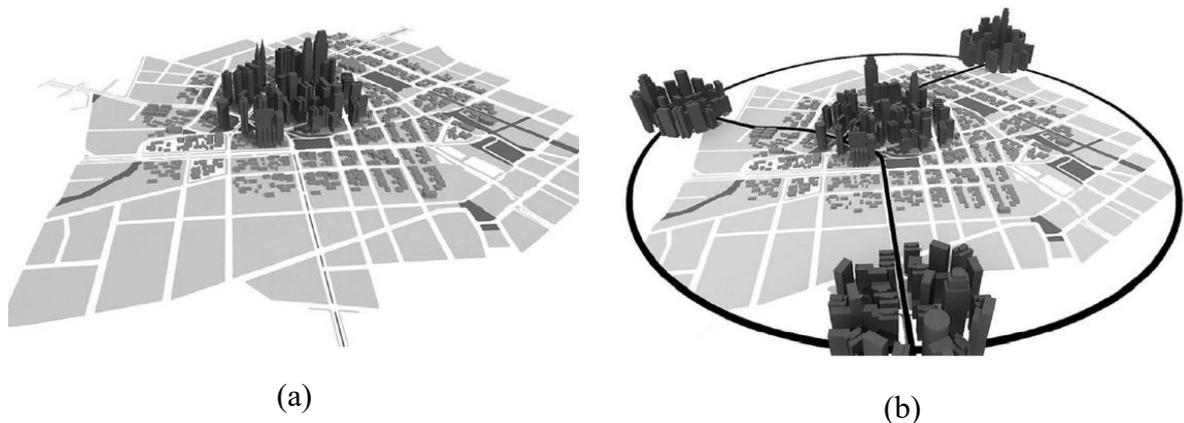
- Convencional: linha que executa as funções de captação dos usuários na região de origem, transporte da origem até o destino e distribuição na região de destino;
- Troncal: linha que opera num corredor onde há grande concentração de demanda, com a função de realizar o transporte de uma região à outra da cidade;
- Alimentadora: linha com função de captação e distribuição da demanda de/para uma região da cidade e uma estação (terminal) de linha troncal.

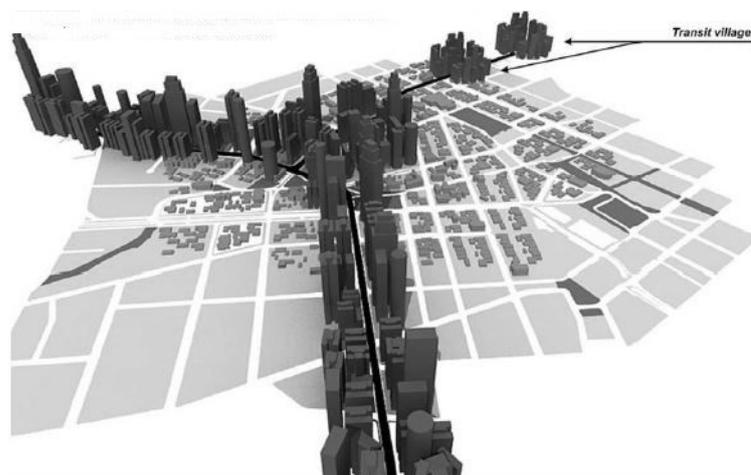
A escolha da tipologia de linha para uma rede específica depende de como a cidade está organizada, isto é, de que maneira se configuram os espaços públicos, qual a distribuição espacial das zonas residenciais, industriais e de serviços, qual a oferta de infraestrutura e qual a conectividade existente entre as várias áreas urbanas.

Neste aspecto, Ghidini (2015) traz à reflexão três conceitos de desenvolvimento urbano embasados em protótipos de uso do solo e sistemas de transporte, são eles: a Cidade Compacta (a); a Cidade Policêntrica (b); e a Cidade Difusa (c). A

Figura 5 ilustra os modelos mencionados.

Figura 5 - Modelos de cidade: (a) compacta ou monocêntrica, (b) policêntrica e (c) difusa.





(c)

Fonte: Ghidini (2015, apud Barczak, 2009)

As cidades que apresentam padrões de monocentralidade concentram as atividades comerciais e de serviços na região central, possuem uma alta densidade e, conseqüentemente, alta acessibilidade de todas as áreas no âmbito urbano. Nelas, as distâncias envolvidas nos deslocamentos são menores, o uso do transporte privado tende a ser baixo demonstrando ser o modelo de cidade mais eficiente para os sistemas de transporte, uma vez que há um menor custo associado ao uso de frota menor de ônibus e menor quilometragem percorrida.

O modelo de cidade policêntrico baseia-se na existência de núcleos de serviços e negócios nas zonas adjacentes às instalações centrais. Este desenho espacial é observado em regiões metropolitanas, onde o modelo compacto deixaria de ser eficiente trazendo conseqüência negativas como congestionamentos e o alto consumo de energia. A forma policêntrica tende a reduzir distâncias entre trabalho e moradia, propiciando trajetos menores que podem ser percorridos a pé ou de bicicleta. O transporte público é utilizado de maneira mais uniforme em toda a zona urbana.

Por fim, a cidade difusa é marcada por uma ocupação de caráter mais disperso, de densidade intermediária a baixa, e onde o transporte individual acaba sendo o modo mais adequado para o padrão de uso do solo.

No que se refere à relação entre a forma das cidades e o traçado de linhas de transporte coletivo que as atende, Cunha (2005) destaca a existência de alguns padrões. Em cidades monocêntricas, por exemplo, predominam as linhas radiais já que os desejos de viagens estão focados na área central. Para formas policêntricas, é comum observar-se a presença de

corredores de ligação entre os centros urbanos e, em cidades com desenho mais linear predominam os corredores centrais alimentados por linhas do tipo alimentadora.

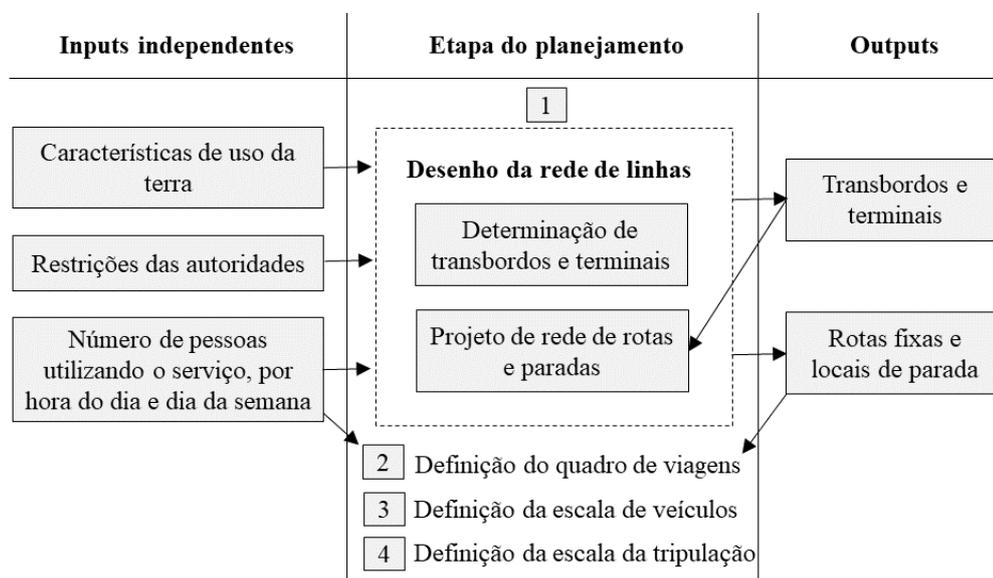
Seja qual for a conformação da estrutura urbana das cidades, o seu sistema de transporte público, como serviço essencial que é, precisa manter bons índices de confiabilidade, pontualidade, acessibilidade, segurança, entre outros atributos. Para isso, o planejamento da rede requer a análise conjunta de diversos fatores. Na literatura são citados alguns aspectos importantes para a formulação de redes de transportes públicos, a exemplo de Reck (2010) que discorre sobre alguns pontos principais:

- Inicialmente a rede deve ser construída para o atendimento da área central da cidade, normalmente com o traçado de algumas linhas radiais e diametrais;
- O número de linhas deve ser limitado, de forma que os usuários possam entender o sistema e encontrar a melhor forma de utilizá-lo. Neste aspecto, é preferível poucas linhas com alta frequência do que muitas rotas de baixa frequência;
- Os itinerários de “ida e volta” devem ser o mais semelhante possível, e, quando existirem linhas circulares muito longas, é importante prover uma outra linha no sentido inverso;
- As linhas urbanas devem possuir um arranjo tal que seja possível, com apenas uma transferência, atender a maioria dos deslocamentos. Isto evita um tempo excessivo de viagem que desmotive o usuário e incentive-o a migrar para o transporte individual.
- O transporte público deve usar o mínimo de vias possível, evitando traçados sinuosos, facilitando a compreensão do usuário e possibilitando integração física entre diferentes linhas.

Além dos atributos trazidos por Reck (2010), Ferraz e Torres (2004) enfatizam a relevância da não existência de superposição das áreas de influência de linhas pois, apesar de, eventualmente, beneficiar determinados usuários, ela acaba por prejudicar a eficiência e a qualidade global do serviço. Outro fator destacado pelos autores se trata de aspecto exógeno relacionado à topografia da cidade. Aponta-se que cidades com topografia acidentada têm sistemas com menor velocidade operacional, mais gastos com combustível e insumos, além de necessitar um maior número de veículos para atender ao quadro de viagens programado.

Ceder (2007) traz o diagrama apresentado na Figura 6 para indicar os *inputs* e *outputs* do planejamento de redes de linhas.

Figura 6 - Diagrama funcional de um processo comum de planejamento de operação de transporte público



Fonte: Adaptado de Ceder (2007)

Conforme apontado, as características urbanas e informações de demanda são a base para o desenho de linhas. O autor descreve ainda os padrões de serviço atualmente utilizados em agências de trânsito nos EUA e na Europa e indica limites típicos para cada padrão e que podem ser utilizados como diretrizes de planejamento (Quadro 5).

Quadro 5 - Padrões de serviço disponíveis e seus intervalos de critérios típicos

Categoria	Grupo	Padrão	Intervalo de critério típico*	Observações
Design de Rota	Nível de rota	Comprimento da rota	Máximo de 40-100 minutos por sentido	Comprimentos mais longos são observados em agências maiores
		Espaçamento das paradas	120 – 400 m em áreas urbanas	Depende da densidade populacional e uso da terra.
		Direcionamento da rota**	Limite superior do desvio do caminho mais curto do carro, de 20-50%	Buscando maior produtividade em segmentos desviados
		Volta – curta**	Apenas no período-pico	Busca reduzir os custos de operação
	Nível de rede	Cobertura da rota	Espaçamento de percurso mínimo de 800–1000 m (área urbana); Caminhada máxima de 400-800 m até a parada	Mínimo de 50-95% dos residentes têm distância abaixo do máximo a pé para parar
Sobreposição da rota		Sobreposição permitida apenas na zona central de negócios	Evita confusão e equilibra a dispersão da rota	

Categoria	Grupo	Padrão	Intervalo de critério típico*	Observações
		Estrutura da rota **	Máximo de 2-3 ramos por rota / loops em torno dos terminais	Reduz a confusão por diferente número de rota
		Conectividade das rotas	Mínimo de 1-3 rotas que cruzam uma determinada rota (pontos de baldeação)	Especialmente para uma nova rota em uma rede existente

* Reflete dados principalmente dos EUA.

** Padrões comumente utilizados

Fonte: Adaptado de Ceder (2007)

2.4 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

As técnicas de análise multicritério são bastante empregadas para auxiliar na tomada de decisão quando os fatores que influenciam determinado problema são complexos de se avaliar. “A Análise de Decisão Multicritério padroniza o processo de tomada de decisão através de modelagem matemática, auxiliando o decisor a resolver problemas nos quais existem diversos objetivos a serem alcançados simultaneamente” (SILVA; BELDERRAIN, [20--]).

No setor de transporte existem várias situações em que estas técnicas são aplicadas. Barbieri, Inácio e Lima (2016) elaboraram uma revisão sistemática da literatura referente à aplicação de métodos multicritério em estudos na área de transportes. Eles tomaram como base para a revisão as seguintes temáticas: i) infraestrutura; ii) logística; iii) gestão de transportes; iv) tráfego urbano e rodoviário; v) modelos e técnicas de planejamento de transportes; vi) aspectos econômicos, sociais, políticos e ambientais do transporte; e vii) planejamento territorial do transporte.

O estudo dos autores indica uma gama de metodologias existentes que são utilizadas de maneira combinada ou simples. Dentre os modelos simples, apontam-se três grupos:

- a) Teoria da utilidade/valor multiatributo: se procede a comparação das alternativas com determinados indicadores, retornando-se uma pontuação. Posteriormente se efetua *trade-off* das alternativas e a que tiver maior pontuação é escolhida. Algumas técnicas são: MAUT/MAVT (*Multi-Attribute Utility Theory/Multi-Attribute Value Theory*), AHP (*Analytic Hierarchy Process*), SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), entre outras;
- b) Métodos de priorização/sobreclassificação: buscam representar as preferências dos tomadores de decisão através de relações binárias. Comparam-se

alternativas com base em critérios até que uma delas se mostre superior às demais;

- c) Métodos interativos: utilizam análise computacional através de programação, onde a melhor alternativa é escolhida com base em objetivos a serem alcançados. Possibilita várias interações até se chegar ao resultado. Alguns exemplos de métodos são o STEM (*Step Method*), ICW (*Interval Criterion Weights*), PARETO RACE e TRIMAP (método de aprendizagem em programação linear tricritério).

A pesquisa realizada em literatura nacional e internacional apontou o uso de mais de uma técnica multicritério para resolução de um problema ou o uso das técnicas de modo a complementar a avaliação de dados quantitativos. O estudo ainda indicou a associação com outras ferramentas de análise como SIG (Sistema de Informação Geográfica), DEA (*Data Envelopment Analysis*), lógica Fuzzy e o uso dos métodos como premissa para modelos computacionais, entre eles o *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) e modelos não lineares.

No que se refere ao uso de análise multicritério em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas, Pimenta et al. (2019) traz um levantamento bibliográfico amplo sobre trabalhos com aplicação específica do método de Análise Hierárquica ou AHP. O estudo abordou trabalhos em 12 categorias científicas que utilizaram o processo de análise multicritério com abordagem espacial, dentre elas o planejamento urbano e infraestrutura. O levantamento bibliográfico realizado pelos autores evidenciou a versatilidade e a viabilidade de aplicação do método em diversos temas com utilização de informações espaciais. O AHP é indicado, no estudo, como um método capaz de reduzir as incertezas dos processos de decisão que envolvem fatores socioambientais, econômicos e políticos.

A seguir serão descritas as etapas de utilização do método AHP.

2.4.1 Método *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

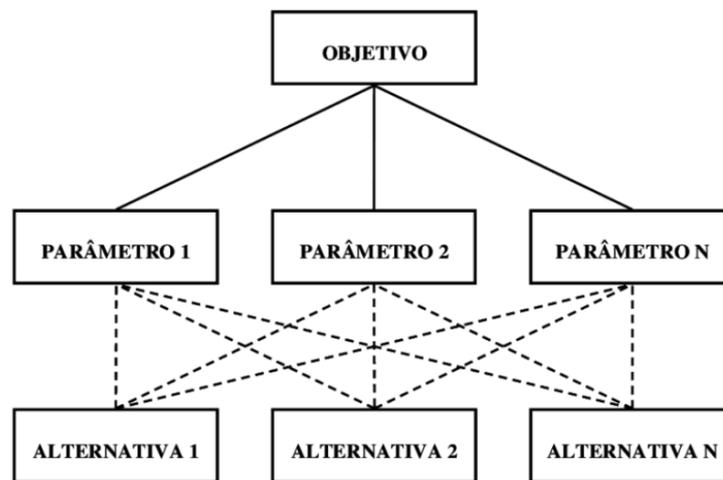
O método AHP, desenvolvido por Thomas Saaty, toma os diferentes critérios que influenciam uma tomada de decisão e utiliza a decomposição e síntese das relações entre estes critérios para se alcançar uma priorização de seus indicadores, aproximando-se de uma resposta

ideal ao problema proposto. A sua aplicação é diversa e auxilia a avaliação de desempenho até mesmo de aspectos subjetivos e mais complexos.

O processo de aplicação da teoria de análise hierárquica passa pela comparação par a par da relevância de um atributo sobre o outro, frente ao problema que se deseja resolver. Esta comparação é feita de maneira sistemática repetidamente, em níveis, até se chegar ao nível máximo representado pelo objetivo do processo decisório.

O AHP reflete o método natural da mente humana, onde se avalia a importância relativa de critérios com a atribuição de pesos para os fatores individuais, e posteriormente se comparam as alternativas para cada critério até se determinar um ranking geral das alternativas. Os valores atribuídos aos julgamentos para comparação são baseados em experiência, dados ou intuição e, por esta razão, o método reflete aspectos tanto quantitativos quanto qualitativos de um problema de decisão. A Figura 7 ilustra a estrutura hierárquica básica do método.

Figura 7 - Estrutura hierárquica básica do método AHP



Fonte: Saaty (1991)

A sua aplicação tem início na definição dos critérios (ou parâmetros) que serão comparados e, com eles, monta-se a Matriz de Prioridades. Para montagem da matriz, utiliza-se uma escala recomendada por Saaty (1991), com valores de 1 a 9, onde 1 significa pouca importância de um critério sobre outro, e 9 extrema importância de um sobre o outro. Os valores intermediários são descritos no Quadro 6.

Quadro 6 - Escala de comparações do AHP

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Fonte: Saaty (1991)

A matriz resultante da comparação é uma matriz quadrada com valores iguais a 1 na comparação entre os próprios critérios (diagonal da matriz) e os demais sendo comparações recíprocas, conforme exemplo genérico do Quadro 7.

Quadro 7 - Matriz de prioridade de critérios

Critério	C1	C2	C3
C1	1	5	1/9
C2	1/5	1	2
C3	9	1/2	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Os valores dos julgamentos aplicados aos critérios da matriz devem apresentar consistência, isto é, se o critério C1 é muito mais dominante que o C2 e C3, nenhum destes terá dominância sobre C1. Esta verificação é importante, pois caso seja verificada incoerência, os julgamentos devem ser refeitos. Para efetuar a análise da consistência a matriz de prioridade

deve ser normalizada através da soma dos elementos de cada coluna e posterior divisão de cada elemento desta matriz pelo somatório dos valores da respectiva coluna.

A Razão de Consistência (R.C.) será dada pela Equação 6:

$$R.C. = \frac{I.C.}{I.R.} \quad (6)$$

Onde:

I.R.: é um índice randômico de matrizes de ordem de 1 a 15 previamente calculados e que Saaty (1991) apresenta conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Índice randômico médio do AHP

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Fonte: Saaty (1991)

I.C.: é um índice de consistência, dado pela Equação 7.

$$I.C. = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (7)$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \text{m\acute{e}dia do vetor } \frac{Aw}{w} \quad (8)$$

Na Equação 7 “n” representa a dimensão da matriz e “ $\lambda_{m\acute{a}x}$ ” o autovalor máximo (Equação 8), o qual relaciona os critérios da Matriz de Consistência (matriz normalizada) e os pesos dos critérios (BESTEIRO, et al., 2009). Se o R.C. for maior que 0.1 recomenda-se que os julgamentos sejam refeitos, se o índice for menor que 0.1, a matriz de prioridades é consistente.

Uma vez alcançada a consistência, estabelece-se as prioridades globais para se comparar as alternativas e selecionar a melhor opção. A análise das alternativas pode ser feita por medição relativa ou absoluta. Enquanto na medição relativa, cada alternativa é comparada duas a duas para cada critério, seguindo os passos indicados anteriormente, na medição absoluta associa-se pontuações absolutas a cada uma das alternativas através de uma escala previamente definida pelo decisor. Esta última forma de avaliação é relevante em casos em que a quantidade de alternativas para o problema é muito grande (PASSOS, 2010).

Após definidos os vetores de pesos dos critérios e o vetor de pontuações das alternativas em relação aos critérios, o próximo passo é agregar esses valores para a obtenção do resultado (PASSOS, 2010). Isto pode ser feito a partir da Equação 9:

$$f(a) = \sum_{j=1}^n w_j v_j(a) \quad (9)$$

Onde:

w_j = peso do j -ésimo critério;

v_j = desempenho da alternativa “a” com relação ao j -ésimo critério.

Por fim, uma análise de sensibilidade torna-se importante para verificar se há mudanças significativas no resultado a partir de mudanças nos julgamentos realizados.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada na consecução deste trabalho consistiu nas etapas descritas nas seções seguintes.

3.1 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

Foi realizado o levantamento de artigos e trabalhos correlatos ao tema proposto neste estudo, a fim de entender as técnicas utilizadas, o foco das análises e os resultados positivos e negativos obtidos. Buscou-se compreender ainda a relação existente entre as características urbanas e socioeconômicas de uma localidade e o transporte urbano coletivo, através da pesquisa de estudos que trouxessem tais reflexões. Também foram pesquisados conceitos e métodos para planejamento de linhas de transporte coletivo e métodos de análise multicritério.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Procedeu-se o levantamento de informações sobre a cidade objeto do estudo de caso: Nova Serrana, no estado de Minas Gerais. Buscou-se identificar aspectos relevantes da dinâmica urbana e da ocupação territorial, e caracterizar o sistema de transporte coletivo da cidade ressaltando as deficiências existentes no desenho, operação e gestão das linhas.

Foram levantadas informações sobre rotas, oferta e frequência das linhas de transporte público por ônibus, além de dados sobre a localização de pontos de ônibus na cidade, junto à concessionária operadora do sistema e à Prefeitura, para efetuar os cálculos de índice de acessibilidade.

No momento da elaboração deste trabalho, a cidade objeto do estudo de caso encontrava-se em processo de elaboração de seu Plano Diretor e do seu Plano de Mobilidade Urbana, por isso, foram obtidos, junto à equipe técnica responsável pela elaboração dos planos, os resultados de uma pesquisa de opinião e de uma pesquisa de mobilidade conduzidas de maneira online junto à população. Estes resultados foram utilizados para caracterizar a percepção que os habitantes da cidade possuem sobre o serviço de transporte coletivo, permitindo assim identificar aspectos mais problemáticos da operação e que necessitam de intervenção. Os dados também foram importantes para entender a relação de uso do transporte coletivo com base na renda das pessoas e na posse de veículos.

Vale ressaltar que, embora os planos mencionados, bem como as respectivas pesquisas, tenham sido elaborados durante a pandemia do COVID-19, os resultados utilizados refletem o comportamento de deslocamento dos usuários antes da pandemia, isto é, se referem a um padrão de deslocamento que era habitual antes das restrições de isolamento e distanciamento impostas pela pandemia.

3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS GEOGRÁFICOS E SOCIOECONÔMICOS

Nesta etapa do trabalho foram realizadas buscas de informações sobre o município em estudo, em bases públicas como o IBGE, órgãos municipais e a própria operadora de transporte do município, para a geração de mapas para cada um dos critérios urbanos e socioeconômicos que farão parte da análise: densidade populacional, índice de acessibilidade, diversidade de uso do solo, renda, posse de veículos e declividade do terreno.

De posse das informações para cada critério são realizadas as seguintes etapas:

- a) Tendo em mente que o objetivo do estudo é identificar áreas de demanda por serviços de transporte, temos, para cada critério, valores que representam uma maior relação de geração de demanda por serviços de transporte coletivo e valores que representam menor potencial de geração de demanda. Assim, tomando como exemplo o critério de renda, as regiões que englobam população de baixa renda possuem maior demanda pelo transporte coletivo do que regiões de maior renda. As informações provenientes das bases consultadas trazem informações referentes à médias salariais, as quais foram normalizadas para valores que variam de 0 a 1 de modo a facilitar a sobreposição e comparação dos mapas em etapa posterior. Para destacar a relevância de cada valor para a análise proposta foram atribuídos *Scores* de 1 a 10. Para o exemplo mencionado, se atribuiu o valor 10 para as regiões de menor renda, representando demanda por transporte público e valores decrescentes para as regiões de maior renda.
- b) Com os dados normalizados, elaborou-se um mapa para cada um dos critérios, utilizando um software de geoprocessamento. Neste trabalho, utilizou-se o Quantum GIS (QGIS), software livre com código-fonte aberto, multiplataforma de sistema de informação geográfica (SIG).

- c) Por fim, efetuou-se a conversão das informações para dados em formato *raster*. Nesta etapa as informações são transformadas em pixels, onde cada pixel representa uma região geográfica, e o seu valor representa uma característica dessa região. Este processo é importante pois permite a sobreposição de camadas de dados e a realização de cálculos de análise espacial;

3.4 APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO

A aplicação da análise multicritério é utilizada para a comparação dos critérios levantados e definição da relevância de cada um (peso) na construção do mapa final de áreas com deficiências de atendimento de linhas de transporte coletivo. Dado o caráter prático e versátil do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) na aplicação em análises em SIG, optou-se por utilizá-lo na consecução das atividades deste trabalho.

Como a definição de importância de cada característica é, de certa forma, subjetiva, optou-se por consultar especialistas do setor de transportes e profissionais atuantes na gestão e operação de transporte coletivo urbano, para construção de uma matriz de peso dos critérios. Para tanto, elaborou-se um questionário online, cuja estrutura encontra-se no Apêndice A. Nele consta uma introdução sobre o que é a pesquisa e qual sua utilidade para o estudo, uma explicação sucinta sobre o que é o método AHP e como se aplicam as pontuações de importância aos critérios, além da descrição de cada critério e sua relação com a geração de demanda por transporte coletivo.

No método AHP, a pontuação dos critérios precisa ter uma coerência, isto é, se dois critérios são mais importantes que um, este não pode ser mais importante que nenhum dos dois. Por isso, foi elaborada uma planilha para facilitar a checagem das pontuações atribuídas pelos especialistas. A planilha consta no Apêndice B e ela busca simplificar o preenchimento dos julgamentos e o cálculo da Razão de Consistência (RC) do método. Caso o RC seja menor que 0,1, uma mensagem indica a necessidade de refazer os julgamentos dos critérios. Quando a Razão de Consistência é alcançada, as pontuações estão coerentes e o respondente efetua o upload da planilha e envia o formulário.

De posse dos resultados da pesquisa de ponderação, calcula-se, para cada respondente, os pesos de cada critério, conforme item 2.4.1 da revisão bibliográfica. O peso final de cada critério será a média dos valores atribuídos pelos especialistas.

3.5 ELABORAÇÃO DO MAPA DE DEMANDA POR TRANSPORTE COLETIVO

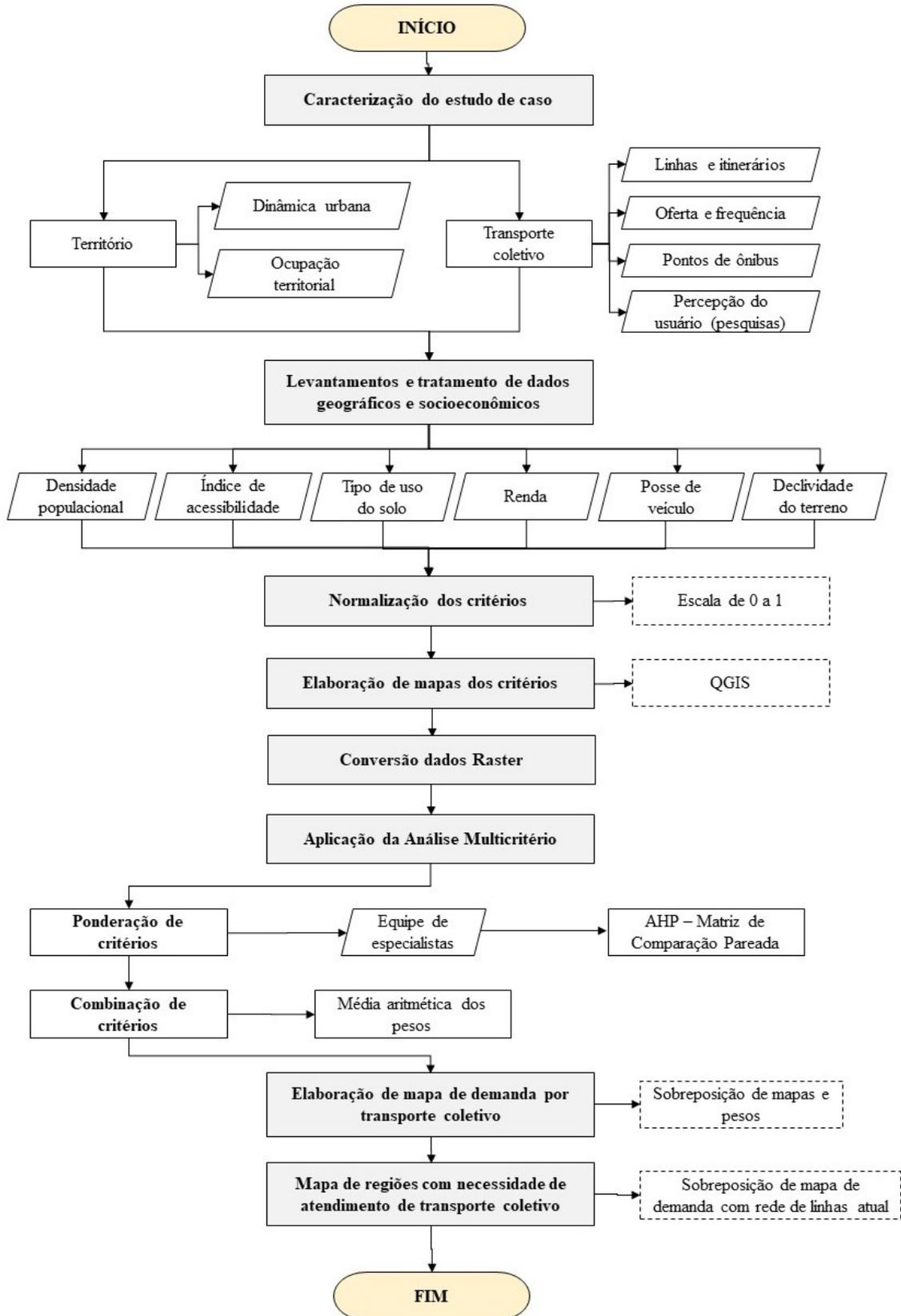
O resultado da etapa anterior foi aplicado aos mapas produzidos na etapa 3.3. Utilizando o software de geoprocessamento QGIS e o plug-in *Weighted Multi-Criteria Analysis* – *WMCA* (Análise Multicritério Ponderada – AMP), ferramenta específica para realizar análises multicritério ponderadas. Efetuou-se a sobreposição dos mapas considerando os pesos atribuídos e obteve-se o mapa final que representa áreas com maior e menor demanda por transporte coletivo urbano na cidade.

Com a sobreposição da rede de linhas de ônibus atual no mapa de demanda por transporte coletivo foi possível identificar as regiões fracamente atendidas e que necessitam de melhoria no atendimento.

3.6 FLUXOGRAMA

Para melhor compreensão das etapas do trabalho e a fim de facilitar a aplicação em estudos futuros, elaborou-se o fluxograma ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma das etapas do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4 ESTUDO DE CASO

O método proposto no Capítulo 3, foi aplicado à cidade de Nova Serrana, situada no Estado de Minas Gerais. No decorrer da elaboração deste trabalho, o município encontrava-se no âmbito de desenvolvimento do seu Plano Diretor e do seu Plano de Mobilidade Urbana, apresentando um sistema de transporte coletivo urbano pouco utilizado diante do porte da cidade. Frente a uma situação de falta de planejamento e uma gestão frágil do sistema, este trabalho busca se aprofundar na identificação de deficiências e na proposição de melhorias para a rede de linhas da cidade.

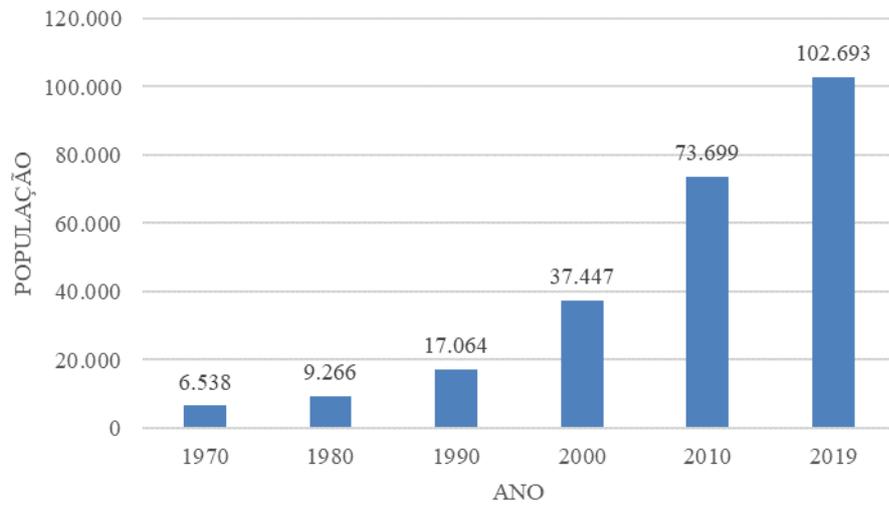
4.1 CARACTERIZAÇÃO DE NOVA SERRANA – MG

Nova Serrana situa-se na mesorregião centro-oeste do estado de Minas Gerais, a 112 km de Belo Horizonte, e é conhecida como a cidade que mais cresce no estado. Grande parte da sua economia é centrada na produção de calçados e artefatos para a sua confecção, possuindo muitas indústrias voltadas ao setor.

A fundação do município data de 1953, e se desenvolveu inicialmente como um povoado que funcionava como um ponto de passagem de tropeiros com a comercialização de produtos e serviços (SILVA, 2007). A localidade funcionava com base na agricultura, mas, diante da crise vivida pelo setor após 1930, passou a surgir na região alguns poucos fabricantes de couro que fabricavam botinas, chinelos, alpargatas, arreios e calçados (JÚNIOR, 1984, apud SILVA, 2007). Assim, em 1940, surgiram as primeiras sapatarias da região, ainda de forma artesanal e baseada na manufatura familiar. Essas foram as bases para o desenvolvimento de uma região que atualmente é vista como um dos maiores polos calçadistas do país.

Ao longo dos anos o setor de calçados foi se expandindo e acabou por dinamizar a economia em Nova Serrana, gerando empregos, atraindo trabalhadores e sendo responsável pelo seu grande crescimento. Apenas na última década, a população do município cresceu 39%, conforme indica a Figura 9, sendo que 94% dela pode ser caracterizada como urbana, segundo estimativas do IBGE (2019a).

Figura 9 - Crescimento populacional em Nova Serrana

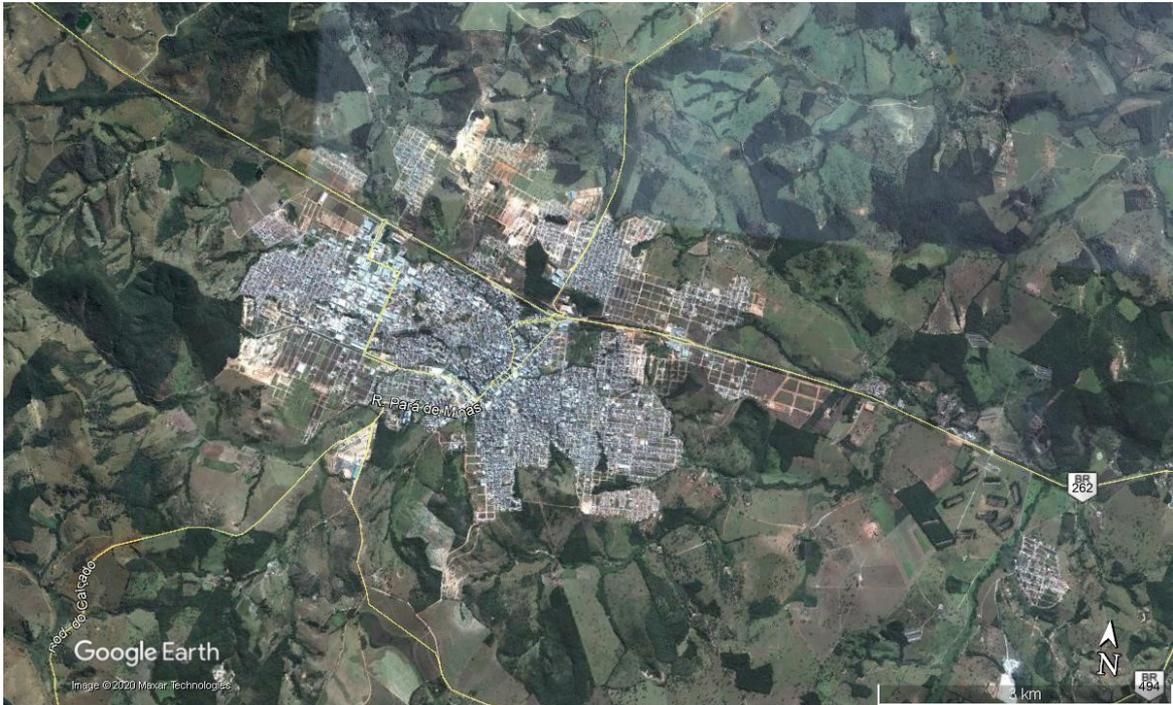


Fonte: Elaborado pelo autor (2020), a partir de dados do IBGE (2019a)

Em termos de ocupação de território, Nova Serrana estabeleceu-se como uma cidade do tipo monocêntrica caracterizada pela existência de um núcleo central onde se concentram as atividades comerciais e serviços.

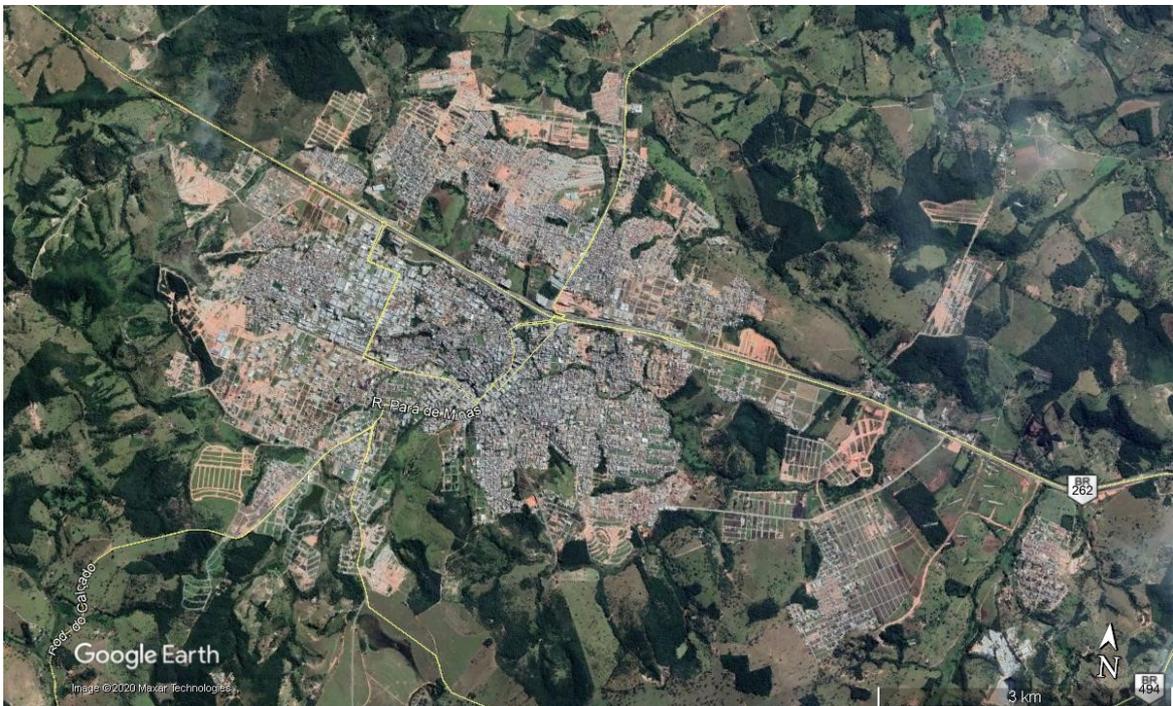
No entanto, o forte e acelerado crescimento populacional acabou por ocasionar um desenvolvimento urbano desordenado e com uma série de fragilidades. A configuração de uma cidade compacta deu vez a uma ocupação mais dispersa. Na Figura 10 e Figura 11 é possível observar a evolução da mancha urbana no decorrer de uma década.

Figura 10 - Configuração da mancha urbana (2010)



Fonte: Google Earth (2010)

Figura 11 - Configuração da mancha urbana (2020)



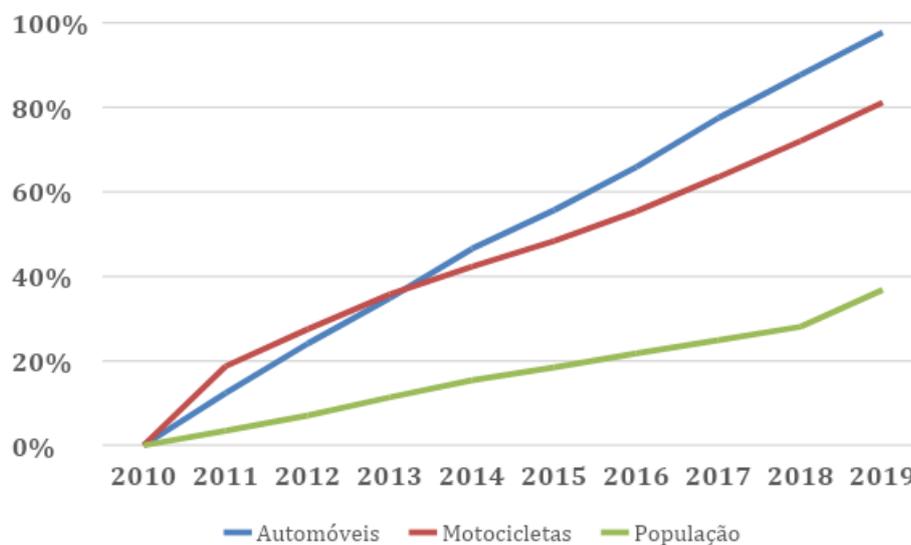
Fonte: Google Earth (2020)

Nota-se que a ocupação se deu, inicialmente, no entorno da área central e nos limites ao sul da rodovia BR-262 e, com o passar do tempo houve a criação de diversos novos loteamentos, com a expansão acontecendo tanto ao sul quanto ao norte da rodovia, sem vetores de crescimento definidos. Condomínios de alto padrão, assim como condomínios do Programa Minha Casa Minha Vida e loteamentos industriais e residenciais foram sendo criados sem o estabelecimento de um eixo de expansão da cidade. Isto demonstra a fragilidade de fiscalização e de critérios para aprovação de loteamentos e para o uso e ocupação do solo, além de evidenciar um intenso processo de especulação imobiliária ao longo dos últimos anos.

Atualmente observa-se a existência de diversos loteamentos parcialmente desocupados e com infraestrutura pouco consolidada. Nota-se uma superestimação da demanda por moradia a fim de atender os trabalhadores atraídos pela economia local, criando assim, um estoque de terrenos vazios que reforça o espraiamento em oposição ao adensamento das áreas já urbanizadas. Este padrão de ocupação traz impactos nos custos de infraestrutura, zeladoria urbana, transporte entre outros aspectos da dinâmica urbana.

Nova Serrana, apesar de apresentar locais de concentração de alguns serviços nos bairros, em especial na ocupação ao norte da rodovia BR-262, tem uma movimentação de pessoas muito concentrada na área central onde estão os principais serviços. Embora essa configuração favoreça um sistema de transporte público com linhas mais diretas e sem transbordos, há uma baixa utilização do serviço na cidade, com cerca de 6.500 viagens por dia. O transporte individual motorizado ainda é o principal meio de deslocamento das pessoas. A Figura 12 aponta o crescimento expressivo da posse de automóveis e motocicletas diante do crescimento populacional observado.

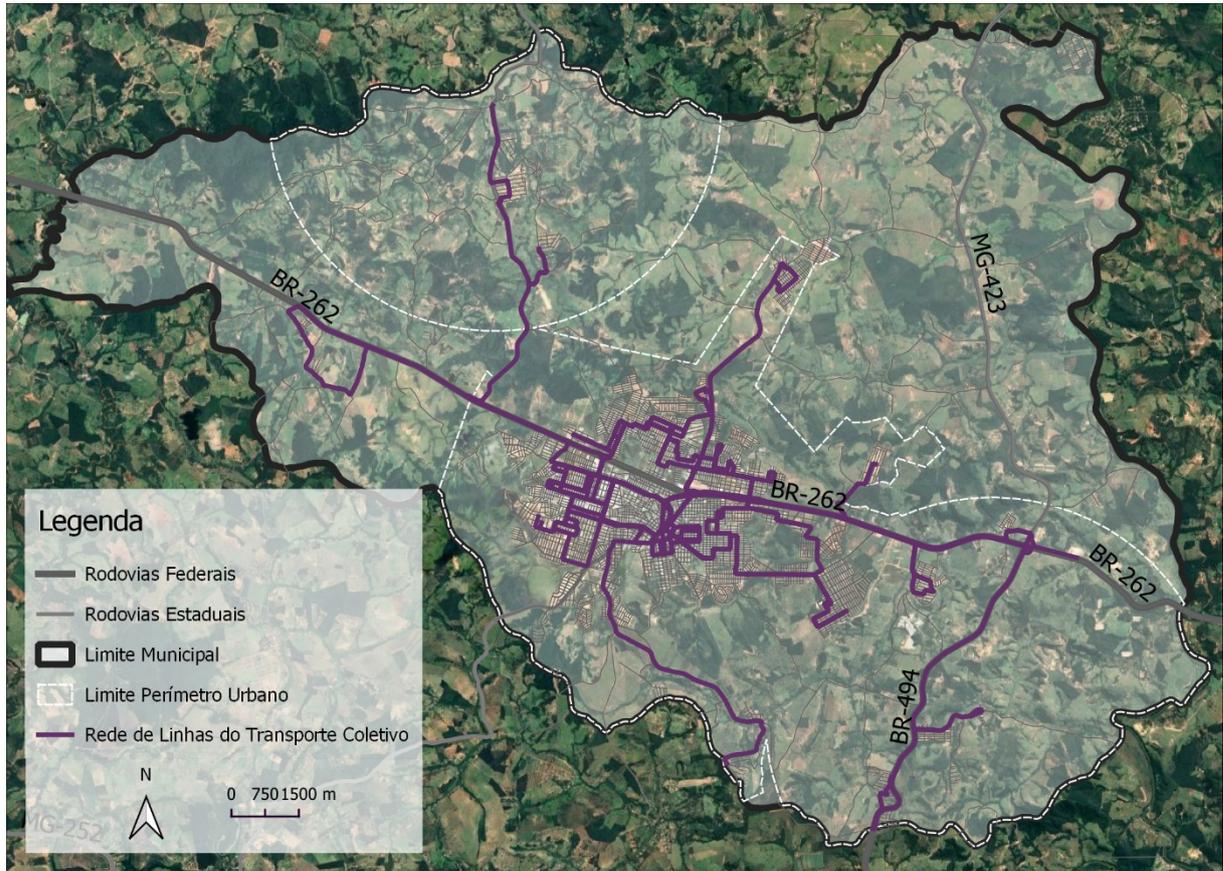
Figura 12 - Crescimento percentual da frota de veículos e da população de Nova Serrana 2010-2019



Fonte: Caderno de subsídios técnicos para leitura da cidade (NOVA SERRANA, 2020a)

O transporte coletivo municipal é operado pela empresa privada TRASNOVA e possui a concessão de 22 linhas, das quais 9 são regulares e 13 são linhas de reforço que circulam apenas em horários de maior demanda, das 05h00 às 07h00 e das 16h00 às 18h00. A rede de linhas é constituída por linhas radiais e diametrais. Grande parte dos trajetos passa pelo centro da cidade, enquanto outros ligam alguns bairros de maneira longitudinal ou transversal. A Figura 13 ilustra a rede de linhas municipais e o Quadro 8 expõe, por sua vez, o código e nome de cada linha, a tipologia, a extensão e a quantidade total de frequências observada para cada linha em dias úteis (DU), sábado e domingo, à exceção das linhas 35 e 36, cujas informações não estavam disponíveis. No Apêndice C consta o quadro completo de frequências por sentido das linhas e por hora do dia para os dias úteis.

Figura 13 - Rede de linhas do transporte coletivo municipal



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da TRASNOVA (2020), DNIT (2013), DNIT (2015), OSM (2020) e IBGE (2015)

Quadro 8 - Classificação e frequência das linhas do transporte coletivo

Cód.	Linha	Tipologia		Extensão da Linha (km)	DU	Sáb	Dom
		Traçado	Função				
1	Novo Horizonte / Cidade Nova	Diametral	Convencional	35,6	65	42	27
2	Romeu Duarte / Gamas	Diametral	Convencional	33,8	54	39	18
3	Romeu Duarte / Concesso Elias	Diametral	Convencional	26,6	43	24	15
4	Prefeitura / Santa Sara	Diametral	Convencional	17,9	8	0	0
5	Prefeitura / Boa Vista	Diametral	Convencional	22,7	30	19	12
7	Dona Zeli / Antônio Venâncio (Via Concesso Elias)	Diametral	Convencional	21,0	15	0	0
8	Rodoviária / Areias	Radial	Convencional	33,4	10	4	4
9	Centro / Barreto (Buriti)	Radial	Convencional	18,2	8	7	4
10	Novo Horizonte / Cidade Nova (Via São José)	Diametral	Convencional	36,0	23	6	4
20	Cidade Nova / Gamas	Interbairros	Convencional	51,2	2	0	0
21	Cafezal / Cidade Nova	Diametral	Convencional	23,8	2	0	0
22	Gumercinda Martins / Capão	Diametral	Convencional	26,4	2	0	0
23	Senai / Chácaras Paraná	Diametral	Convencional	54,6	2	0	0

Cód.	Linha	Tipologia		Extensão da Linha (km)	DU	Sáb	Dom
		Traçado	Função				
24	Planalto / Cafezal	Interbairros	Convencional	18,7	4	0	0
25	Romeu Duarte / Regina Amaral	Diametral	Convencional	29,6	2	0	0
26	Gumercinda Martins / Concesso Elias	Interbairros	Convencional	16,0	1	0	0
31	Antônio Venâncio / São José	Interbairros	Convencional	26,8	2	0	0
32	Romeu Duarte / São José	Diametral	Convencional	16,2	2	0	0
33	Gumercinda Martins / São José	Diametral	Convencional	19,6	2	0	0
34	Veredas / São José	Interbairros	Convencional	16,5	2	0	0
35	Cidade Nova / Faculdade Una	Interbairros	Convencional	39,4	0	0	0
36	Novais de Cima / São José	Interbairros	Convencional	41,0	0	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2020), a partir de dados da TRASNOVA (2020)

Na cidade não existe terminal para as linhas urbanas, assim elas operam de maneira independente deslocando o passageiro de sua origem ao seu destino, sem transbordo. Também não há vias segregadas ou faixas exclusivas para o transporte público, nem mesmo recuos para parada de ônibus, o que traz impactos tanto na operação quanto no trânsito da cidade.

No que se refere ao planejamento e gestão do serviço de transporte coletivo urbano, a lei municipal Nº 2.560/2018 estabelece que a Superintendência de Trânsito e Transporte é quem tem a competência para planejar e executar os projetos de transporte, bem como controlar e gerenciar o serviço, além de criar outras linhas. Contudo, devido à recente criação do órgão e em razão de entraves para municipalização do trânsito na cidade, há uma insuficiência na execução destas atividades, restando à concessionária do serviço executar este papel.

Segundo a concessionária, o sistema necessita especialmente de linhas mais diretas. Existem linhas antigas que foram incorporando itinerários como “puxadinhos” a fim de atender novas regiões de destino dos usuários. Isto fez com que as rotas se tornassem muito longas fazendo com que os passageiros deixassem de utilizar o ônibus público. Há rotas que ocasionam deslocamentos negativos aos usuários, com trajetos fazendo muitas voltas nos bairros, aumentando o tempo de deslocamento e a distância percorrida.

Ainda de acordo com o operador, a definição de rotas é feita percorrendo-se a cidade de carro e identificando-se onde existem bairros novos e áreas com densidade habitacional que represente uma demanda pelo serviço. Com isto, a concessionária verifica se alguma linha pode atender a região através da extensão do trajeto ou se é viável a criação de uma nova linha.

Já para a definição da frequência de viagens são checadas as horas de entrada e saída de funcionários das fábricas e empresas, além da medição visual da quantidade de pessoas dentro dos ônibus em circulação e da quantidade de pessoas nos pontos. Não se observa métodos específicos de planejamento, mas sim, estimativas baseadas na operação atual.

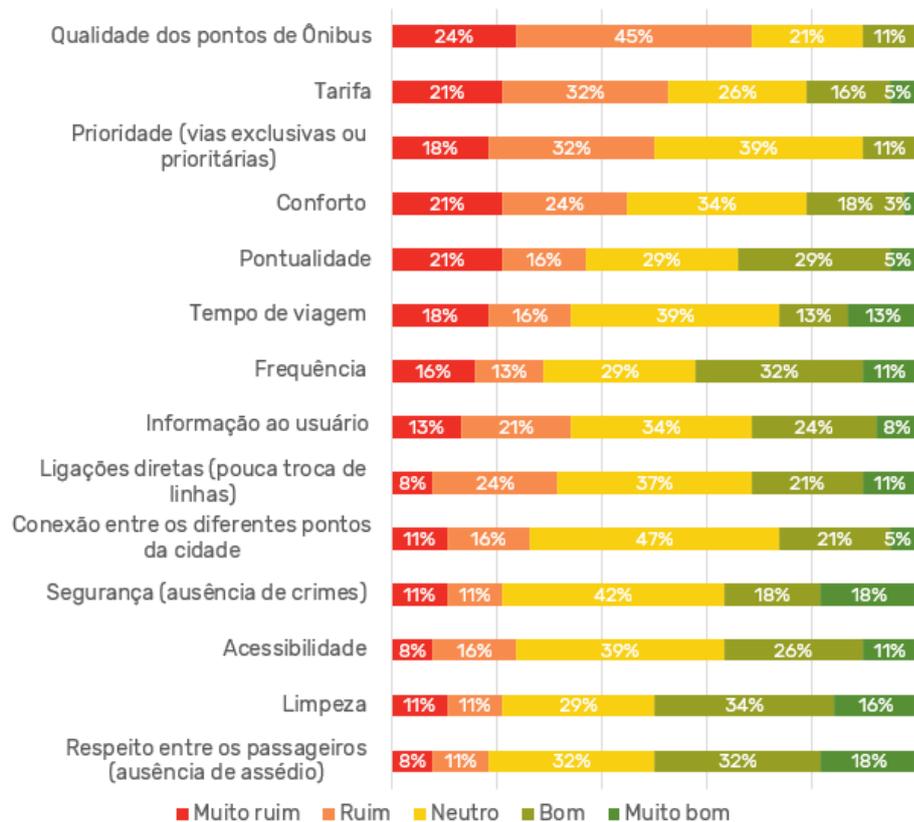
No que tange à percepção da população em relação ao serviço de transporte coletivo oferecido, duas pesquisas conduzidas durante o processo de elaboração do Plano Diretor Participativo (PDP) e do Plano de Mobilidade Urbana (PMU) do município refletem a falta de planejamento e a pouca confiabilidade no sistema. Uma pesquisa de opinião e uma pesquisa de mobilidade foram aplicadas ao longo do ano de 2020, de maneira exclusivamente online em função das restrições de isolamento e distanciamento impostas pela pandemia do COVID-19.

A primeira pesquisa, conduzida entre 19 de março e 17 de maio de 2020, resultou em 526 respostas válidas e trouxe informações de caráter qualitativo sobre diversos aspectos da cidade, entre eles: o transporte público municipal (NOVA SERRANA, 2020b). Segundo a pesquisa, em uma amostra onde 60% representam respondentes com renda familiar de até 3 salários-mínimos e 53% possuem entre 15 e 34 anos, um número muito pequeno utiliza o transporte coletivo para os deslocamentos frequentes, apenas 9% utilizam o serviço diariamente ou de segunda a sexta e 6% pelo menos uma vez na semana. Os demais nunca utilizam ou utilizam raramente.

A pesquisa ainda levantou quais os três principais aspectos que estes usuários consideravam mais importante nos deslocamentos por ônibus. Para 55% deles a conexão entre diferentes pontos da cidade era o fator mais relevante no transporte coletivo, 42% informaram ser a tarifa e 32% a pontualidade. Aspectos como ligações diretas ou tempo de viagem foram citados por 16% e 13% dos usuários, respectivamente.

Buscando entender como os usuários respondentes veem estes aspectos no serviço de transporte coletivo no município, a pesquisa solicitou a avaliação dos aspectos principais utilizando uma escala que vai do “muito ruim” ao “muito bom”. Conforme ilustrado na Figura 14, aspectos que tem relação mais próxima com a configuração das rotas, como os tempos de viagem ou a existência de ligações diretas (com poucos transbordos), aparecem avaliados como neutros ou ruim/muito ruim. São poucos os respondentes que consideram estes aspectos minimamente bons. No que se refere à conexão entre diferentes pontos da cidade, quase metade (47%) avaliou como neutro e 27% como ruim ou muito ruim.

Figura 14 - Pesquisa de opinião – Avaliação de aspectos do transporte público coletivo

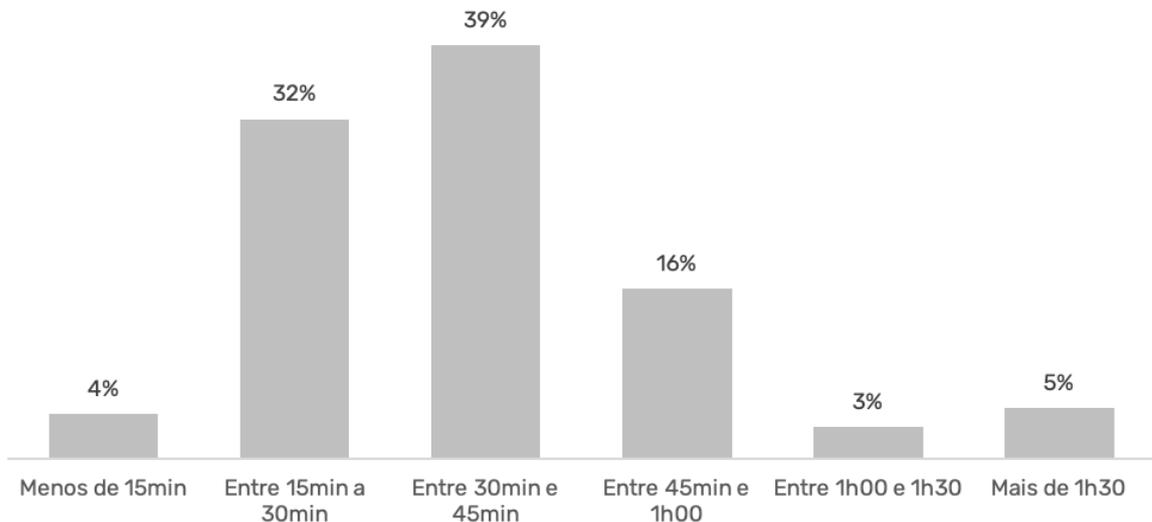


Fonte: Pesquisa de Opinião (NOVA SERRANA, 2020b)

A Pesquisa de Mobilidade, por sua vez, trouxe informações quantitativas sobre a mobilidade urbana em Nova Serrana revelando o comportamento das pessoas antes da pandemia do COVID-19. Aplicada entre 29 de junho e 08 de agosto de 2020, a pesquisa obteve 512 respostas (NOVA SERRANA, 2020a). Do total de viagens realizadas pelos respondentes durante uma semana, a pesquisa relevou que apenas 12,4% eram realizadas por meio do transporte coletivo, das quais mais da metade (62%) tinham como motivo o deslocamento a trabalho e 15% para estudo.

Das viagens realizadas, grande parte ocorria com tempo médio de viagem entre 30 e 45 minutos (39%), enquanto 32% delas acontecia entre 15 e 30 minutos, como ilustra a Figura 15.

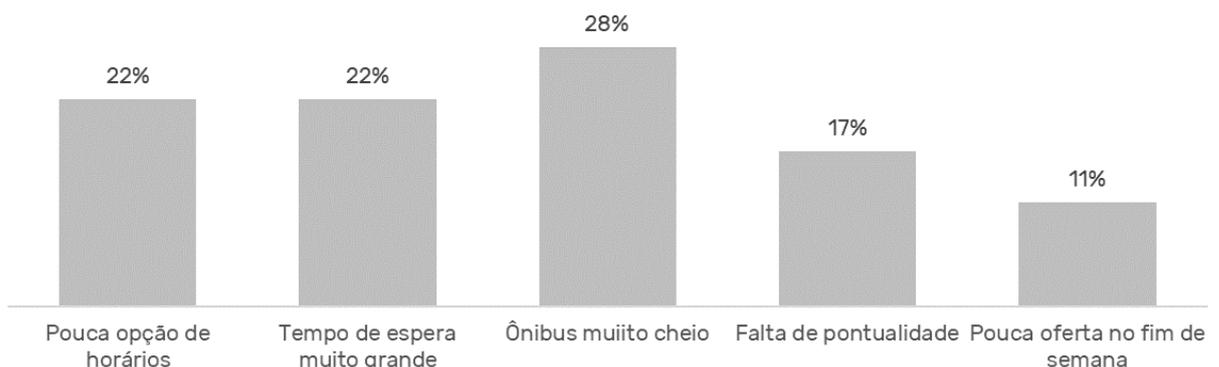
Figura 15 – Pesquisa de Mobilidade – Proporção dos tempos médios de viagem por transporte público



Fonte: Caderno de subsídios técnicos para leitura da cidade (NOVA SERRANA, 2020a)

Para a maioria dos usuários do serviço, respondentes da pesquisa, a oferta de transporte era suficiente (62%), contudo, ao investigar as principais reclamações relacionadas à operação, a pesquisa relevou que a superlotação dos veículos aparece em primeiro lugar, com 28%, seguida pela pouca opção de horários (22%), o elevado tempo de espera (22%), a falta de pontualidade (17%) e a pouca oferta de horários nos finais de semana (11%), conforme Figura 16.

Figura 16 - Tipos de reclamações do serviço de transporte público pelos usuários.



Fonte: Caderno de subsídios técnicos para leitura da cidade (NOVA SERRANA, 2020a)

Percebe-se que diversos aspectos do serviço de transporte público do município requerem maior atenção e indicam a necessidade de estudos mais aprofundados sobre as dinâmicas urbanas de Nova Serrana a fim de criar bases para um planejamento mais assertivo do transporte público urbano.

4.2 LEVANTAMENTO DE DADOS GEOGRÁFICOS E SOCIOECONÔMICOS

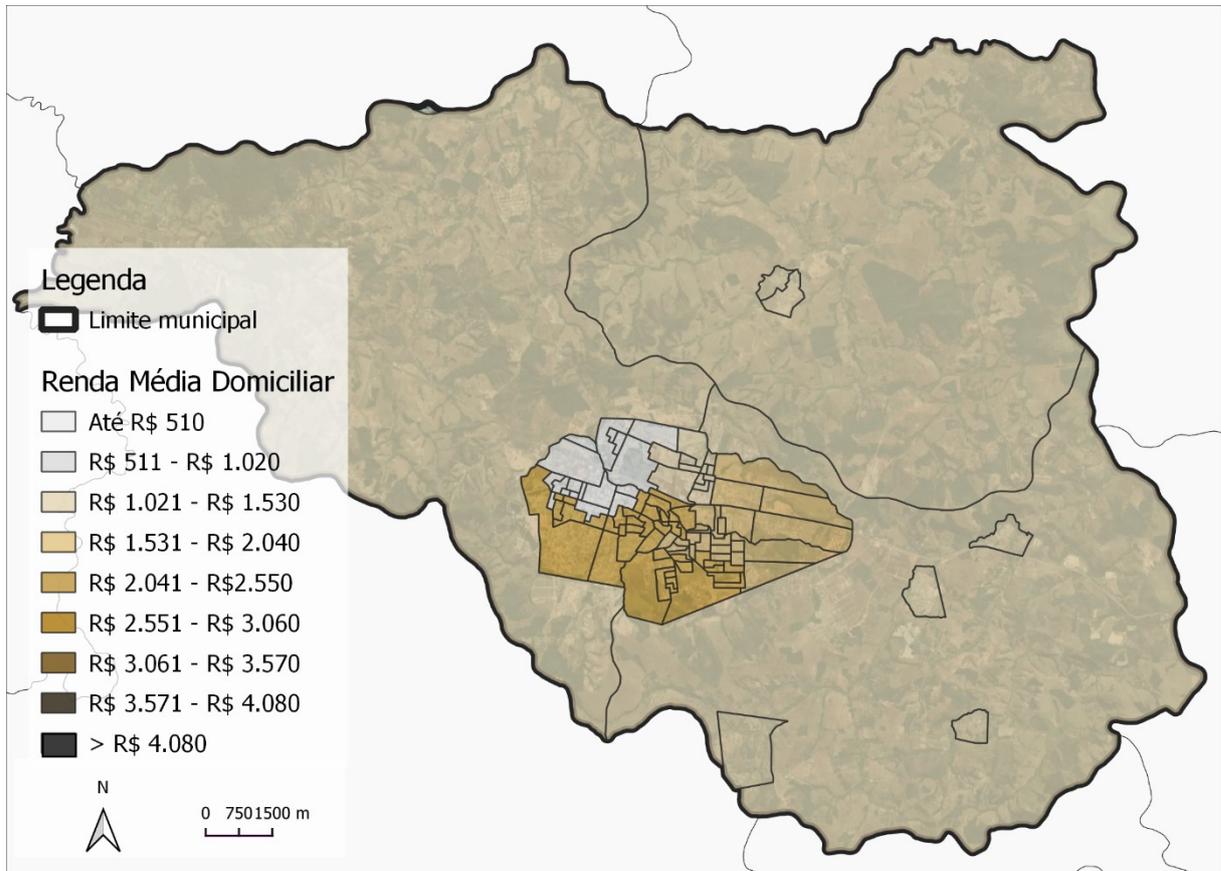
Nesta seção são apresentadas informações e mapas relativos à cada um dos critérios selecionados para análise.

4.2.1 Renda

O padrão observado na maioria das cidades brasileiras é que a utilização do ônibus é maior nas classes de renda mais baixa, enquanto nas faixas de alto rendimento é predominante o uso de modos de transporte individuais motorizados. A pesquisa de mobilidade aplicada em Nova Serrana no ano de 2020 revelou que o uso do transporte coletivo na cidade segue a mesma tendência, ainda que a utilização do ônibus seja baixa entre os respondentes.

Para construção do mapa relativo à renda média familiar mensal utilizou-se o censo demográfico e a base de informações de setores censitários do IBGE disponível para o ano de 2010. A partir de dados da planilha “DomicilioRenda” dividiu-se o total do rendimento nominal mensal dos domicílios particulares pela soma do número de domicílios particulares para cada setor censitário. O resultado está ilustrado na Figura 17. Dado que o salário-mínimo em julho de 2010, data da coleta das informações, era de R\$ 510,00, o mapa ilustra a distribuição de renda de acordo com a quantidade de salários-mínimos.

Figura 17 - Renda média domiciliar



Fonte: Elaborado pelo autor (2021), a partir de dados do IBGE (2010a), IBGE (2010b), IBGE (2015)

De acordo com o mapa, grande parte dos domicílios de maior renda concentram-se na região central e na porção sul da área urbanizada, locais onde estão instalados comércios e serviços bem como loteamentos e condomínios de mais alto padrão, respectivamente. A região norte da área urbana, de ocupação mais recente, apresentou maior concentração de domicílios com renda de até dois salários-mínimos.

É importante observar que Nova Serrana passou por um crescimento exponencial nos últimos dez anos, como apontado no item 4.1. Isto reflete em mudanças na configuração urbana, de moradia e conseqüentemente impacta na distribuição de renda pelo território. Na indisponibilidade de versões mais recentes do censo populacional e de demais fontes de informação, optou-se por dar continuidade às análises com os próprios dados de 2010.

4.2.2 Densidade Populacional

A densidade populacional, ou população relativa, é expressa pela relação entre a população e a superfície do território. Neste estudo, a densidade populacional foi calculada considerando como a menor unidade territorial os setores censitários de 2010.

Tendo em vista a variação populacional observada em Nova Serrana, efetuou-se uma atualização do número de habitantes através de um procedimento metodológico que partiu de arquivos vetoriais da base de faces de logradouros de 2020, elaborada pelo IBGE. Esta base contém dados geoespaciais das linhas que representam graficamente os arruamentos das áreas urbanas e de aglomerados rurais e contém atributos relativos à estrutura territorial que são elencados no Quadro 9.

Quadro 9 - Atributos - Base de face de logradouros

Campo	Tipo	Tamanho	Descrição
CD_SETOR	C	15	Identificação do Setor
CD_QUADRA	C	3	Número da Quadra
CD_FACE	C	3	Número da Face
NM_TIPO_LOG	C	20	Tipo do segmento do Logradouro: RUA, AVENIDA, TRAVESSA etc.
NM_TITULO_LOG	C	30	Título do segmento do Logradouro (Almirante, Visconde etc.): ABADE ABADESSA ACADEMICO etc.
NM_NOME_LOG	C	60	Nome do segmento do Logradouro
TOT_RES	N	3	Total de espécie residencial
TOT_GERAL	N	3	Total de espécies

Fonte: IBGE (2020)

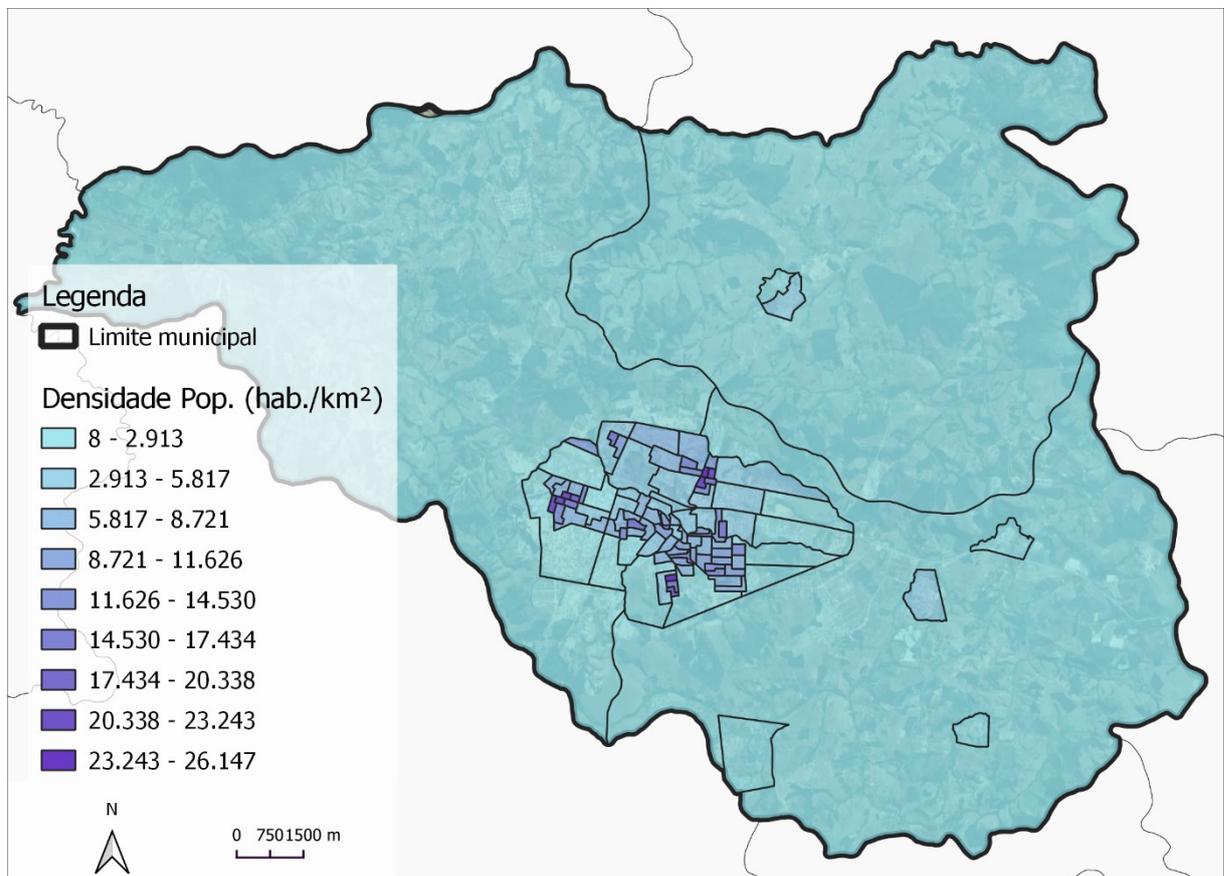
Desta base tomou-se o atributo “TOT_RES” como o dado mais atualizado do número de unidades residenciais por faces de quadra. Assumiu-se como premissa para a estimativa, que o número de pessoas por domicílio em cada setor censitário se manteve desde o censo de 2010 e que o aumento populacional ocorreu apenas pelo aumento de domicílios, sem variação na quantidade de pessoas em cada residência.

Dado isto, vinculou-se o atributo referente ao total de espécies residenciais de cada feição a um setor censitário utilizando a ferramenta “unir atributos por posição” disponível no QGIS. No entanto, antes desta associação foi necessário transformar a camada de faces de quadra em uma camada de pontos, dado que uma linha pode estar em dois setores ao mesmo tempo, mas um ponto não. A camada de faces de quadra foi transformada em uma camada de

pontos a partir da operação “centroides” do QGIS, ou seja, as linhas são transformadas em seus centroides.

Com os valores do total residencial de cada feição vinculados a um setor censitário, efetuou-se a sua soma e posterior multiplicação pelo número médio de pessoas por domicílio daquele setor (dados do Censo de 2010), obtendo, assim, a estimativa populacional para 2020 para cada setor censitário. A densidade populacional, por sua vez, é a razão da população pela área do setor censitário, em quilômetros quadrados, e está ilustrada na Figura 18.

Figura 18 - Densidade Populacional (hab./km²)



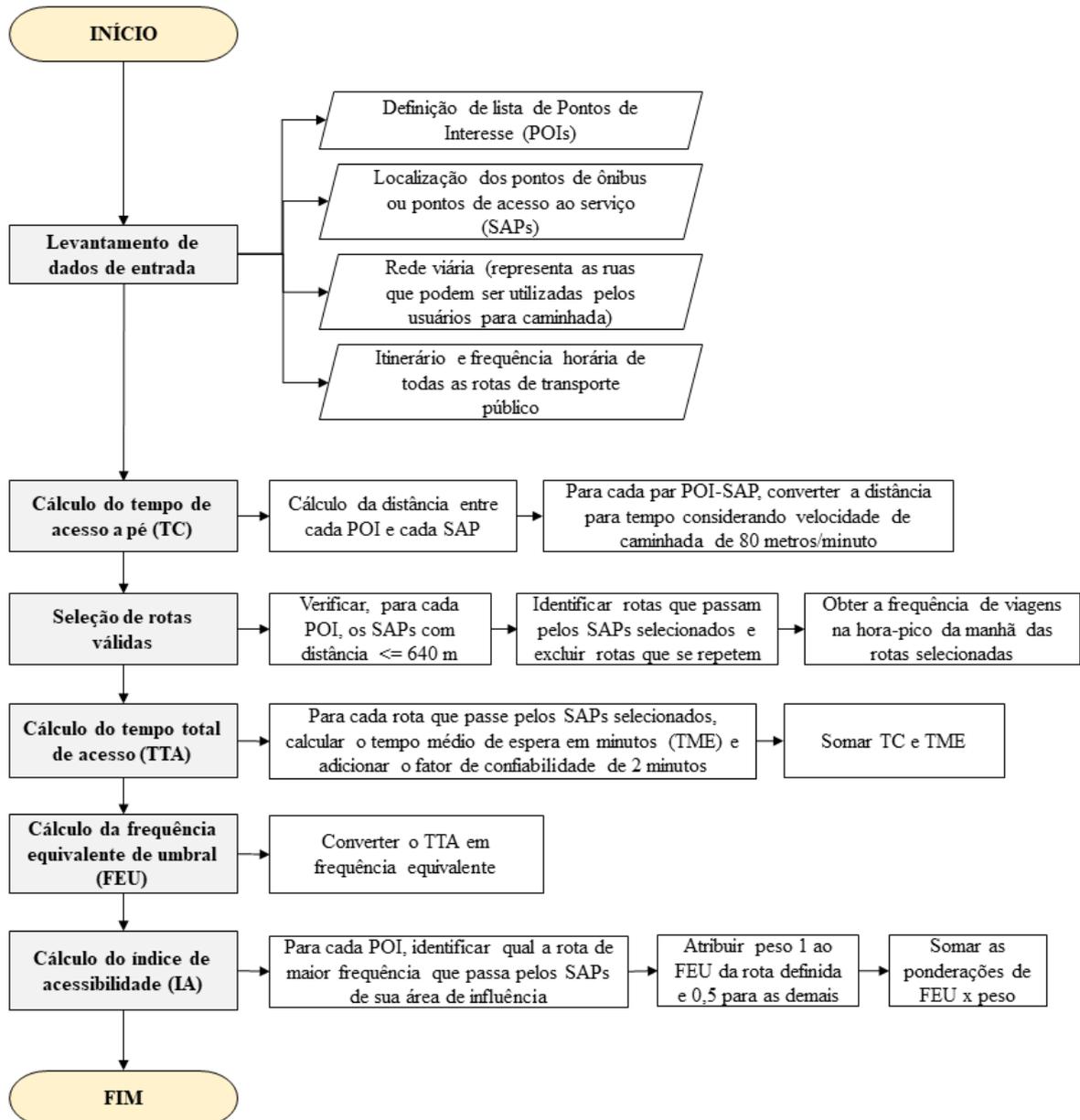
Fonte: Elaborado pelo autor (2021), a partir de dados do IBGE (2010a), IBGE (2010b), IBGE (2015)

4.2.3 Índice de Acessibilidade

Para o cálculo da acessibilidade do transporte coletivo em Nova Serrana, utilizou-se a metodologia *Public Transport Access Level* (PTAL), que considera tanto o tempo de caminhada até os pontos de ônibus quanto o tempo médio de espera pelo serviço de transporte coletivo em

diferentes pontos do município. A Figura 19 ilustra o fluxograma de cálculo do índice de acessibilidade e na sequência são descritas as etapas realizadas para elaboração do mapa.

Figura 19 - Fluxograma de cálculo do índice de acessibilidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2021),

4.2.3.1 Seleção dos Pontos de Interesse (POIs)

Pontos de Interesse ou POIs são os locais para os quais se deseja calcular a acessibilidade e podem ser casas, escritórios, ou qualquer outro ponto da cidade. Para cada um deles será verificada a densidade da rede de transporte público em sua proximidade, a oferta de serviço de ônibus (frequência horária) e os pontos de ônibus que ficam próximos e pelos quais qualquer usuário pode acessar o sistema de transporte coletivo.

A definição dos pontos de origem para os quais serão calculados os valores de acessibilidade pode ser feita de duas maneiras: por pontos-base ou por região. A seleção por pontos-base significa uma análise muito mais detalhada dada a possibilidade de seleção de inúmeros pontos como, por exemplo, cada quarteirão de uma cidade. Esse método requer, contudo, grande capacidade de processamento de dados e tecnologia para o cálculo de milhares de rotas possíveis com muitas interações.

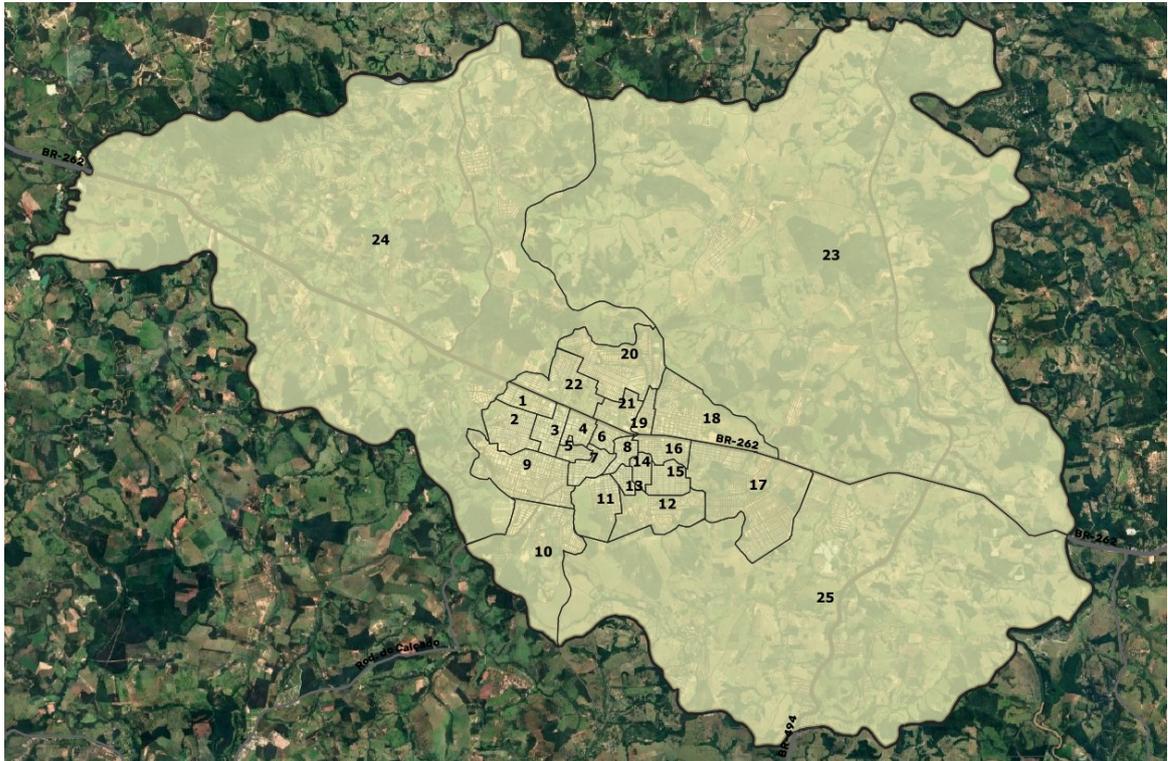
Já a análise por região trata de uma abordagem simplificada que considera um ponto de saída em cada região da cidade. Essa análise necessita de informações estatísticas do comportamento da cidade, de modo a permitir a definição de regiões segundo as características da população.

Para a finalidade deste trabalho, optou-se pela seleção simplificada dos pontos de interesse. Para tal, considerou-se como pontos de saída o centróide de cada zona de tráfego de Nova Serrana, ou, quando pertinente, as áreas mais adensadas nas zonas de tráfego com ocupação muito dispersa. Para a determinação dos centróides foi utilizada a ferramenta “Centróides do polígono” do software QGIS.

As zonas de tráfego são segmentações do território elaboradas a partir de limites políticos, históricos, linhas de contorno, naturais, censitários, dentre outros (Castro, 2019), e que são comumente utilizadas em modelos de planejamento de transporte. As zonas de tráfego de Nova Serrana seguem os limites dos setores censitários definidos pelo IBGE, com ajustes em alguns limites para incluir áreas ocupadas após a última atualização do censo, além do agrupamento de alguns setores que apresentam características homogêneas em relação ao sistema de transporte.

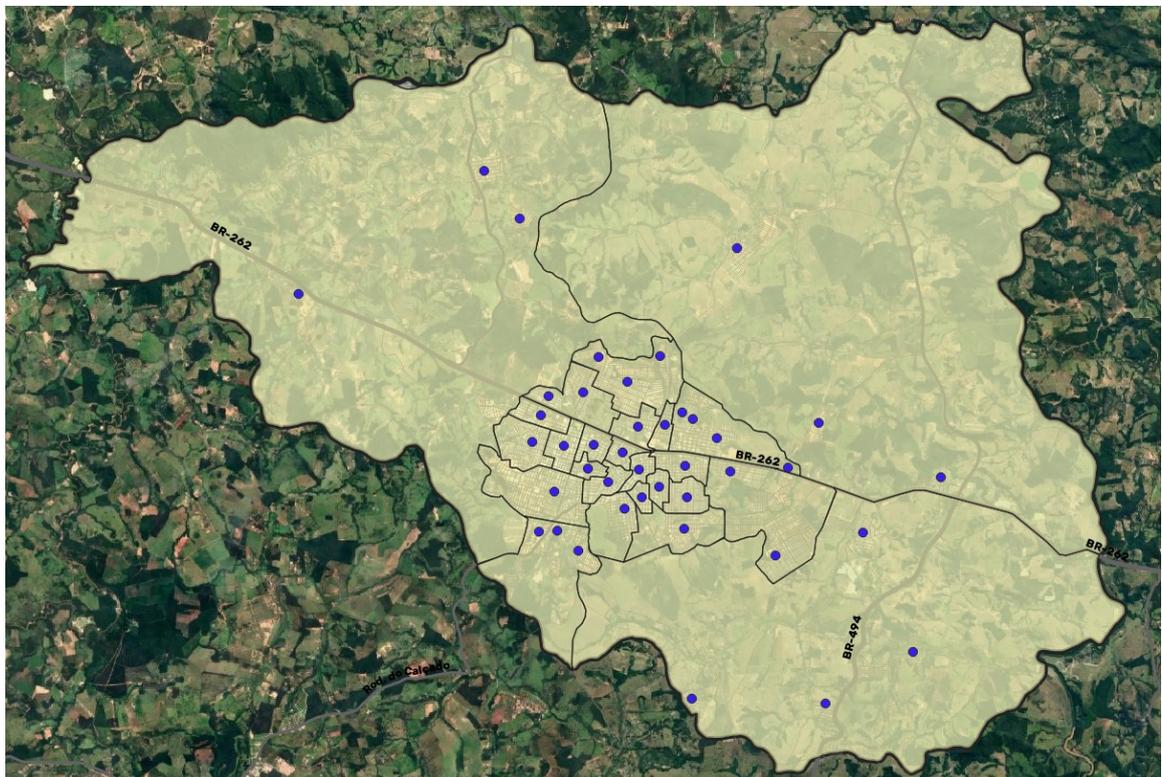
A Figura 20 ilustra a delimitação das 25 zonas de tráfego definidas, as quais agrupam os 104 setores censitários do município (IBGE, 2010b) e na Figura 21 estão indicados os 41 pontos de interesse (POIs) que serão considerados para o trabalho.

Figura 20 - Limite das Zonas de Tráfego



Fonte: Elaborado pelo autor (2021), a partir de dados do IBGE (2010b) e IBGE (2015)

Figura 21 - Localização dos POIs dentro das Zonas de Tráfego



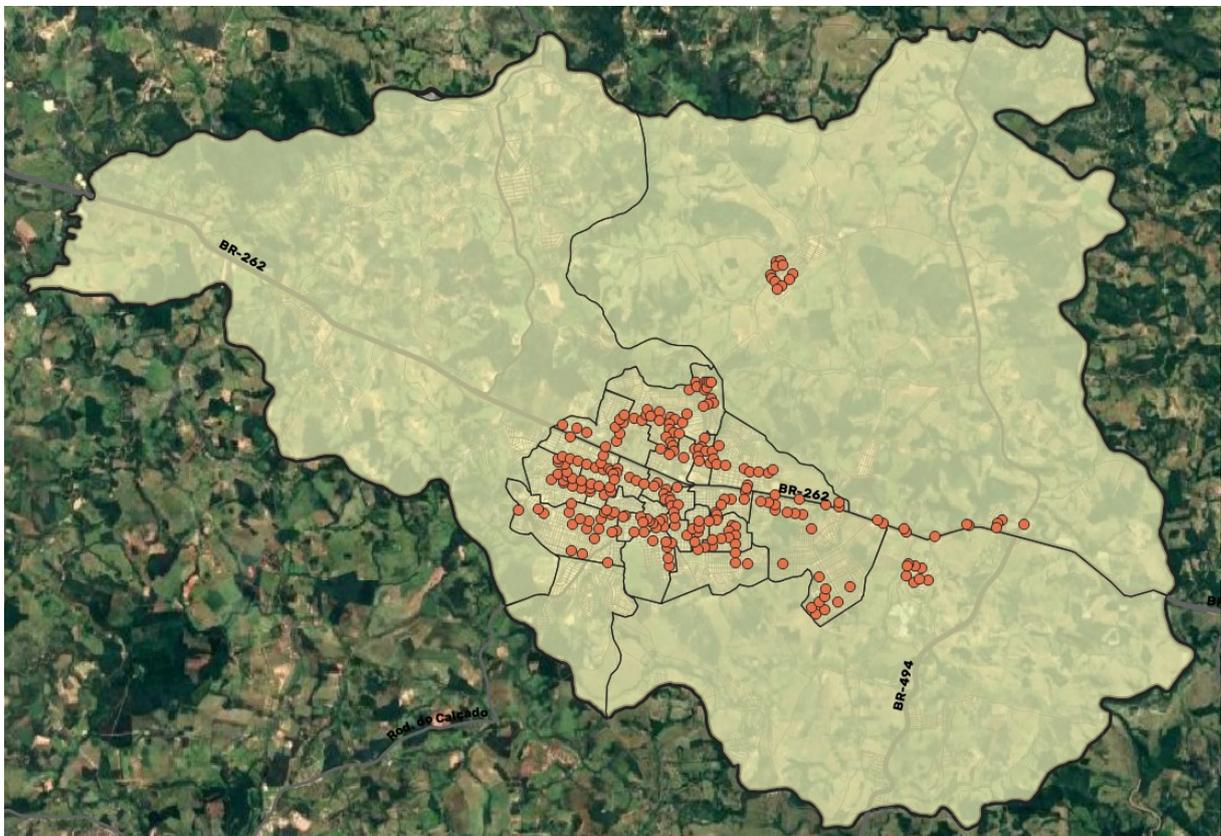
Fonte: Elaborado pelo autor (2021), a partir de dados do IBGE (2010b) e IBGE (2015).

4.2.3.2 Alocação dos Pontos de Acesso ao Serviço (SAP)

Os dados sobre a localização dos pontos de ônibus foram fornecidos pela Prefeitura Municipal que contou com o apoio da operadora do serviço de transporte coletivo, a TRANSNOVA, para o levantamento. Ao todo, foram identificados 359 locais de acesso ao sistema. Além desses, outros 24 pontos foram identificados e não puderam ser precisamente localizados geograficamente por situarem-se em áreas rurais. Desses, 10 atendem a zona de tráfego 24, 2 pontos atendem a zona 10 e 12 atendem a zona de tráfego 25. Todos os locais foram incluídos nos cálculos de acessibilidade.

Para aplicação do método PTAL, paradas de ônibus localizadas em ambos os lados da via representam um único ponto de acesso ao serviço, uma vez que o usuário utiliza um ou outro ponto a depender do sentido da rota de desejo. Como o método não distingue o sentido das rotas no cálculo, atribuiu-se, nestes casos, um ponto central que representa ambos os SAPs. Assim, a partir da camada original de dados contendo 359 pontos elaborou-se uma nova camada de SAPs que resultou em 239 pontos de ônibus, representados na Figura 22.

Figura 22 - Localização dos pontos de acesso ao serviço (SAPs)



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4.2.3.3 Cálculo do Tempo de Acesso a pé

A partir das duas camadas geradas: POI e SAP, utilizou-se o QGIS para calcular a distância entre cada POI até cada um dos pontos de ônibus unificados (SAPs). O cálculo foi feito utilizando a ferramenta “caminho mais curto” que retorna a distância em metros entre dois pontos, considerando o sistema viário existente.

Os SAPs com distância de caminhada maior que 640m foram desconsiderados no cálculo de acessibilidade dos POIs, pois entende-se que nestes casos as pessoas preferam utilizar outros meios de locomoção como opção ao transporte coletivo. Assim, para locais que possuam todos os pontos de ônibus distantes mais que 640m, o índice de acessibilidade resultante é zero.

Para as localidades rurais das zonas de tráfego 10, 24, e 25 cujos pontos de ônibus não puderam ser alocados no mapa, calculou-se uma distância média entre SAPs a partir da área ocupada (construída) em cada localidade rural e os pontos que o atendem. A Equação 10 traduz como o cálculo foi realizado.

$$\text{distância média entre SAPs (m)} = \sqrt{\frac{2 * \text{área edificada}}{n^{\circ} \text{ de SAPs}}} \quad (10)$$

Uma vez calculadas as distâncias entre os POIs e SAPs válidos, o tempo de caminhada a pé (TC) foi obtido considerando que a velocidade de deslocamento do usuário é de 80 metros/minuto, conforme aponta o método PTAL. Desta maneira, para uma distância máxima de 640m, o tempo de caminhada é de 8 minutos.

4.2.3.4 Identificação de Rotas Válidas e Frequências

Utilizando o software QGIS, alocou-se os itinerários das linhas de ônibus e, para cada trajeto, elaborou-se um buffer de 15m a partir do eixo da rota. Esse *buffer* foi útil para identificar por quais pontos de ônibus passava o trajeto da rota. A contagem de quantos e quais pontos existiam em cada rota foi feita utilizando a ferramenta “contar pontos no polígono”.

Para este exercício não se levou em consideração, portanto, em quais pontos a linha para, e sim, quais pontos existem ao longo do seu trajeto. Considerou-se que os ônibus podem parar em todos os SAPs disponíveis na rota.

A metodologia PTAL considera que, para cada POI, as informações da rota são consideradas apenas uma vez. Quando uma rota ocorre duas ou mais vezes – porque atende mais de um SAP dentro da área de influência do POI - o SAP mais próximo do POI é usado. Esse procedimento é feito para evitar que a oferta (frequência) de uma mesma linha seja considerada em duplicidade, isto é, ao dizer que a densidade de linhas no POI é maior que a que de fato é, o tempo médio de espera do usuário é menor, o que resultaria em um índice de acessibilidade maior, mascarando o resultado real. Assim, foram excluídas rotas repetidas que atendiam um mesmo POI por SAPs diferentes, mantendo-se apenas as informações da rota para o SAP mais próximo.

Identificadas as rotas válidas para cada POI buscou-se as maiores frequências entre ambos os sentidos (ida e volta) de cada linha. Os valores utilizados se referem às viagens realizadas no período entre 06h e 07h que corresponde ao pico da manhã com a maior oferta de serviço.

O quadro com a frequência de todas as linhas por sentido e hora do dia encontra-se no Apêndice C.

4.2.3.5 Cálculo do Tempo Total de Acesso e Frequência de Porta Equivalente (EDF)

Com a identificação das rotas que atendem cada POI e sua respectiva frequência na hora pico, calcularam-se os tempos médios de espera (TME) e os tempos totais de acesso (TTA), conforme as Equações 2 e 3, para cada combinação válida de POI e SAP.

$$TTA = TC + TME \quad (2)$$

$$TME = 0,5 * \frac{60}{frequência} \quad (3)$$

Ao TME foi acrescido o fator de confiabilidade de 2 minutos a fim de compensar a falta de regularidade do serviço.

Por fim, obteve-se as frequências de porta equivalente (FEU) através da Equação 4.

$$FEU = \frac{30}{TTA} \quad (4)$$

4.2.3.6 Cálculo do Índice de Acessibilidade (IA) para cada POI

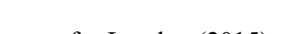
Utilizando uma ponderação nos valores de FEU para cada POI, onde para o valor mais alto atribui-se peso 1 e, para os demais, peso 0,5, calculou-se o índice de acessibilidade para cada ponto de origem a partir da Equação 5.

$$IA_{POI} = FEU_{MÁX} + 0,5 * \sum \text{ todos os outros FEUs} \quad (5)$$

A escala utilizada no método para classificar o nível de acessibilidade varia de 1 a 6, representando um nível de acesso que vai do “muito pobre” ao “excelente”. O quadro da Figura 23

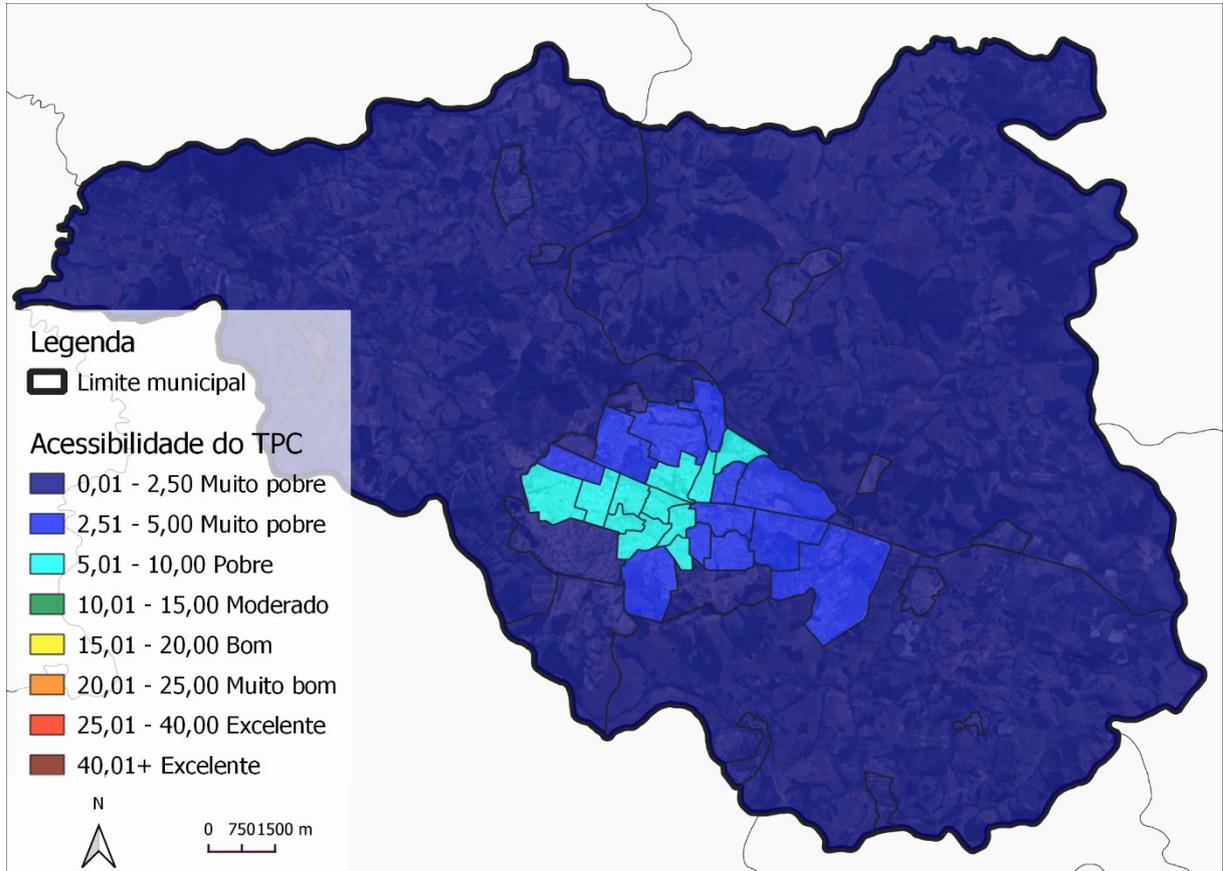
Figura 23, ilustra como é realizada a conversão de cada faixa de índice para o PTAL e o mapa da Figura 24 traz os resultados por zona de tráfego.

Figura 23 – Conversão do Índice de Acessibilidade para PTAL

PTAL	Faixa de Índice	Cor do Mapa	Descrição
1a (baixo)	0,01 - 2,50		Muito pobre
1b	2,51 - 5,00		Muito pobre
2	5,01 - 10,00		Pobre
3	10,01 - 15,00		Moderado
4	15,01 - 20,00		Bom
5	20,01 - 25,00		Muito bom
6a	25,01 - 40,00		Excelente
6b (alto)	40,01 +		Excelente

Fonte: Adaptado de Transport for London (2015)

Figura 24 – Nível de acessibilidade do Transporte Coletivo em Nova Serrana



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Todas as áreas foram classificadas com nível de acesso pobre ou muito pobre. O resultado reflete problemas no sistema de transporte como: a baixa frequência de linhas, a falta de opções de linhas passando por um mesmo ponto para alcançar destinos diversos ou, ainda, a localização de pontos de ônibus muito distantes do local de origem das viagens representando tempos de caminhada muito longos que desestimulam o uso do transporte coletivo.

4.2.4 Diversidade de Uso do Solo

O mapa de diversidade de uso do solo foi elaborado levando em consideração as regiões povoadas do município, sejam elas rurais ou urbanas, e partiu do cadastro de imóveis disponibilizado pela Prefeitura de Nova Serrana. O cadastro contém o registro de 65.536 imóveis com datas de cadastro entre janeiro de 2010 a abril de 2020 e traz uma série de informações relacionadas à localização e características dos imóveis como área construída,

ocupação do lote, utilização do imóvel, existência de muro/cerca e passeio, topografia, topologia entre outras.

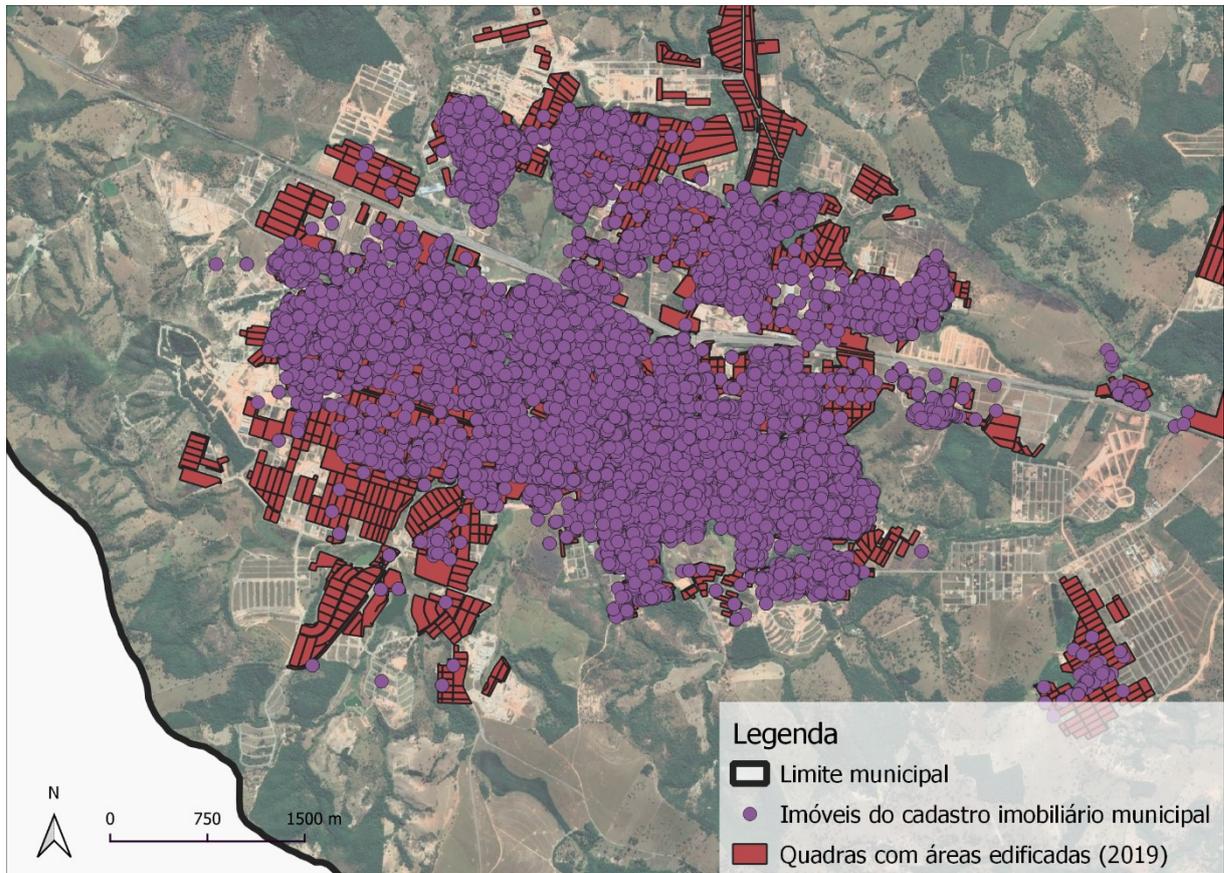
Para a elaboração do mapa foi utilizada a informação sobre “Utilização do Imóvel”, a qual trazia a seguinte classificação: sem uso, residencial, comercial, serviços, serviço público, industrial e religioso.

A espacialização dos imóveis com seu respectivo uso se deu através da conversão de seus endereços em coordenadas de latitude e longitude. Para isso, elaborou-se um *script* em linguagem de programação Python que executa uma conexão com a API (*Application Programming Interface*) do Google Maps e converte cada endereço em coordenadas geográficas decimais, as quais foram posteriormente convertidas para o formato de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) a fim de trabalhar os dados no software QGIS.

Com a planilha de coordenadas em UTM, gerou-se uma camada de pontos no QGIS, representativo dos imóveis cadastrados na base da Prefeitura. Considerou-se para este estudo, apenas os cadastros ativos. Uma vez que a elaboração do mapa precisa levar em conta uma unidade territorial para a análise, optou-se por associar os pontos obtidos ao *shapefile* relativo ao levantamento de quadras com áreas edificadas. O *shapefile* representa o levantamento de quadras a partir de imagem de satélite para o ano de 2019 e foi obtido junto à equipe que elaborou o levantamento e conduziu a atualização do Plano Diretor do município entre março de 2020 e junho de 2021.

A Figura 25 ilustra o cruzamento realizado e demonstra que a base de cadastro de imóveis não está completa, uma vez que indica quadras com áreas edificadas, mas cujos imóveis não constam na base. Sob esse aspecto, entende-se que a fragilidade da base pode trazer distorções aos resultados. Além das novas áreas urbanas não estarem inseridas no cadastro, há a falta de atualização por parte da Prefeitura das alterações de usos dos imóveis, que eventualmente podem ocorrer com o passar dos anos. Contudo, por serem os registros mais recentes disponíveis, considerou-se a sua utilização adequada para a análise aqui proposta.

Figura 25 - Cruzamento de imóveis do cadastro municipal com quadras edificadas



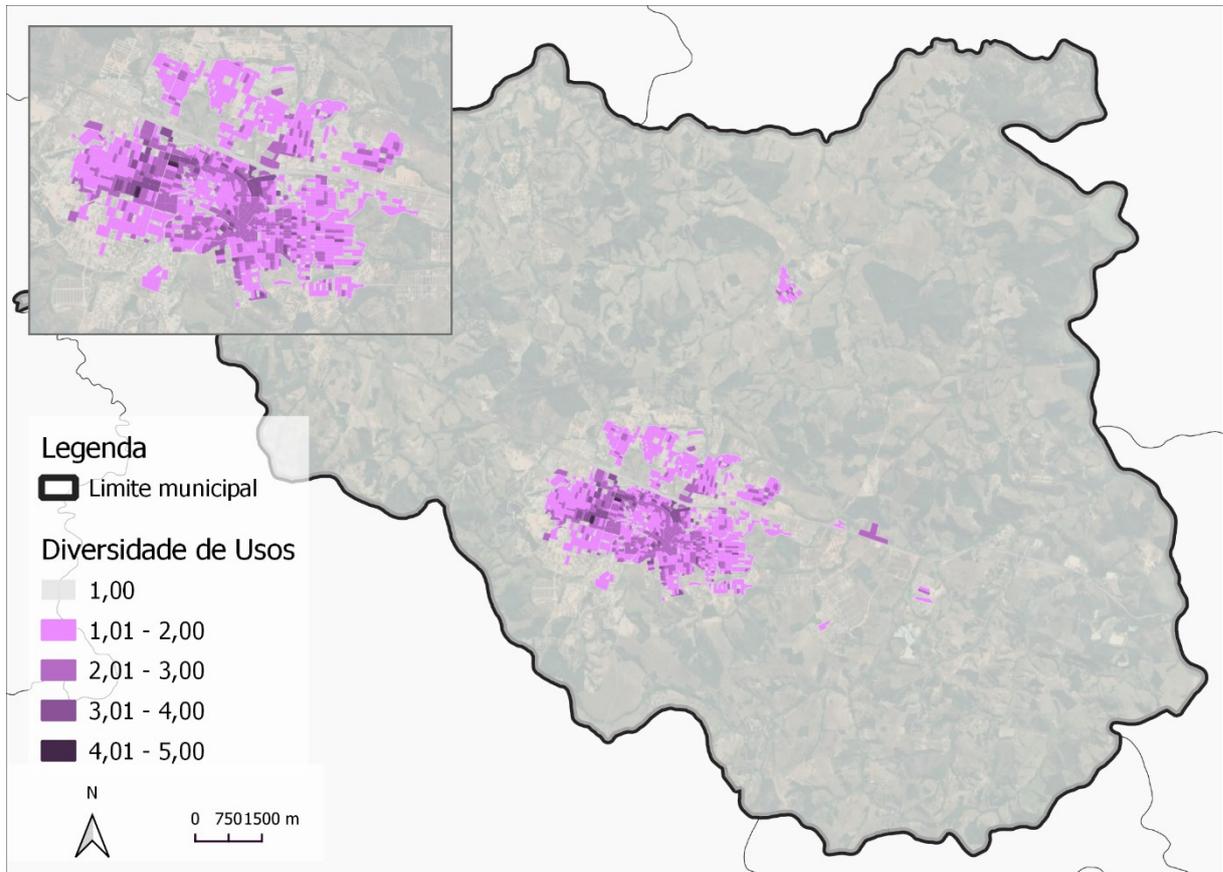
Fonte: Elaborado pelo autor (2021), a partir de dados do Cadastro Municipal de Imóveis (NOVA SERRANA, 2020c)

Na etapa seguinte, levantou-se a quantidade de imóveis e seus usos para cada quadra, e foi utilizada uma planilha em Excel para calcular a proporção, em percentual, de cada tipo de uso por quadra. Calculada a proporção, aplicou-se o Índice de Gini-Simpson e efetuou-se a sua conversão para a *True Diversity* (Diversidade Real) de modo a encontrar uma medida que permitisse a adequada classificação da unidade geográfica (quadra) quanto à diversidade de usos ali observada.

A aplicação do método retornou valores que variam de 1 a 5, onde 1 representa uma baixa diversidade de usos com uma proporção de 100% de uma espécie de uso, sendo outros usos inexistentes, enquanto 5 indica uma proporção de usos perfeitamente distribuída. Para as áreas além da delimitação de quadras, ocupadas por vegetação, agricultura, vazios urbanos e outros usos, atribuiu-se valores de diversidade igual a 1 em virtude de representarem usos que não se aplicam ao objetivo deste estudo.

A Figura 26 ilustra o mapa resultante de diversidade de usos.

Figura 26 - Diversidade de usos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021), a partir de dados do IBGE (2015) e NOVA SERRANA (2020c)

Vale ressaltar que os valores obtidos para *True Diversity* ilustrados na Figura 26 são equivalentes ao número de espécies de uso, isto é, regiões com TD igual a 4 possuem o dobro de diversidade que uma área com TD igual a 2.

4.2.5 Posse de veículo individual motorizado

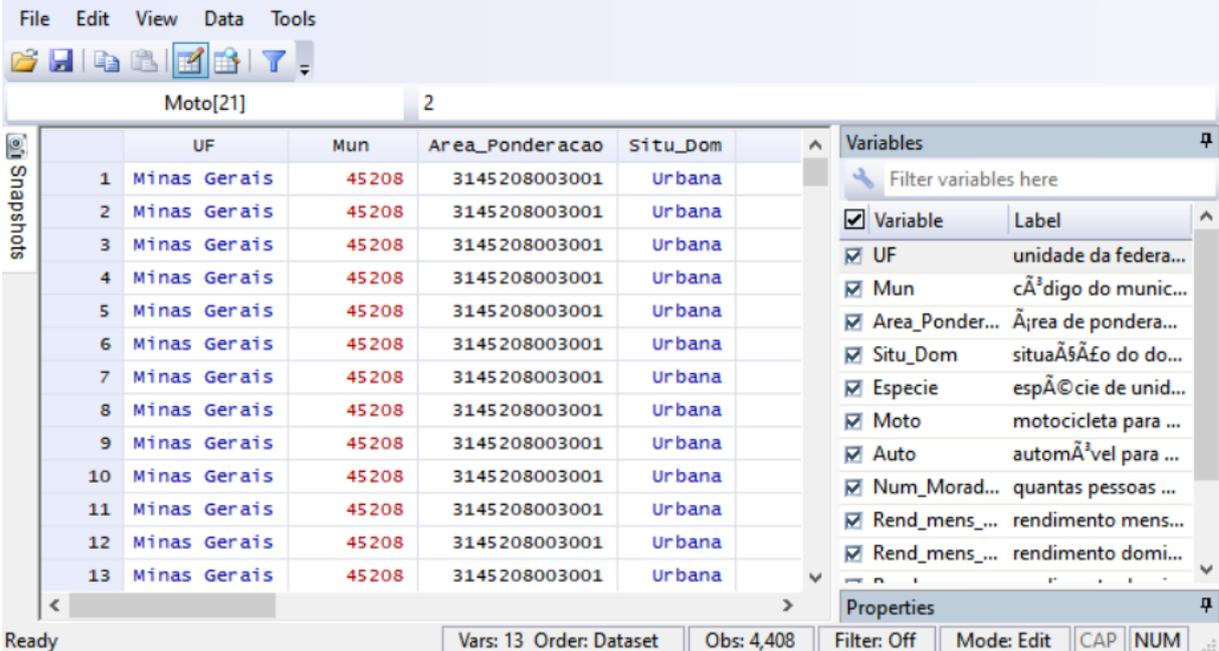
O levantamento de informações sobre posse de veículo individual motorizado baseou-se na coleta de dados sobre a existência de automóvel ou motocicleta para uso particular nos domicílios.

Para tanto, foram utilizados os microdados do censo demográfico realizado pelo IBGE em 2010. A base consiste no menor nível de desagregação dos dados da pesquisa e são apresentados sob a forma de códigos numéricos que retratam o conteúdo dos questionários, preservando o sigilo estatístico das respostas. Dessa forma, os dados são disponibilizados em

arquivos no formato “.txt” juntamente com uma documentação auxiliar que fornece a descrição das variáveis e particularidades da coleta.

Utilizou-se para a leitura, extração e manipulação dos dados de interesse, o software estatístico Stata 13.0, bem como a ferramenta Data Zoom, que disponibiliza pacotes para auxílio à leitura de pesquisas domiciliares específicas do IBGE. Na Figura 27 é possível observar uma amostra dos dados extraídos.

Figura 27 - Dataview do software Stata com extração dos microdados de interesse



The screenshot shows the Stata software interface. The main window displays a data view with 13 rows of data. The columns are labeled UF, Mun, Area_Ponderacao, and Situ_Dom. The right sidebar shows a list of variables with checkboxes for selection. The status bar at the bottom indicates 'Vars: 13 Order: Dataset Obs: 4,408 Filter: Off Mode: Edit CAP NUM'.

UF	Mun	Area_Ponderacao	Situ_Dom
Minas Gerais	45208	3145208003001	Urbana
Minas Gerais	45208	3145208003001	Urbana
Minas Gerais	45208	3145208003001	Urbana
Minas Gerais	45208	3145208003001	Urbana
Minas Gerais	45208	3145208003001	Urbana
Minas Gerais	45208	3145208003001	Urbana
Minas Gerais	45208	3145208003001	Urbana
Minas Gerais	45208	3145208003001	Urbana
Minas Gerais	45208	3145208003001	Urbana
Minas Gerais	45208	3145208003001	Urbana
Minas Gerais	45208	3145208003001	Urbana
Minas Gerais	45208	3145208003001	Urbana
Minas Gerais	45208	3145208003001	Urbana

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

As informações obtidas são relativas aos resultados do Questionário da Amostra que dizem respeito às características dos domicílios, às condições de moradia e aos níveis de qualidade de vida da população. Por ser um questionário extenso, ele não é aplicado a todo universo de domicílios recenseados, mas sim a uma amostra dele. Para Nova Serrana, de 22.101 domicílios recenseados, 2.204 foram escolhidos para aplicação da pesquisa, o que representa uma fração efetiva de 9,97%. Além disso, as respostas são apresentadas de acordo com áreas de ponderação (aponds), uma unidade geográfica formada por um agrupamento de setores censitários, que representa a menor unidade de identificação dos dados amostrais a fim de preservar o sigilo dos informantes. Desta forma, o mapa representativo da posse de veículos foi construído considerando esta unidade territorial.

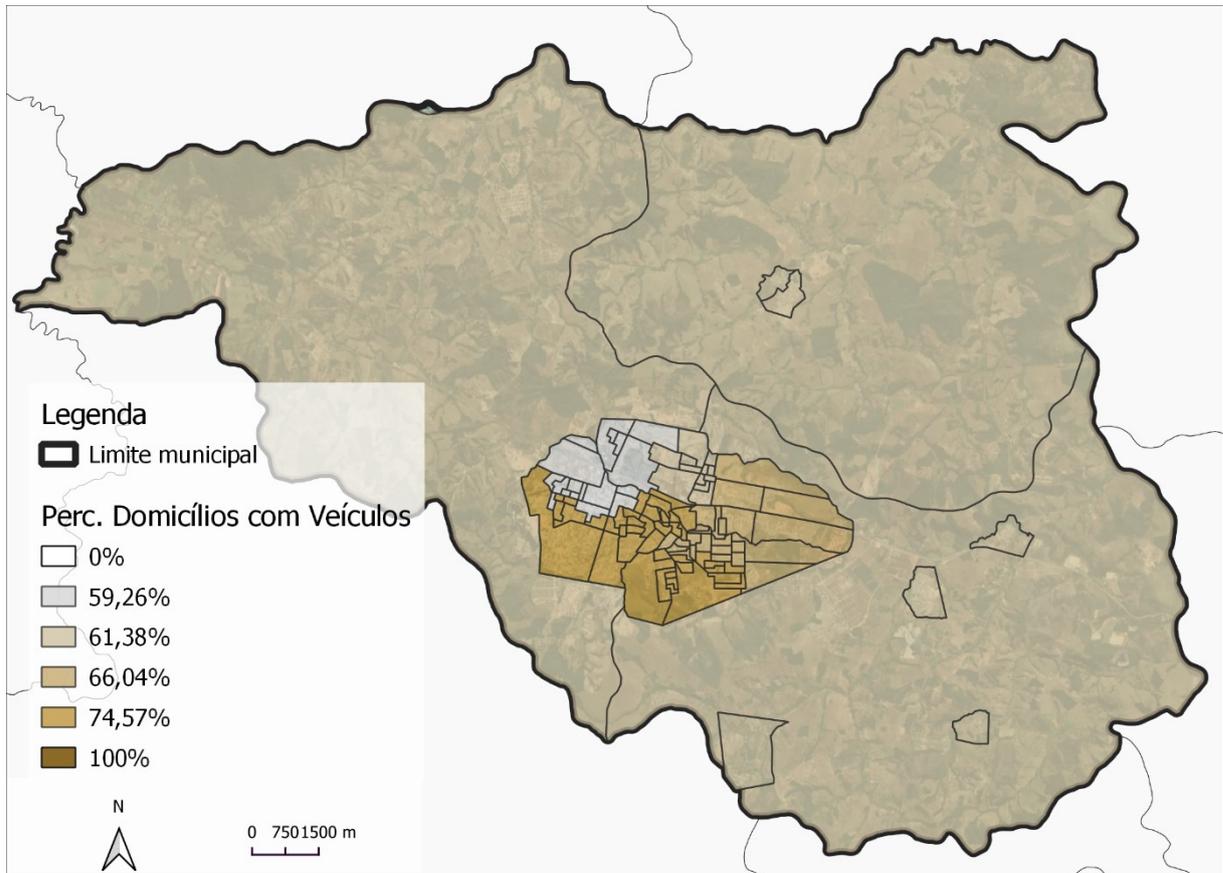
Na base de informações utilizada, Nova Serrana foi dividida em quatro áreas de ponderação, que englobam 104 setores censitários. Para cada área de ponderação calculou-se a quantidade de domicílios em que um de seus moradores declarou possuir motocicleta ou automóvel para uso particular para passeio ou locomoção de seus moradores para trabalho ou estudo. Vale ressaltar aqui que a informação é coletada somente para domicílios particulares permanentes (2.186 domicílios na amostra). A partir desse valor calculou-se o percentual de domicílios com posse de algum tipo de veículo, por área de ponderação. Os resultados são apresentados na Tabela 2 e na Figura 28.

Tabela 2 – Dados de domicílios com existência de veículos

Área de ponderação	Domicílios com Motocicleta	Domicílios com Automóveis	Somatório	Total de domicílios da amostra	% de domicílios com existência de veículos
3145208003001	98	142	240	405	59,3%
3145208003002	114	153	267	435	61,4%
3145208003003	136	218	354	536	66,0%
3145208003004	212	392	604	810	74,6%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021), a partir de dados do IBGE (2010a)

Figura 28 – Percentual de domicílios com existência de veículos

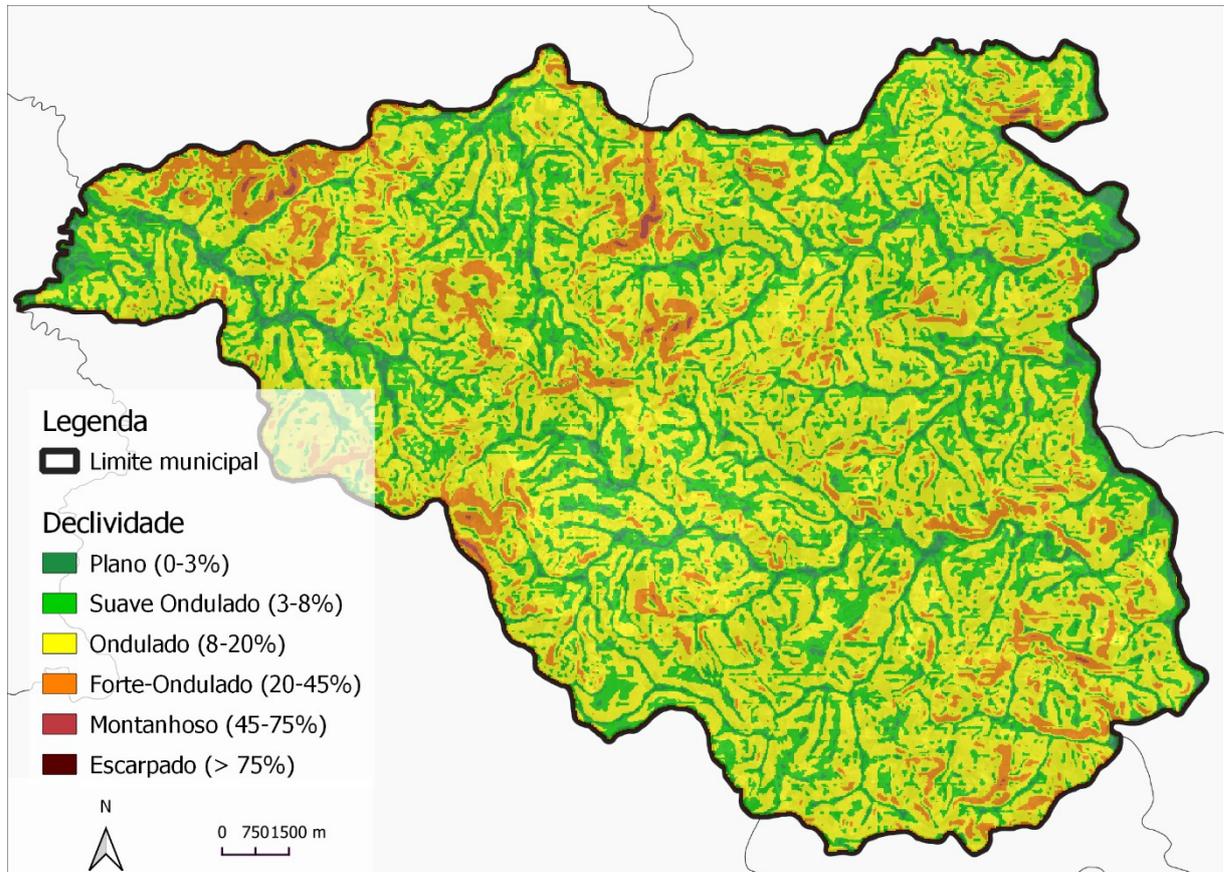


Fonte: Elaborado pelo autor (2021), a partir de dados do IBGE (2010a), IBGE (2010b) e IBGE (2015)

4.2.6 Declividade do terreno

O mapa de declividade foi construído a partir do Modelo Digital de Elevação obtido no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (SRTM/NASA apud TOPODATA, 2005). Para isso, foi utilizada a ferramenta “Declividade” do módulo de ferramentas GDAL (*Geospatial Data Abstraction Library*) no QGIS. A partir do *raster* gerado nessa etapa, realizou-se a classificação da declividade, com classes em porcentagem, conforme é estabelecido pela EMBRAPA (1999). O mapa resultante é apresentado na Figura 29 e nele se observa que a maior parte do relevo de Nova Serrana é do tipo plano, suave ondulado e ondulado.

Figura 29 – Declividade do terreno



Fonte: Elaborado pelo autor (2021), a partir de dados do SRTM/NASA apud TOPODATA (2005) e IBGE (2015)

4.2.7 Normalização dos critérios

A normalização tem por objetivo converter diferentes faixas de valores para uma mesma unidade ou escala. Isso permite o agrupamento e comparação entre diferentes variáveis, evitando problemas computacionais que possam vir a ocorrer devido à existência de diferentes unidades.

Para elaboração do mapa final de demanda por transporte público coletivo, efetuou-se a normalização dos valores de cada um dos critérios. Os novos valores passarão a ter o mesmo intervalo de variação, tendo como menor valor o 0 (zero) e o maior valor o 1 (um).

Utilizou-se para a normalização a Equação 11 descrita a seguir:

$$VN_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{máx} - X_{mín}} \quad (11)$$

Onde:

VN_i = valor normalizado para o valor do recorte geográfico i do critério analisado

X_i = valor do recorte geográfico i do critério analisado

$X_{máx}$ = maior valor do critério analisado

$X_{mín}$ = menor valor do critério analisado

Para critérios cujos resultados dos recortes geográficos são apresentados em um intervalo de valores, utilizou-se interpolação para a normalização. Atribui-se valores entre 0 e 1, sendo 0 correspondente ao menor intervalo de valores e 1 o maior intervalo.

Além desse procedimento, é necessário garantir que no momento da comparação dos critérios, cada um de seus valores seja considerado em sua respectiva relevância para a análise proposta. Isto é, tomando como exemplo o critério de densidade populacional, o mapa temático elaborado apresenta densidades populacionais por setores censitários, cujo menor valor corresponde a 8 hab./km² e o maior valor a 26.147 hab./km². Olhando para os valores sob a ótica do potencial de representar uma demanda por transporte coletivo, o setor censitário com maior densidade terá um potencial maior. Por esta razão, foram estabelecidos *Scores* de 1 a 10 para cada intervalo de valores dos critérios, onde 10 representa maior relevância e 1 menor importância para a análise.

A Tabela 3 ilustra os valores normalizados, bem como os *Scores* para cada variável.

Tabela 3 - Valores normalizados e Scores para cada critério

Critério	Valores	Valores normalizados	Score
Renda Média Domiciliar (R\$)	Até R\$ 510	0	10
	R\$ 511 – R\$ 1.020	0,13	9
	R\$ 1.021 – R\$ 1.530	0,25	8
	R\$ 1.531 – R\$ 2.040	0,38	7
	R\$ 2.041 – R\$ 2.550	0,50	6
	R\$ 2.551 – R\$ 3.060	0,63	5
	R\$ 3.061 – R\$ 3.570	0,75	4
	R\$ 3.571 – R\$ 4.080	0,88	3
> R\$ 4.080	1	2	
Densidade Populacional (hab/km ²)	8 – 2.913	0	2
	2.913 – 5.817	0,13	3
	5.817 – 8.721	0,25	4
	8.721 – 11.626	0,38	5
	11.626 – 14.530	0,50	6
	14.530 – 17.434	0,63	7
	17.434 – 20.338	0,75	8
	20.338 – 23.243	0,88	9
23.243 – 26.147	1	10	

Critério	Valores	Valores normalizados	Score
Acessibilidade do TPC	0,01 – 2,50	0	10
	2,51 – 5,00	0,14	10
	5,01 – 10,00	0,28	8
	10,01 – 15,00	0,43	6
	15,01 – 20,00	0,57	4
	20,01 – 25,00	0,71	2
	25,01 – 40,00	0,86	0
Diversidade de Usos do Solo	40,01+	1	0
	1,00	0	2
	1,01 – 2,00	0,25	4
	2,01 – 3,00	0,50	6
	3,01 – 4,00	0,75	8
Posse de Veículos	4,01 – 5,00	1	10
	0%	0	10
	59,26%	0,59	4
	61,38%	0,61	4
	66,04%	0,66	4
	74,57%	0,75	3
Declividade	100%	1	1
	Plano (0-3%)	0	10
	Suave Ondulado (3-8%)	0,2	8
	Ondulado (8-20%)	0,4	6
	Forte-Ondulado (20-45%)	0,6	4
	Montanhoso (45-75%)	0,8	2
	Escarpado (> 75%)	1	0

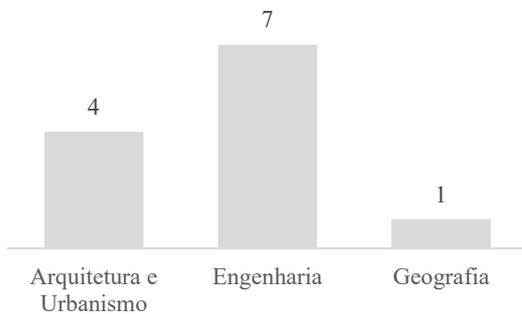
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4.3 APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO

A pesquisa de análise multicritério foi elaborada para auxiliar na definição dos pesos que cada característica urbana e socioeconômica possui no que tange à capacidade de gerar demanda por transporte coletivo por ônibus. Construiu-se um questionário online com auxílio da ferramenta JotForm, constante no Apêndice A, o qual foi enviado para profissionais e pesquisadores de diferentes formações, atuantes nas áreas de planejamento de transportes, planejamento urbano e gestores de mobilidade.

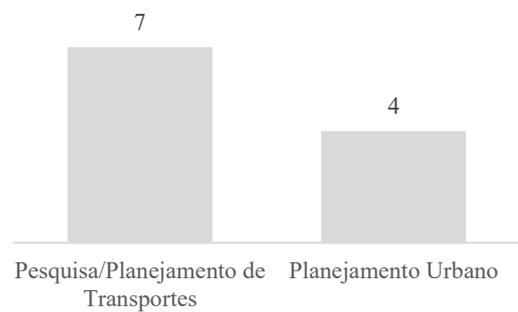
Ao todo, o questionário foi enviado a 17 especialistas, dos quais 11 enviaram suas respostas até a finalização das análises deste trabalho. Da Figura 30 a Figura 32 são apresentadas informações relativas ao perfil profissional dos respondentes no que diz respeito à formação, área de atuação e tempo de experiência.

Figura 30 - Formação dos respondentes da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 31 - Área de atuação dos respondentes da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 32 - Tempo de experiência na área de atuação dos respondentes da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Apesar de o resultado não englobar todos os especialistas convidados a responder a pesquisa, considerou-se que a amostra obtida foi heterogênea suficiente para a finalidade deste trabalho.

Na Tabela 4 são apresentadas as prioridades resultantes da pesquisa, isto é, o grau de importância hierárquico de cada critério, por avaliador. No Apêndice D encontram-se as matrizes de ponderação assim como os cálculos de Razão de Consistência para a análise de cada especialista.

Tabela 4 - Prioridades resultantes por critério e por especialista

Avaliador	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Diversidade de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno
Especialista 1	40%	14%	25%	12%	4%	6%
Especialista 2	47%	22%	10%	13%	6%	3%
Especialista 3	48%	20%	12%	7%	6%	6%
Especialista 4	41%	12%	31%	6%	4%	7%
Especialista 5	43%	23%	16%	8%	8%	2%

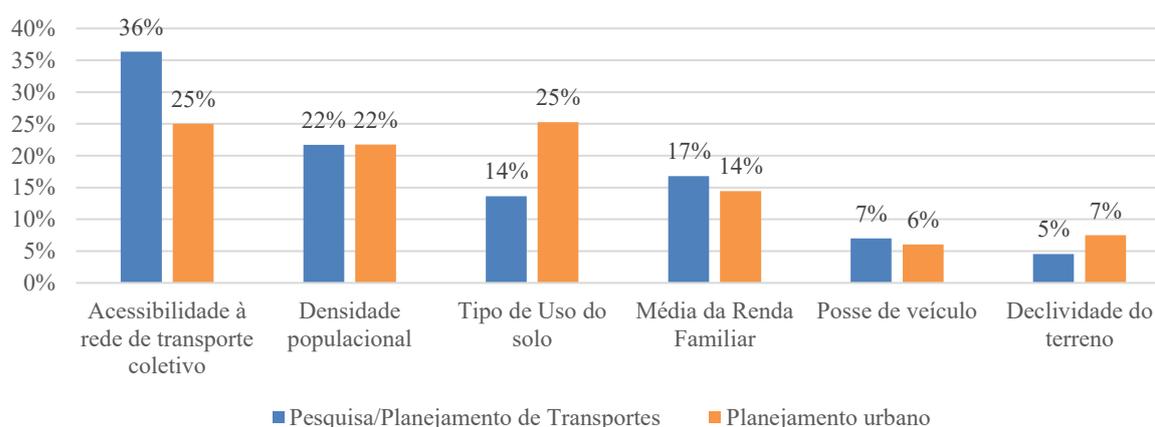
Avaliador	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Diversidade de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno
Especialista 6	8%	39%	26%	19%	3%	5%
Especialista 7	26%	10%	26%	26%	10%	2%
Especialista 8	37%	30%	3%	16%	10%	4%
Especialista 9	26%	26%	19%	7%	7%	16%
Especialista 10	35%	30%	18%	7%	4%	6%
Especialista 11	5%	13%	12%	55%	11%	4%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A partir dos resultados foi possível inferir que, mesmo que o questionário tenha incluído a descrição de cada critério e como estes se relacionam com a capacidade de geração de demanda por transporte público coletivo, a avaliação dos critérios mistura valores dos indivíduos com o entendimento pessoal que têm dos conceitos que embasam os critérios.

Prova disso é a diferença observada na média de ponderação dos critérios quando se analisam os resultados por área de atuação dos avaliadores. Pode-se observar a partir da Figura 33 que para os especialistas em planejamento urbano, aspectos relacionados à ocupação urbana e configuração do território, como a diversidade de uso do solo e a declividade, tiveram maior relevância quando comparado aos profissionais de planejamento de transportes. Para estes, o critério acessibilidade à rede de transporte coletivo foi mais expressivo na comparação.

Figura 33 - Média das ponderações segundo a área de atuação dos avaliadores



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Para a avaliação global dos critérios foi utilizado o valor médio dos pesos atribuídos pelos especialistas, os quais constam na Tabela 5.

Tabela 5 - Pesos globais resultantes do método AHP por critério

	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Diversidade de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno
MÉDIA	0,322	0,217	0,179	0,159	0,066	0,056

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4.4 MAPA DE DEMANDA POR TRANSPORTE COLETIVO

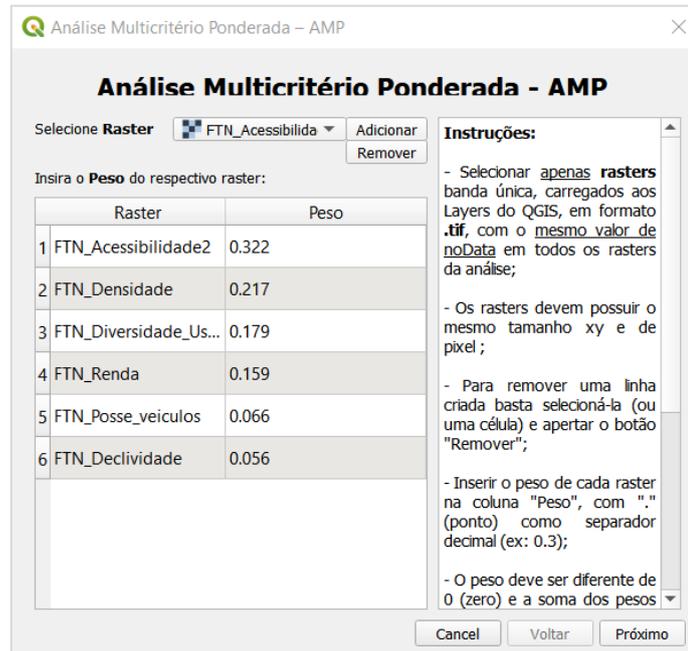
O mapa de áreas potenciais de demanda para implantação de linhas de transporte público coletivo foi gerado no QGIS com auxílio do plug-in *Weighted Multi-Criteria Analysis – WMCA* (Análise Multicritério Ponderada – AMP). A ferramenta foi desenvolvida para realizar análises multicritério ponderadas, especialmente para análises ambientais como estudos de fragilidades ou favorabilidades, zoneamento ambiental e outros tipos de zoneamento.

A ferramenta processa informações armazenadas apenas em formato *Raster* com banda única e com mesmo tamanho xy e de pixel. Assim, foi necessário efetuar a conversão de todos os mapas temáticos de *Shapefile* para *Raster*, com as configurações exigidas pela ferramenta.

O primeiro passo foi a padronização do sistema de referência de coordenadas de todas as camadas para SIRGAS 2000 e projeção UTM zona 23S. Com as camadas já em valores normalizados converteu-se cada vetor utilizando a ferramenta “Converter vetor para raster (rasterizar)” e as mesmas dimensões e resoluções da camada de declividade (largura=911, altura=628, tamanho do pixel= 29.3127552m).

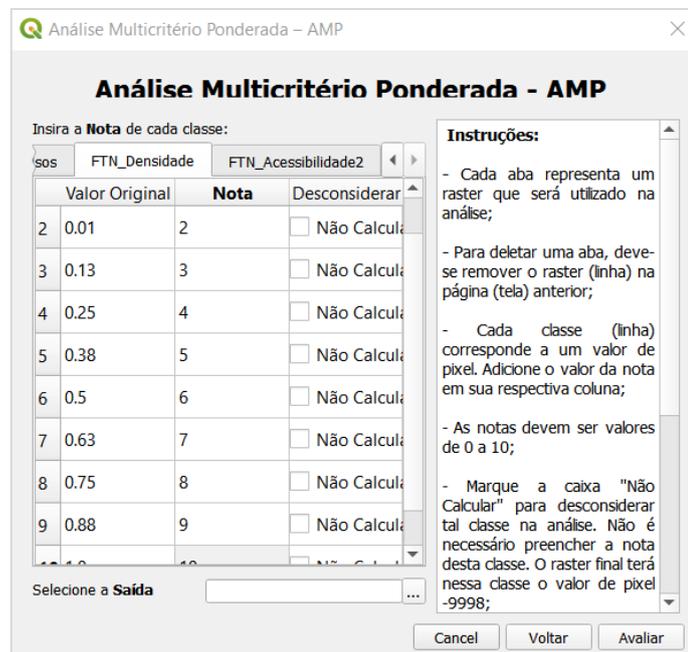
Então, usando o plug-in de análise multicritério selecionou-se todas as camadas *Rasters* calculadas e aplicou-se os pesos definidos pelos especialistas para cada variável, bem como os *Scores*. Na Figura 34 e Figura 35 é possível ver as etapas do processo.

Figura 34 - Janela da ferramenta WMCA no QGIS - Atribuição de pesos



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 35 - Janela da ferramenta WMCA no QGIS - Atribuição dos Scores



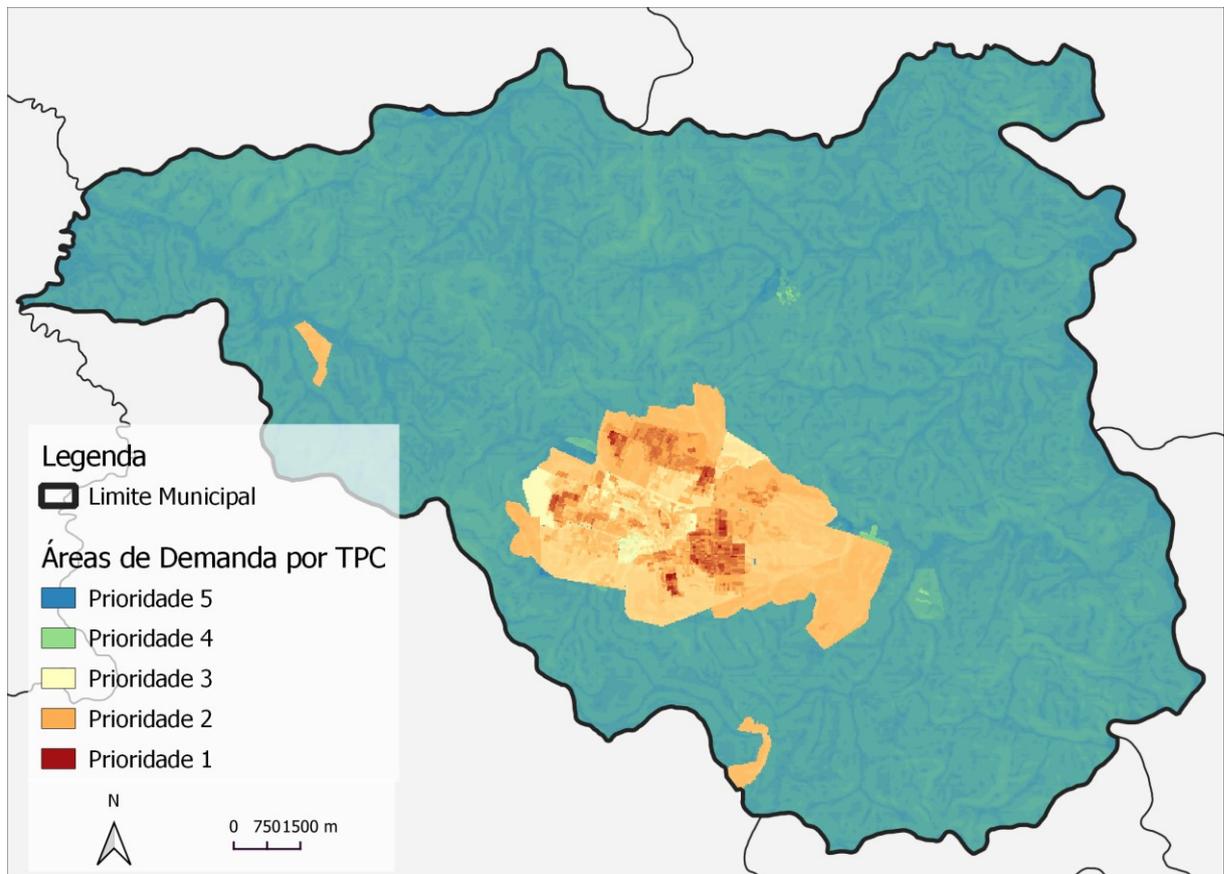
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

É importante mencionar que para valores normalizados iguais a zero foi atribuído o valor 0,01, como se pode observar a partir da Figura 35, para que o recorte geográfico

correspondente fosse incluído na análise, uma vez que valores zerados são excluídos da comparação.

O resultado das etapas descritas é refletido na Figura 36. As áreas de demanda por transporte coletivo foram agrupadas por ordem de prioridade, isto é, regiões com maior demanda devem ser atendidas antecipadamente em relação às demais, sendo então representadas como prioridade 1 e assim sucessivamente.

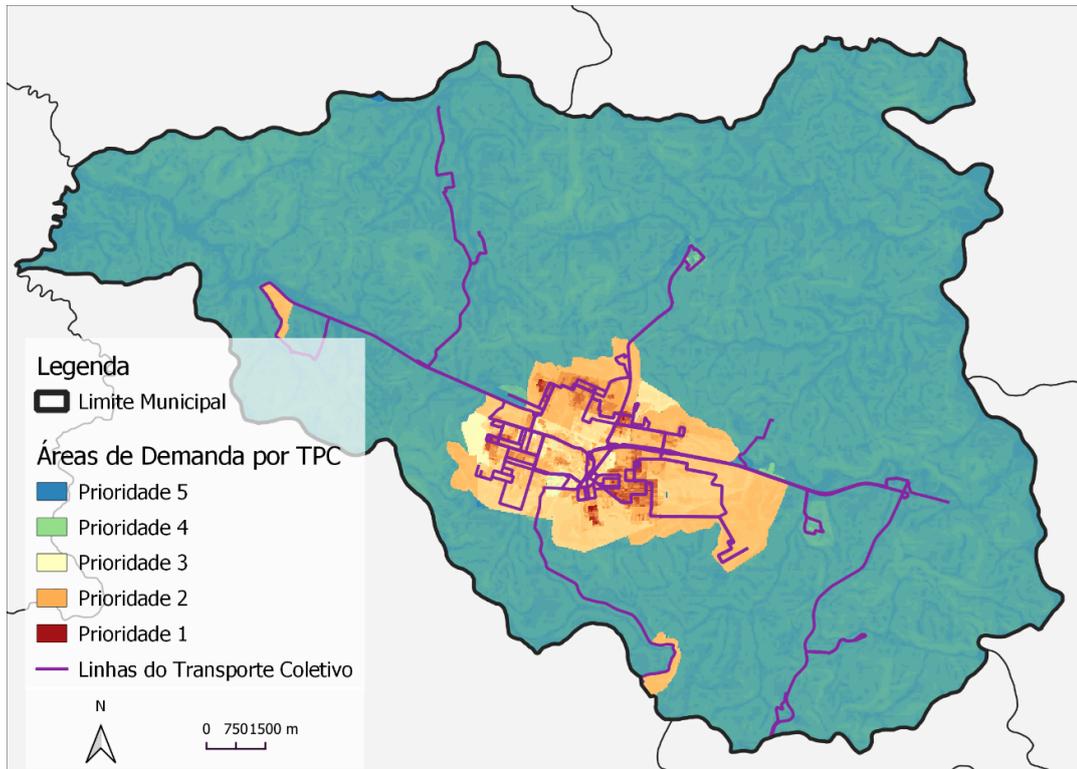
Figura 36 - Áreas de demanda por transporte coletivo



Fonte: Elaborado pelo autor (2021), a partir de dados do IBGE (2015)

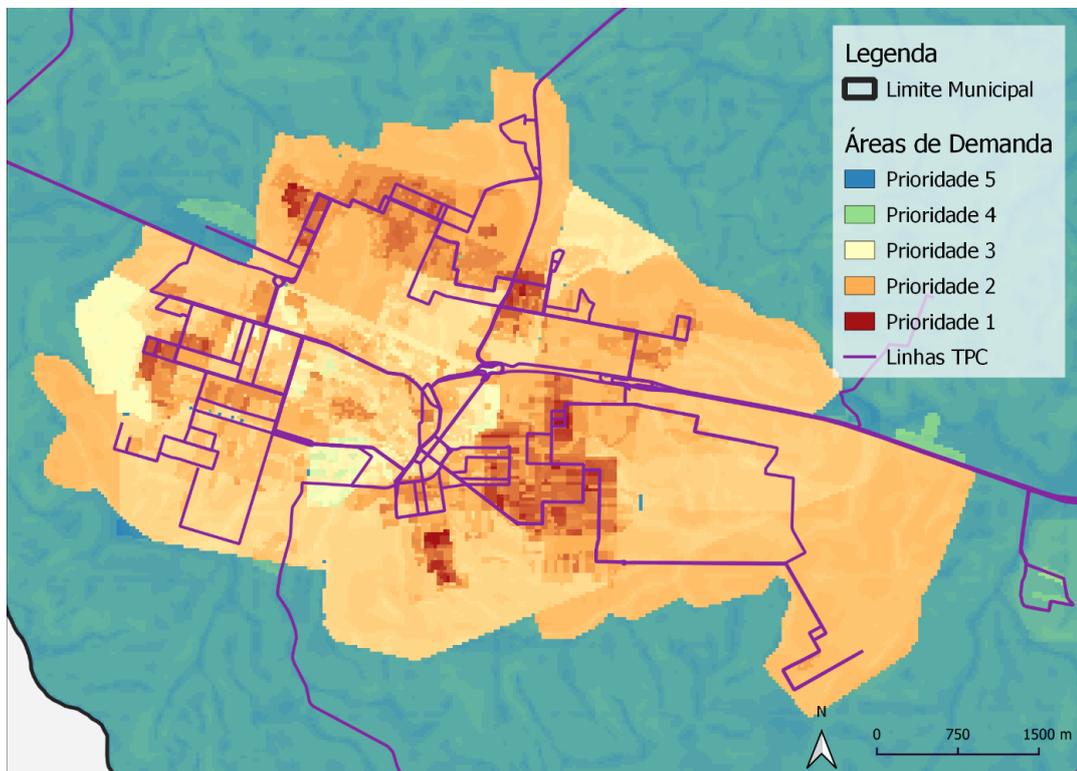
Na Figura 37 adicionou-se ao mapa de demanda elaborado a rede de linhas de transporte coletivo operante na cidade de modo que se possa avaliar a abrangência da rede de linhas nas áreas de maior necessidade de atendimento de transporte. Na Figura 38 é aplicado um recorte à área urbana para melhor visualização dos resultados.

Figura 37 - Áreas de demanda por transporte coletivo sobrepostas com a rede de linhas



Fonte: Elaborado pelo autor (2021), a partir de dados do IBGE (2015) e TRANSNOVA (2020)

Figura 38 - Recorte das áreas de demanda por transporte coletivo e da rede de linhas



Fonte: Elaborado pelo autor (2021), a partir de dados do IBGE (2015) e TRANSNOVA (2020)

Percebe-se a partir do mapa resultante da análise multicritério que, mesmo que o planejamento dos itinerários em Nova Serrana seja feito sem dados técnicos mínimos, a rede atual de linhas percorre, além das regiões de maior concentração de atividades, como o centro ou os bairros Romeu Duarte e Park D. Gumercinda Martins (à oeste no mapa), áreas que são de fato locais com potenciais usuários do sistema.

Tais regiões resultaram em áreas com alta prioridade de atendimento, como é o caso dos bairros Fábio Aguiar, Santa Luzia, São Geraldo II, Morada do Sol, Novo Horizonte e Planalto, que estão destacados como prioridade 1 e 2 no mapa. É provável que nestes locais haja falhas de planejamento de frequências de viagens, oferta de diferentes rotas e/ou pontos de ônibus situados a distâncias de caminhada além do ideal. Esta explicação é reforçada ao se observar que o critério de acessibilidade resultou em índices muito semelhantes no território indicando a oferta de um serviço pobre e pouco eficiente, por isso, mesmo tendo recebido o maior peso na avaliação dos especialistas, o critério não foi significativo para o resultado obtido.

Há ainda locais com demanda por transporte e sem nenhum atendimento como o bairro Maria José do Amaral, ao sul da região central, próximo ao bairro Fatura. Sabe-se que nesta região a conectividade das vias é muito baixa, havendo poucas opções de ligação com os bairros à oeste. Além disso, há ruas que possuem sentido único a fim de dar fluidez ao trânsito que se forma, especialmente nos horários de pico. Estes fatores exigem que eventuais extensões de rota ou criação de novas rotas tenha trajetos tortuosos e por vezes com baixo aproveitamento. A melhoria da conectividade viária com a abertura de novas ruas e ajustes de sentido, por exemplo, já permitiriam otimizar traçados que aumentariam a abrangência territorial favorecendo tanto o operador do transporte quanto os potenciais usuários que serão atendidos.

Há de se observar ainda que os bairros situados ao norte, apesar da ocupação recente, apresentam densidades razoáveis, aliado à concentração de domicílios com menor renda e menor número de residências com existência de algum veículo individual. A conjunção destes fatores, resultou na classificação de prioridade 1 e 2 nestes locais.

A existência de linhas longas e por vezes tortuosas que percorrem muitos bairros em um mesmo trajeto, acabam por causar uma falsa sensação de boa abrangência territorial. Seccionar as linhas, criando rotas mais diretas e rápidas e que se interceptem proporcionando integrações físicas, pode permitir um aumento na oferta de viagens e incentivar o uso do transporte público por parte da população.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou estudar um método de avaliação da abrangência da rede de linhas de transporte coletivo sob a ótica da influência que características urbanas e socioeconômicas possuem na geração de demanda por transporte. Com base na definição de variáveis de análise, no levantamento de dados geográficos, na espacialização das informações, e na aplicação de pesos definidos junto a especialistas através de avaliação multicritério, elaborou-se um mapa representativo das áreas com prioridades de atendimento para a cidade de Nova Serrana, em Minas Gerais.

A definição das variáveis de análise se baseou em trabalhos desenvolvidos por outros autores e na disponibilidade de informação para realizar a avaliação, sendo elencados assim seis critérios: renda, densidade populacional, acessibilidade ao transporte público, diversidade de usos, posse de veículos e declividade do terreno. As dimensões escolhidas para análise se mostraram suficientes para o trabalho proposto, embora outras variáveis ainda possam ser exploradas como: proximidade à locais de atração de viagens (ou *facilities*) como hospitais, mercados, serviços públicos, entre outros; resultados de pesquisas de origem e destino que estejam disponíveis e declividade do sistema viário.

Destaca-se que o estudo teve algumas limitações. A primeira delas está relacionada à existência de dados com diferentes datas de coleta. Enquanto as informações utilizadas para gerar os índices de acessibilidade, bem como os mapas de declividade e densidade populacional, condizem com levantamentos mais recentes ou que puderam, de alguma forma, ser atualizados (no caso da densidade), a base de renda média familiar e de posse de veículos tem um *gap* de onze anos, pois se referem a coletas feitas pelo censo do IBGE de 2010. Conforme observado ao longo do trabalho, um período de 10 anos trouxe grandes e importantes transformações urbanas para a cidade de Nova Serrana. Dentre elas, o crescimento populacional de 40% estimulado pelo crescimento econômico, com consequente aumento da mancha urbana e surgimento de novos loteamentos urbanos.

Outra limitação da análise diz respeito à disponibilização das informações em diferentes recortes geográficos. Os mapas de cada variável foram elaborados a partir da espacialização das informações de acordo com a unidade territorial disponível em sua fonte de coleta. Dessa forma, os dados são ilustrados ora por setores censitários, ora por áreas de ponderação (agrupamento de setores censitários) e outras vezes por quadras. Entende-se,

portanto, que a utilização de bases de anos diferentes, assim como o uso de unidades geográficas distintas traz certa discrepância ao resultado das análises uma vez que são comparadas diferentes dimensões de informação.

Da mesma forma que bases de diferentes períodos temporais sinalizam uma limitação do método, bases incompletas também causam distorções, é o que foi observado com o Cadastro Municipal de Imóveis. Constatou-se dois níveis de desatualização, o primeiro está associado à incapacidade que a Prefeitura Municipal tem em acompanhar o surgimento de novas áreas urbanas, sejam elas regulares ou não, e efetuar o cadastramento correto de seus usos. De outro lado percebe-se que esse mesmo cadastro não consegue acompanhar a velocidade em que o uso dos imóveis se altera, seja ora residencial, ora comercial e assim por diante. Na falta de atualização, o mapa de diversidade de usos do solo carrega estas incoerências.

No que tange ao cálculo de acessibilidade, o método PTAL se mostrou suficiente para a análise. Destaca-se que a seleção de pontos de interesse (POIs) por região ao invés de uma seleção detalhada por pontos-base é válida e permitiu um processamento de informações com ferramentas como o Excel, não exigindo grandes capacidades operacionais de processamento. No entanto, há de se reforçar que a escolha por uma abordagem simplificada afeta o resultado. Ao selecionar um ponto de análise em cada zona de tráfego, o índice é calculado limitando-se a considerar a infraestrutura de transporte coletivo no entorno deste ponto, que pode ser melhor ou pior servido em relação a outro ponto dentro da mesma zona de tráfego. Uma vez que o resultado do índice de acessibilidade para a cidade de Nova Serrana indicou um serviço cujo nível de acesso varia do pobre ao muito pobre, é relevante incluir outros POIs ao longo do território para validação do resultado.

Outro aspecto observado sobre o método PTAL é que ele foi criado para o estudo do nível de acesso ao sistema de transporte público na cidade de Londres, local com diversas opções de transporte: ônibus, metrô, trem leve e bondes. A metodologia considera os tempos de caminhada e as frequências de serviço de todos estes meios de transporte, de modo que a maior densidade da rede de transporte público resultará em índices de acesso maiores. Tem-se, portanto, que a escala dos níveis de acesso que o método propõe, de “1a” a “6b” (muito pobre a excelente) reflete a alta densidade da rede para onde o método foi criado. Tendo isso em vista, é interessante que, na replicação do estudo, seja avaliada a estruturação de índices específicos voltados para cidades de médio porte a fim de gerar uma faixa de classificação mais próxima da realidade de cidades brasileiras deste porte, onde a densidade da rede de transporte público é menor que cidades como Londres e possuem, em geral, apenas o ônibus como opção.

Acerca da avaliação dos especialistas na análise multicritério, observou-se que a contribuição dada foi fundamental. Apesar da dificuldade intrínseca ao método, na avaliação par a par dos critérios, os especialistas conseguiram refletir suas experiências e opiniões conceituais sobre o problema. Existe uma parcela do julgamento que pode acabar enviesada tendendo para o entendimento que o especialista possui dos conceitos que embasam os critérios ao invés de considerar os efeitos de cada critério para o trabalho aqui proposto. Alguns especialistas avaliaram seus pesos mais de uma vez, por iniciativa própria, ao constatar um possível entendimento contrário dos conceitos. De todo modo, o resultado obtido para os pesos foi satisfatório, não houve valores com discrepância significativa entre as avaliações e considerou-se adequado para o nível de heterogeneidade em termos de especialidades profissionais que foi possível alcançar.

Vale pontuar que a heterogeneidade dos especialistas em termos de formação, área de atuação e localidade foi importante para agregar diferentes visões sobre o problema tratado no estudo.

No que se refere às pontuações individuais dos critérios (*Scores*) após a normalização, utilizou-se da compreensão trazida pela literatura para atribuição dos pesos relativos. No entanto, para alguns critérios ainda é válida a aplicação de uma análise prévia qualitativa. Como exemplo, tem-se que para a variável de diversidade de usos, um local com heterogeneidade de usos recebeu um valor maior de *Score*, representando maior capacidade de gerar demanda pelo transporte público coletivo. Porém, quando consideramos as áreas monofuncionais das cidades, como as áreas residenciais, também se tem uma demanda pelo transporte. Estes conceitos se sobrepõem de algum modo e valem uma reflexão cuidadosa.

Por fim, os objetivos propostos para este trabalho foram alcançados, uma vez que o mapa com áreas de demanda por transporte coletivo trouxe de maneira visual as necessidades por infraestrutura de transporte com base em informações técnicas que estão disponíveis em bases públicas ou que constam nos cadastros de entidades municipais e que são, portanto, passíveis de reprodução e úteis aos gestores públicos na tomada de decisões de planejamento mais assertivas.

Diante da importância que a mobilidade coletiva tem sobre o transporte individual como meio de superar desafios urbanos de mobilidade – e, também, ambientais – estudos como os que foram desenvolvidos nesse trabalho contribuem para o aperfeiçoamento do planejamento

dos serviços de transporte e para o desenvolvimento de um pensamento amplo sobre a cidade e suas relações.

Para trabalhos futuros é importante que algumas limitações apontadas possam ser contornadas a exemplo da utilização de dados atualizados para uma mesma data ou período temporal que não seja muito distante, além da busca ou tratamento de dados para uma mesma unidade territorial.

Para trabalhos no âmbito da cidade de Nova Serrana sugere-se a atualização das informações dos critérios contemplando dados do censo demográfico de 2021, assim como o cadastro atualizado de imóveis do município e eventuais novas rotas e frequências do serviço de ônibus urbano.

Para continuidade de pesquisas relacionadas ao tema sugere-se avaliar a sensibilidade dos pesos aplicados aos critérios; incluir na pesquisa do método AHP a avaliação por especialistas dos *Scores* atribuídos aos valores individuais obtidos para os recortes geográficos de cada critério; avaliar a seleção de POIs por pontos-base (análise detalhada), bem como testar a inclusão de novas variáveis urbanas e socioeconômicas que possam aperfeiçoar o modelo.

REFERÊNCIAS

ACHUTHAN, Kamal. **Accessibility**. Londres: University College London, 2017. 52 slides, color.

ALVES, Victor Frazão Barreto. **Explorando Técnicas para a Localização e Identificação de Potenciais Usuários de Transporte Público Urbano**. 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil - Área de Concentração: Planejamento e Operações de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-06062011-171853/publico/MestVFBA.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2020.

ANDRADE, Robson Mendes de. **Identificação de áreas de demanda por transporte público, baseada em análise multicritério**. 2013. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transporte, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: https://www.pet.coppe.ufrj.br/images/documentos/dissertacoes/2013/Dissertacao_RobsonMendesdeAndrade.pdf. Acesso em: 5 jun. 2020.

BARBIERI, Ana Clara; INÁCIO, Patrícia Pereira Arantes; LIMA, Josiane Palma. **Métodos de análise multicritério aplicados a transportes: uma revisão sistemática**. Anpet, Rio de Janeiro, v. 1, n. 30, p.2516-2527, 16 nov. 2016. Disponível em: <https://aprender.ead.unb.br/mod/resource/view.php?id=255674>. Acesso em: 3 out. 2020.

BESTEIRO, Andreia Mingroni et al. **A Utilização do método AHP para traçar, como ferramenta para o auxílio a decisão de um candidato, a escolha de um curso de engenharia Universidade Estadual Paulista – UNESP**. 2009. Disponível em: https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos09/226_Artigo_-_AHP_Engenharia.pdf. Acesso em: 26 fev. 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.587** de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana e dá outras providências, 2012.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de; PEREIRA, Rafael Henrique Moraes. Efeitos da variação da tarifa e da renda da população sobre a demanda de transporte público coletivo urbano no Brasil. In: WORLD CONFERENCE ON TRANSPORT RESEARCH (WCTR), 12., 2010, Lisboa, Portugal. **Texto para discussão**. Brasília: Ipea, 2011. 38 p. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1595.pdf. Acesso em: 12 mai. 2020.

CEDER, Avishai. **PUBLIC TRANSIT PLANNING AND OPERATION: theory, modeling and practice**. Elsevier, 2007. 645 p.

CNT, Confederação Nacional do Transporte; NTU, Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. **Pesquisa Mobilidade da População Urbana**. Brasília, 2017. 100 p. Disponível em:

<https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub636397002002520031.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2020.

CUNHA, Carlos Alexandre da. **Relações entre características de linhas de transporte coletivo urbano e de áreas urbanas**. 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2005. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/8391/3/2005_CarlosAlexandreCunha.pdf. Acesso em: 15 jun. 2020.

DNIT, Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. Rodovias federais. 2013.

DNIT, Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. Rodovias estaduais. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p.

OSM, Open Street Map. Rede viária municipal. 2020.

FERRAZ, Antonio Clóvis “Coca” Pinto; TORRES, Isaac Guillermo Espinosa. **TRANSPORTE PÚBLICO URBANO**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2004. 428 p.

GHIDINI, Roberto. **Transporte público e urbanismo: A dinâmica territorial**. 2015. 169 p. Disponível em: <https://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/transporte-publico-e-dinamica-territorial.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2020.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico. 2010a.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Setores censitários. 2010b.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Limites municipais. 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas da população. 2019a.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF). 2019b.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base de face de logradouros. 2020.

ITRANS, Instituto de Desenvolvimento e Informação em Transporte. **MOBILIDADE E POBREZA**. 2003. Disponível em: https://mcadaval.com.br/blogs/Relatorio_Final.pdf. Acesso em: 5 out. 2021.

KRETZER, Geruza. **Diversidade de usos e tipos edifícios: dinâmicas locais em Florianópolis-SC**. 2018. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

LUCAS, Karen. **Transport and social exclusion: Where are we now?** Transport Policy, 20, 105-113. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.01.013>. Acesso em: 10 out. 2021.

MARTINEZ, Manuel Ricardo Galileo Ramires. **Aplicação do sistema PTAL na avaliação da acessibilidade ao transporte público em cidades de médio porte**. 2016. 103 f. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/handle/tede/1403>. Acesso em: 2 mar. 2020.

NATCEN, Social Research. **Transport and inequality: An evidence review for the Department for Transport**. Londres. 2019. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/953951/Transport_and_inequality_report_document.pdf. Acesso em: 14 out. 2021.

NOVA SERRANA, Prefeitura Municipal. **Produto 01 - Caderno de subsídios técnicos para leitura da cidade**. 2020a. Disponível em: <http://participanovaserrana.com.br/705ea-home/biblioteca-de-conteudos/>. Acesso em: 10 nov. 2020.

NOVA SERRANA, Prefeitura Municipal. **Produto 02 - Análise das respostas da Pesquisa de Opinião**. 2020b. Disponível em: <http://participanovaserrana.com.br/705ea-home/biblioteca-de-conteudos/>. Acesso em: 15 nov. 2020.

NOVA SERRANA, Prefeitura Municipal. **Cadastro Municipal de Imóveis**. 2020c.

NOVA SERRANA, Prefeitura Municipal. **Lei complementar nº 2.560**. Dispõe sobre a municipalização de trânsito e transporte, sobre a criação da Superintendência De Trânsito e Transporte, do fundo municipal de trânsito e transportes, do Conselho Municipal De Trânsito e Transporte - CMTT e da Junta Administrativa de Recursos E Infrações (JARI) e dá outras providências, 2018.

NTU, Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. **Anuário NTU: 2017-2018**. Brasília, 2018. 76 p. Disponível em: <https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub636687203994198126.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2020.

PASSOS, Aderson. Campos. **Definição de um índice de qualidade para distribuidoras de energia elétrica utilizando o apoio multicritério à decisão e análise de séries temporais**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/17608/17608_1.PDF. Acesso em: 2 nov. 2020.

PIMENTA, Lianne Borja *et al.* **Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais**. Interações (Campo Grande), p. 407-420, 5 jul. 2019. Universidade Católica Dom Bosco. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v20i2.1856>. Acesso em: 2 nov. 2020.

RECK, Garrone. Transporte Público. Londrina: Departamento de Transporte/UFPR. 2010. 108p.

RAJAMANI, Jayanthi *et al.* **Assessing the impact of urban form measures in nonwork trip mode choice after controlling for demographic and level-of-service effects**. Annual

Meeting TRB 2003. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/1831-18>. Acesso em: 05 ago. 2020.

SAATY, T. L., **Método de Análise Hierárquica**, Makron Books do Brasil Editora Ltda., 1991.

SAELENS, Brian E.; SALLIS, James F.; FRANK, Lawrence. D. Environmental correlates of walking and cycling: Findings from the transportation, urban design, and planning literatures. **Annals of Behavioral Medicine**, v. 25, n. 2, p. 80-91, 2003. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12704009/>. Acesso em: 8 ago. 2021.

SILVA, Roterdan Moura da; BELDERRAIN, Mischel Carmen Neyra. **CONSIDERAÇÕES SOBRE MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica - Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica, [20-]. Disponível em: <http://www.bibl.ita.br/xiencita/Artigos/Mec03.pdf>. Acesso em: 28 set. 2020.

SILVA, Reginaldo. **O Impacto do desenvolvimento industrial nas relações culturais de Nova Serrana**. 2007. Mestrado em Educação, Cultura e Organizações Sociais. Área de concentração: Estudos Contemporâneos. Linha de pesquisa: Cultura e Linguagem. FUNEDI/UEMG, Divinópolis, 2007. Disponível em: <https://livrozilla.com/doc/1539718/do-arquivo-em-pdf>. Acesso em: 27 abr. 2020.

SOUZA, Cristiane Mansur de Moraes et al. Análise de urbanização em áreas declivosas, como uma das etapas da Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), visando o desenvolvimento local. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, p. 5533-5539, abr. 2007.

TRANSNOVA. Linhas e Itinerários. 2020. Disponível em: <http://www.tnstransnova.com.br/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

TRANSPORT FOR LONDON. **Assessing transport connectivity in London**. Londres, 2015. 60 p. Disponível em: <https://data.london.gov.uk/dataset/public-transport-accessibility-levels>. Acesso em: 16 mar. 2020.

WRI BRASIL. **DOTS NOS PLANOS DIRETORES**: guia para inclusão do desenvolvimento orientado ao transporte sustentável no planejamento urbano. 2018. 132 p. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes/dots-nos-planos-diretores>. Acesso em: 20 jul. 2020.

WRIGHT, Charles. L. **Fast Wheels, slow traffic: Urban Transport Choices**. Temple University Choices. 1992. Filadélfia, Pensilvânia.

APÊNDICE A – Formulário de consulta a especialistas

Pesquisa de Ponderação de Critérios relacionados à geração de Demanda por Transporte Coletivo

(pesquisa vinculada à trabalho de mestrado do PPGTG/UFSC)

Olá, me chamo Daiane Masson, sou aluna de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da UFSC e esta pesquisa busca gerar insumos para as análises que conduzo em minha dissertação, motivo pelo qual agradeço imensamente a sua contribuição!

O QUÊ?

O trabalho que desenvolvo busca avaliar a abrangência de redes de transporte coletivo urbano através da utilização de ferramentas de mapeamento e análise multicritério. Foram elencados sete critérios que representam características urbanas e socioeconômicas capazes de influenciar a demanda por transporte coletivo.

Nesta pesquisa busco a opinião de profissionais e estudantes da área para entender o grau de importância que cada um dos critérios tem entre si no que se refere a sua capacidade de representar uma demanda por transporte coletivo.

Serão elaborados mapas para cada um dos critérios utilizando um estudo de caso, os quais serão sobrepostos para gerar um mapa final com áreas bem servidas pela rede de transporte coletivo existente e áreas que necessitam de uma melhor oferta do serviço. Os dados aqui coletados serão utilizados para gerar pesos para a ponderação de importância e influência de cada critério na elaboração do mapa final.

COMO?

O método a ser utilizado para as análises é o Processo de Análise Hierárquica (AHP), nele os critérios são avaliados em pares, atribuindo-se uma nota de 0 a 9 que representa a importância de um sobre o outro.

Na imagem abaixo encontra-se a escala de pontuação utilizada.

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	Atributo "A" levemente mais importante em relação à atributo "B".
5	Importância grande ou essencial	Atributo "A" fortemente mais importante em relação à atributo "B".
7	Importância muito grande ou demonstrada	Atributo "A" é muito fortemente favorecido em relação à atributo "B"; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece o atributo "A" em relação à atributo "B" com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Já na imagem abaixo, encontra-se um exemplo de como essa pontuação deve ser atribuída. As células abaixo da diagonal com valores "1" serão preenchidas automaticamente, a partir da atribuição de pontos nas células acima desta diagonal.

Assim, tem-se as seguintes possibilidades:

- se no seu entendimento o critério "C1" possui a **mesma relevância** que o critério "C2", no que se refere a capacidade de gerar demanda por transporte coletivo, o valor a ser preenchido será **1** ;
- se no seu entendimento o critério "C1" possui **maior relevância** que o critério "C2", no que se refere a capacidade de gerar demanda por transporte coletivo, o valor a ser preenchido será algum dos **valores acima de 1** , conforme a escala apresentada na tabela acima;
- se no seu entendimento o critério "C1" possui **menor relevância** que o critério "C2", no que se refere a capacidade de gerar demanda por transporte coletivo, o valor a ser preenchido será "**1/peso atribuído** ", sendo o peso, algum dos valores acima de 1, conforme a tabela acima.

Critério	C1	C2	C3
C1	1	5	1/9
C2	1/5	1	2
C3	9	1/2	1

DESCRIÇÃO DOS CRITÉRIOS

Na tabela abaixo encontra-se a descrição de cada critério e o que deve ser observado no momento da ponderação.

DESCRIÇÃO DOS CRITÉRIOS	
Critério	Descrição
Densidade populacional	É uma medida que retrata a distribuição espacial dos habitantes no território e sua unidade é dada em habitantes/km ² . Cidades compactas com maior densidade populacional permitem um uso mais eficiente da infraestrutura e do solo urbanizado, há uma otimização dos serviços de transporte coletivo que passam a estar articulados aos adensamentos. Para os planejadores as regiões mais adensadas servem de norte para a implantação de eixos de transporte.
Acessibilidade à rede de transporte coletivo	A medição da acessibilidade é importante para identificar localidades com baixo nível de acesso a serviços e facilidades, tendo, portanto, relação com a garantia da inclusão social. Indicadores de acessibilidade tem um papel importante para o planejamento de transporte e para os gestores públicos, pois ajuda a identificar onde ações são necessárias ajudando na alocação de recursos, a exemplo de áreas com menor nível de acessibilidade.
Tipo de Uso do solo	O uso misto do solo estimula a criação de centralidades e diversidade de atividades. A tendência é a realização de deslocamentos cotidianos menores, com menor uso do transporte individual, estimulando o transporte ativo e tornando mais eficiente o sistema de transporte coletivo, ao conectar as centralidades. Regiões com uso misto do solo representam locais de maior demanda por transporte coletivo.
Média da Renda Familiar	Em vários sistemas de transporte público do Brasil é possível observar uma relação inversa entre o uso de meios de transporte coletivo e renda. No geral, a população de maior renda tende a dar preferência ao uso do transporte individual, mesmo que haja um bom serviço público de transporte. Já a população de menor capacidade econômica faz uso de meios de transporte menos dispendiosos, e são eles os maiores usuários do transporte público. Entende-se que é necessário planejar o sistema para atendimento da maior parte da população, mas, dando atenção àqueles que tem menores opções de mobilidade.
Posse de veículo	O transporte é um direito social dos brasileiros e, por ser um serviço essencial, cabe ao governo disponibilizar meios adequados e de qualidade para os deslocamentos diários dos cidadãos. A inexistência de meios de transporte motorizados nas residências é um indicativo da necessidade de prover o atendimento da localidade com o serviço de transporte público.
Declividade do terreno	Para o usuário do transporte público coletivo, a distância percorrida em um terreno com acive, em comparação à um local plano, durante o mesmo período de tempo, é menor. Para atender ao tempo máximo de caminhada ideal para um usuário do transporte coletivo, haveria a necessidade de instalação de mais pontos de ônibus em locais de acive. Portanto, entende-se que quanto menor a declividade, maior a chance de utilização do transporte coletivo pela facilidade de caminhada até os pontos de acesso ao serviço.

COERÊNCIA

Como a pontuação dos critérios precisa ter uma coerência (isto é, se dois critérios são mais importantes que um, este não pode ser mais importante que nenhum dos dois), foi elaborada uma planilha para facilitar a checagem. Você pode efetuar o download dela a partir do link abaixo e preencher com os pesos que julgar fazer sentido.

DOWNLOAD DA PLANILHA

A penúltima coluna denominada "Status da avaliação" indicará, após o preenchimento de todos os pesos, se os valores atribuídos são consistentes ou se é necessário refazer os julgamentos. Caso isso aconteça, a inconsistência pode estar em apenas uma ou outra avaliação, não sendo necessário refazer todos os julgamentos. Vale ressaltar que o cálculo da consistência faz parte do método escolhido para o estudo (Processo de Análise Hierárquica - AHP) e deve atingir valores previamente definidos na metodologia.

Assim que julgar finalizado o julgamento dos critérios de maneira coerente, peço a gentileza de efetuar o upload da planilha no espaço abaixo destinado.

Efetue o Upload da planilha preenchida neste espaço. *

Drag & Drop Files Here

Max file size: **20 MB** |

PERFIL

Para finalizar, esta seção se destina a entender qual o seu perfil como especialista/estudante do assunto para fins de análise estatística dos resultados desta pesquisa.

Qual o seu nome? *

Qual a sua profissão? *

Qual a sua área de atuação? (ex.: planejamento urbano, planejamento de transportes, pesquisa em transporte público, etc..) *

Há quanto tempo atua neste setor? *

Enviar

APÊNDICE B – Pesquisa de ponderação de critérios para o Método AHP

Pesquisa de Ponderação de Critérios relacionados à geração de Demanda por Transporte Coletivo

(esta pesquisa é vinculada à trabalho de mestrado de Daiane Masson junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da UFSC)

MATRIZ DE PONDERAÇÕES								
Critério	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Tipo de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno	Status da Avaliação	Prioridades resultantes
Acessibilidade à rede de transporte coletivo	1						#VALOR!	#DIV/0!
Densidade populacional	#DIV/0!	1						#DIV/0!
Tipo de Uso do solo	#DIV/0!	#DIV/0!	1					#DIV/0!
Média da Renda Familiar	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1				#DIV/0!
Posse de veículo	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1			#DIV/0!
Declividade do terreno	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1		#DIV/0!

Não preencher células demarcadas

ESCALA DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERARQUICA		
Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	Atributo "A" levemente mais importante em relação à atributo "B".
5	Importância grande ou essencial	Atributo "A" fortemente mais importante em relação à atributo "B".
7	Importância muito grande ou demonstrada	Atributo "A" é muito fortemente favorecido em relação à atributo "B"; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece o atributo "A" em relação à atributo "B" com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

DESCRIÇÃO DOS CRITÉRIOS	
Critério	Descrição
Densidade populacional	É uma medida que retrata a distribuição espacial dos habitantes no território e sua unidade é dada em habitantes/km ² . Cidades compactas com maior densidade populacional permitem um uso mais eficiente da infraestrutura e do solo urbanizado, há uma otimização dos serviços de transporte coletivo que passam a estar articulados aos adensamentos. Para os planejadores as regiões mais adensadas servem de norte para a implantação de eixos de transporte.
Acessibilidade à rede de transporte coletivo	A medição da acessibilidade é importante para identificar localidades com baixo nível de acesso a serviços e facilidades, tendo, portanto, relação com a garantia da inclusão social. Indicadores de acessibilidade tem um papel importante para o planejamento de transporte e para os gestores públicos, pois ajuda a identificar onde ações são necessárias ajudando na alocação de recursos, a exemplo de áreas com menor nível de acessibilidade.
Tipo de Uso do solo	O uso misto do solo estimula a criação de centralidades e diversidade de atividades. A tendência é a realização de deslocamentos cotidianos menores, com menor uso do transporte individual, estimulando o transporte ativo e tornando mais eficiente o sistema de transporte coletivo, ao conectar as centralidades. Regiões com uso misto do solo representam locais de maior demanda por transporte coletivo.
Média da Renda Familiar	Em vários sistemas de transporte público do Brasil é possível observar uma relação inversa entre o uso de meios de transporte coletivo e renda. No geral, a população de maior renda tende a dar preferência ao uso do transporte individual, mesmo que haja um bom serviço público de transporte. Já a população de menor capacidade econômica faz uso de meios de transporte menos dispendiosos, e são eles os maiores usuários do transporte público. Entende-se que é necessário planejar o sistema para atendimento da maior parte da população, mas, dando atenção àqueles que tem menores opções de mobilidade.
Posse de veículo	O transporte é um direito social dos brasileiros e, por ser um serviço essencial, cabe ao governo disponibilizar meios adequados e de qualidade para os deslocamentos diários dos cidadãos. A inexistência de meios de transporte motorizados nas residências é um indicativo da necessidade de prover o atendimento da localidade com o serviço de transporte público.
Declividade do terreno	Para o usuário do transporte público coletivo, a distância percorrida em um terreno com acive, em comparação à um local plano, durante o mesmo período de tempo, é menor. Para atender ao tempo máximo de caminhada ideal para um usuário do transporte coletivo, haveria a necessidade de instalação de mais pontos de ônibus em locais de acive. Portanto, entende-se que quanto menor a declividade, maior a chance de utilização do transporte coletivo pela facilidade de caminhada até os pontos de acesso ao serviço.

APÊNDICE C – Quadro de frequência horária das linhas do transporte coletivo urbano em Dias Úteis

Cód.	Linha	Sentido	Hora																							Freq. Total			
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	DU	Sáb	Dom
1	NOVO HORIZONTE / CIDADE NOVA	IDA	0	0	0	0	0	1	1	2	1	2	1	3	1	2	2	3	3	2	4	1	1	1	0	0	31	20	13
1	NOVO HORIZONTE / CIDADE NOVA	VOLTA	0	0	0	0	1	3	2	3	2	1	2	1	2	2	2	2	3	1	3	1	1	1	1	0	34	22	14
2	ROMEU DUARTE / GAMAS	IDA	0	0	0	0	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	3	2	4	2	1	0	2	0	0	29	19	9
2	ROMEU DUARTE / GAMAS	VOLTA	0	0	0	0	0	3	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2	0	3	2	0	1	1	0	25	20	9
3	ROMEU DUARTE / CONCESSO ELIAS	IDA	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	1	2	1	1	2	1	0	3	2	1	1	0	1	0	22	11	7
3	ROMEU DUARTE / CONCESSO ELIAS	VOLTA	0	0	0	0	0	1	3	1	1	1	1	2	1	1	2	0	2	0	3	2	0	0	0	0	21	13	8
4	PREFEITURA / SANTA SARA	IDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	0	4	0	0
4	PREFEITURA / SANTA SARA	VOLTA	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0
5	PREFEITURA / BOA VISTA	IDA	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	2	1	0	1	1	1	2	2	0	1	0	1	0	15	9	6
5	PREFEITURA / BOA VISTA	VOLTA	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	2	1	0	0	0	0	0	15	10	6
7	DONA ZELI / ANTÔNIO VENÂNCIO (Via Concesso Elias)	IDA	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	7	0	0
7	DONA ZELI / ANTÔNIO VENÂNCIO (Via Concesso Elias)	VOLTA	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0
8	RODOVIÁRIA / ARÉIAS	IDA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	5	2	2
8	RODOVIÁRIA / ARÉIAS	VOLTA	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	5	2	2
9	CENTRO / BARRETO (BURITI)	IDA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	4	3	2
9	CENTRO / BARRETO (BURITI)	VOLTA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	4	4	2
10	NOVO HORIZONTE / CIDADE NOVA (Via São José)	IDA	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	2	0	0	12	3	2
10	NOVO HORIZONTE / CIDADE NOVA (Via São José)	VOLTA	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	4	0	1	0	0	0	0	0	11	3	2
20	CIDADE NOVA / GAMAS	IDA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
20	CIDADE NOVA / GAMAS	VOLTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
21	CAFEZAL / CIDADE NOVA	IDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
21	CAFEZAL / CIDADE NOVA	VOLTA	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
22	GUMERCINDA MARTINS / CAPÃO	IDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
22	GUMERCINDA MARTINS / CAPÃO	VOLTA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Cód.	Linha	Sentido	Hora																							Freq. Total				
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	DU	Sáb	Dom	
23	SENAI / CHÁCARAS PARANÁ	IDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
23	SENAI / CHÁCARAS PARANÁ	VOLTA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
24	PLANALTO / CAFEZAL	IDA	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
24	PLANALTO / CAFEZAL	VOLTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
25	ROMEU DUARTE / REGINA AMARAL	IDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
25	ROMEU DUARTE / REGINA AMARAL	VOLTA	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
26	GUMERCINDA MARTINS / CONCESSO ELIAS	IDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
26	GUMERCINDA MARTINS / CONCESSO ELIAS	VOLTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	ANTÔNIO VENÂNCIO / SÃO JOSÉ	IDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
31	ANTÔNIO VENÂNCIO / SÃO JOSÉ	VOLTA	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
32	ROMEU DUARTE / SÃO JOSÉ	IDA	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
32	ROMEU DUARTE / SÃO JOSÉ	VOLTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
33	GUMERCINDA MARTINS / SÃO JOSÉ	IDA	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
33	GUMERCINDA MARTINS / SÃO JOSÉ	VOLTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
34	VEREDAS / SÃO JOSÉ	IDA	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
34	VEREDAS / SÃO JOSÉ	VOLTA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
35	CIDADE NOVA / FACULDADE UMA	IDA	SEM QUADRO-HORÁRIO DISPONÍVEL																											
35	CIDADE NOVA / FACULDADE UMA	VOLTA																												
36	NOVAIS DE CIMA / SÃO JOSÉ	IDA																												
36	NOVAIS DE CIMA / SÃO JOSÉ	VOLTA																												

APÊNDICE D – Matriz de ponderação de critérios por avaliador

Tabela 6 - Matriz de ponderações – Especialista 1

MATRIZ DE PONDERAÇÕES															
Critério	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Tipo de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno	Autovetor (w)	n	Produto vetorial (Aw)	Lambda (λ)	Lambda máximo (λ.máx)	IC	IR	RC	Prioridades resultantes
Acessibilidade à rede de transporte coletivo	1	3	3	5	7	5	0,40		2,72	6,87					40%
Densidade populacional	1/3	1	1/3	1	3	5	0,14		0,90	6,56					14%
Tipo de Uso do solo	1/3	3	1	5	5	3	0,25	6	1,76	7,14	6,60	0,12	1,24	0,0972	25%
Média da Renda Familiar	1/5	1	1/5	1	5	3	0,12		0,76	6,46					12%
Posse de veículo	1/7	1/3	1/5	1/5	1	1/3	0,04		0,23	6,37					4%
Declividade do terreno	1/5	1/5	1/3	1/3	3	1	0,06		0,40	6,22					6%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 7 - Matriz de ponderações – Especialista 2

MATRIZ DE PONDERAÇÕES															
Critério	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Tipo de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno	Autovetor (w)	n	Produto vetorial (Aw)	Lambda (λ)	Lambda máximo (λ.máx)	IC	IR	RC	Prioridades resultantes
Acessibilidade à rede de transporte coletivo	1	4	5	6	7	9	0,47		3,25	6,96					47%
Densidade populacional	1/4	1	5	3	3	7	0,22		1,57	6,96					22%
Tipo de Uso do solo	1/5	1/5	1	1	2	5	0,10	6	0,61	6,34	6,50	0,10	1,24	0,0810	10%
Média da Renda Familiar	1/6	1/3	1	1	4	7	0,13		0,79	6,27					13%
Posse de veículo	1/7	1/3	1/2	1/4	1	3	0,06		0,36	6,27					6%
Declividade do terreno	1/9	1/7	1/5	1/7	1/3	1	0,03		0,17	6,21					3%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 8 - Matriz de ponderações – Especialista 3

MATRIZ DE PONDERAÇÕES															
Critério	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Tipo de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno	Autovetor (w)	n	Produto vetorial (Aw)	Lambda (λ)	Lambda máximo ($\lambda_{\text{máx}}$)	IC	IR	RC	Prioridades resultantes
Acessibilidade à rede de transporte coletivo	1	7	2	9	5	7	0,48		3,53	7,37					48%
Densidade populacional	1/7	1	3	3	5	2	0,20		1,29	6,38					20%
Tipo de Uso do solo	1/2	1/3	1	1	2	2	0,12	6	0,75	6,13	6,52	0,10	1,24	0,0847	12%
Média da Renda Familiar	1/9	1/3	1	1	1	1	0,07		0,44	6,37					7%
Posse de veículo	1/5	1/5	1/2	1	1	1	0,06		0,39	6,22					6%
Declividade do terreno	1/7	1/2	1/2	1	1	1	0,06		0,43	6,67					6%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 9 - Matriz de ponderações – Especialista 4

MATRIZ DE PONDERAÇÕES															
Critério	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Tipo de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno	Autovetor (w)	n	Produto vetorial (Aw)	Lambda (λ)	Lambda máximo ($\lambda_{\text{máx}}$)	IC	IR	RC	Prioridades resultantes
Acessibilidade à rede de transporte coletivo	1	5	3	5	7	5	0,41		2,85	7,02					41%
Densidade populacional	1/5	1	1/7	3	3	3	0,12		0,75	6,29					12%
Tipo de Uso do solo	1/3	7	1	5	7	5	0,31	6	2,21	7,24	6,53	0,11	1,24	0,0859	31%
Média da Renda Familiar	1/5	1/3	1/5	1	1	1	0,06		0,35	6,27					6%
Posse de veículo	1/7	1/3	1/7	1	1	1/3	0,04		0,26	6,25					4%
Declividade do terreno	1/5	1/3	1/5	1	3	1	0,07		0,44	6,12					7%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 10 - Matriz de ponderações – Especialista 5

MATRIZ DE PONDERAÇÕES															
Critério	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Tipo de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno	Autovetor (w)	n	Produto vetorial (Aw)	Lambda (λ)	Lambda máximo ($\lambda_{\text{máx}}$)	IC	IR	RC	Prioridades resultantes
Acessibilidade à rede de transporte coletivo	1	3	4	6	6	9	0,43		2,91	6,74					
Densidade populacional	1/3	1	2	4	4	9	0,23		1,53	6,81					43%
Tipo de Uso do solo	1/4	1/2	1	3	3	9	0,16	6	1,06	6,70	6,51	0,10	1,24	0,0829	16%
Média da Renda Familiar	1/6	1/4	1/3	1	1	8	0,08		0,52	6,36					8%
Posse de veículo	1/6	1/4	1/3	1	1	8	0,08		0,52	6,36					8%
Declividade do terreno	1/9	1/9	1/9	1/8	1/8	1	0,02		0,13	6,12					2%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 11 - Matriz de ponderações – Especialista 6

MATRIZ DE PONDERAÇÕES															
Critério	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Tipo de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno	Autovetor (w)	n	Produto vetorial (Aw)	Lambda (λ)	Lambda máximo ($\lambda_{\text{máx}}$)	IC	IR	RC	Prioridades resultantes
Acessibilidade à rede de transporte coletivo	1	1/7	1/5	1/3	3	3	0,08		0,49	6,47					8%
Densidade populacional	7	1	2	3	7	7	0,39		2,59	6,59					39%
Tipo de Uso do solo	5	1/2	1	2	7	5	0,26	6	1,69	6,62	6,40	0,08	1,24	0,0646	26%
Média da Renda Familiar	3	1/3	1/2	1	7	7	0,19		1,26	6,55					19%
Posse de veículo	1/3	1/7	1/7	1/7	1	1/3	0,03		0,19	6,13					3%
Declividade do terreno	1/3	1/7	1/5	1/7	3	1	0,05		0,31	6,04					5%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 12 - Matriz de ponderações – Especialista 7

MATRIZ DE PONDERAÇÕES															
Critério	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Tipo de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno	Autovetor (w)	n	Produto vetorial (Aw)	Lambda (λ)	Lambda máximo (λ_{\max})	IC	IR	RC	Prioridades resultantes
Acessibilidade à rede de transporte coletivo	1	3	1	1	3	9	0,26		1,59	6,17					26%
Densidade populacional	1/3	1	1/3	1/3	1	7	0,10		0,62	6,11					10%
Tipo de Uso do solo	1	3	1	1	3	9	0,26	6	1,59	6,17	6,12	0,02	1,24	0,0200	26%
Média da Renda Familiar	1	3	1	1	3	9	0,26		1,59	6,17					26%
Posse de veículo	1/3	1	1/3	1/3	1	7	0,10		0,62	6,11					10%
Declividade do terreno	1/9	1/7	1/9	1/9	1/7	1	0,02		0,14	6,01					2%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 13 - Matriz de ponderações – Especialista 8

MATRIZ DE PONDERAÇÕES															
Critério	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Tipo de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno	Autovetor (w)	n	Produto vetorial (Aw)	Lambda (λ)	Lambda máximo (λ_{\max})	IC	IR	RC	Prioridades resultantes
Acessibilidade à rede de transporte coletivo	1	2	9	3	4	8	0,37		2,41	6,44					37%
Densidade populacional	1/2	1	9	3	4	8	0,30		1,93	6,54					30%
Tipo de Uso do solo	1/9	1/9	1	1/6	1/5	1/2	0,03	6	0,17	6,14	6,29	0,06	1,24	0,0463	3%
Média da Renda Familiar	1/3	1/3	6	1	3	5	0,16		1,05	6,43					16%
Posse de veículo	1/4	1/4	5	1/3	1	4	0,10		0,62	6,11					10%
Declividade do terreno	1/8	1/8	2	1/5	1/4	1	0,04		0,24	6,06					4%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 14 - Matriz de ponderações – Especialista 9

MATRIZ DE PONDERAÇÕES															
Critério	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Tipo de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno	Autovetor (w)	n	Produto vetorial (Aw)	Lambda (λ)	Lambda máximo ($\lambda_{\text{máx}}$)	IC	IR	RC	Prioridades resultantes
Acessibilidade à rede de transporte coletivo	1	1	2	5	5	1	0,26		1,74	6,74					
Densidade populacional	1	1	2	5	5	1	0,26		1,74	6,74					26%
Tipo de Uso do solo	1/2	1/2	1	5	5	1	0,19	6	1,29	6,82	6,56	0,11	1,24	0,0900	19%
Média da Renda Familiar	1/5	1/5	1/5	1	1	1	0,07		0,44	6,36					7%
Posse de veículo	1/5	1/5	1/5	1	1	1	0,07		0,44	6,36					7%
Declividade do terreno	1	1	1	1	1	1	0,16		1,00	6,34					16%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 15 - Matriz de ponderações – Especialista 10

MATRIZ DE PONDERAÇÕES															
Critério	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Tipo de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno	Autovetor (w)	n	Produto vetorial (Aw)	Lambda (λ)	Lambda máximo ($\lambda_{\text{máx}}$)	IC	IR	RC	Prioridades resultantes
Acessibilidade à rede de transporte coletivo	1	1	5	3	7	8	0,35		2,51	7,08					
Densidade populacional	1	1	2	3	7	8	0,30		1,97	6,65					35%
Tipo de Uso do solo	1/5	1/2	1	4	4	6	0,18	6	1,20	6,70	6,56	0,11	1,24	0,0903	18%
Média da Renda Familiar	1/3	1/3	1/4	1	2	1/2	0,07		0,45	6,07					7%
Posse de veículo	1/7	1/7	1/4	1/2	1	1	0,04		0,27	6,55					4%
Declividade do terreno	1/8	1/8	1/6	2	1	1	0,06		0,36	6,31					6%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 16 - Matriz de ponderações – Especialista 11

MATRIZ DE PONDERAÇÕES															
Critério	Acessibilidade à rede de transporte coletivo	Densidade populacional	Tipo de Uso do solo	Média da Renda Familiar	Posse de veículo	Declividade do terreno	Autovetor (w)	n	Produto vetorial (Aw)	Lambda (λ)	Lambda máximo (λ_{\max})	IC	IR	RC	Prioridades resultantes
Acessibilidade à rede de transporte coletivo	1	1/3	1/3	1/7	1/3	1	0,05		0,29	6,16					5%
Densidade populacional	3	1	1	1/5	1	5	0,13		0,81	6,18					13%
Tipo de Uso do solo	3	1	1	1/9	1	5	0,12	6	0,76	6,22	6,28	0,06	1,24	0,0447	12%
Média da Renda Familiar	7	5	9	1	7	9	0,55		3,75	6,80					55%
Posse de veículo	3	1	1	1/7	1	3	0,11		0,70	6,28					11%
Declividade do terreno	1	1/5	1/5	1/9	1/3	1	0,04		0,23	6,02					4%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)