



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

Victor Marques Caldeira

**MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO DE SEGMENTOS PARA O PLANEJAMENTO
CICLOVIÁRIO:
UM ESTUDO DE CASO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS**

Florianópolis
2019

Victor Marques Caldeira

**MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO DE SEGMENTOS PARA O PLANEJAMENTO
CICLOVIÁRIO:
UM ESTUDO DE CASO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS**

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

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Hering
Coelho

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra.

Caldeira, Victor Marques

Método de priorização de segmentos para o planejamento cicloviário : Um estudo de caso da Grande Florianópolis / Victor Marques Caldeira ; orientador, Alexandre Hering Coelho, 2019.

107 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2. Sistemas de transportes. 3. Planejamento cicloviário. 4. Priorização de segmentos. 5. Sistema de informações geográficas. I. Coelho, Alexandre Hering. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. III. Título.

Victor Marques Caldeira

**MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO DE SEGMENTOS PARA O PLANEJAMENTO
CICLOVIÁRIO: UM ESTUDO DE CASO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS**

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

Prof. Eduardo Lobo, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. João Carlos Souza, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Werner Kraus Junior, Ph.D.

Universidade Federal de Santa Catarina

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.

Prof. Norberto Hochheim, Dr.

Coordenador do Programa

Prof. Alexandre Hering Coelho, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2019.

Dedico este trabalho a todos aqueles que de sua própria propulsão se locomovem, muitas vezes imperceptíveis entre máquinas energeticamente dispendiosas, torcendo para ao seu destino chegar com segurança.

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço ao povo brasileiro, e a todos os colaboradores e colaboradoras da Universidade Federal de Santa Catarina, instituição pública e de qualidade, que me proporcionou a possibilidade de realizar meus estudos até aqui, em condições financeiras e sociais dignas e acessíveis.

Ao meu orientador, professor doutor Alexandre Hering Coelho, quem sempre dispensou os pronomes de tratamento, pela atenção e dedicação empregadas neste trabalho junto comigo.

À minha mãe, Sueli, pelo esforço e carinho desprendidos durante meu desenvolvimento como pessoa e na busca pela qualificação pessoal, profissional e social.

Ao meu pai, José, pela preocupação e orientação em todas as instâncias da vida, sempre apoiando para que eu estivesse aqui hoje.

À minha irmã Vivian que, assim como eu, ainda se aventura pelas jornadas da academia e do mundo profissional fora dela.

À Bianca, que sempre me apoiou incondicionalmente nas dúvidas e incertezas deste percurso e contribuiu nas mais variadas discussões acerca deste tema.

A todos os meus amigos e companheiros de vida que foram fundamentais, cada um em sua instância, para que este trabalho fosse concluído. Sejam os que estão próximos, em Florianópolis, ou àqueles que se fazem presentes de outras formas, estando fisicamente em Toledo, São Paulo ou em várias outras partes do mundo.

Agradeço ao professor Amir e ao LabTrans pela referência e pela oportunidade de aprendizado proporcionada desde antes da minha graduação como engenheiro e pelo meu primeiro emprego após ela; especialmente ao Rodolfo, mestre, quem também sempre dispensou os pronomes de tratamento, que foi meu coordenador por todo este período e amigo de diversos momentos. Agradeço também a todos os meus amigos de laboratório que, de alguma forma, participaram deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos e todas que estudaram e pesquisaram antes de mim temas correlatos às cidades mais sustentáveis e inclusivas, de forma a permitir esta minha pequena contribuição para o tema e para os próximos passos que daremos em direção a este objetivo comum.

“Mestre não é quem sempre ensina, mas quem de repente aprende.”
(João Guimarães Rosa, Grande Sertão: Veredas).

RESUMO

Considerando o atual contexto ambiental e de saturação viária das cidades em âmbito mundial, a bicicleta se torna um meio de transporte importante na redistribuição modal dos deslocamentos urbanos. Tendo isso em vista, este trabalho desenvolve um método de planejamento que se utiliza de processamento de dados por meio de sistemas de informação geográfica (SIG) e de dados gratuitos, possíveis de coleta sistemática, para desenvolver um índice de priorização de segmentos viários, visando à melhoria da oferta de infraestrutura vocacionada aos ciclistas. O índice é composto por quatro variáveis, definidas com base em referencial teórico da área e de critérios metodológicos: demanda alocada, demanda alvo, escolha sintática e declividade longitudinal. As variáveis recebem pesos por meio do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), gerando o valor de avaliação de cada alternativa, que é aplicado no modelo em células com 150 metros de lado, que representam o valor de prioridade dos segmentos por ela abrangidos, estruturados de 1 (o menor valor de prioridade) até 10 (maior valor de prioridade possível). A aplicação do método foi realizada na área conurbada dos municípios da Grande Florianópolis, a saber: Florianópolis, São José, Palhoça e Biguaçu. As análises dos resultados apontaram para a convergência dos segmentos com mais alta prioridade e a oferta da infraestrutura já implantada na área de estudo, bem como para descontinuidades, ausências de infraestrutura em locais prioritários e alocação de eixos em vias com potencial inferior ao ciclismo em detrimento de corredores próximos com características mais propícias. Também foi realizada análise do atendimento a população residente com base nos segmentos de prioridade com a finalidade de identificar o impacto de cada faixa dos valores de prioridade dos segmentos.

Palavras-chave: sistemas de transportes; planejamento cicloviário; priorização de segmentos; sistema de informações geográficas; processo analítico hierárquico.

ABSTRACT

Considering the current environmental context and the road saturation of the cities around the world, cycling becomes an important mean of transportation in the modal redistribution of urban commuting. In this view, this dissertation develops a planning method that uses geographic information systems (GIS) and free access data, with systematic collection, to develop a priority index of road segments, aimed at improving the provision of cyclist-oriented infrastructure. The index is composed of four variables, defined based on the theoretical framework of the area and methodological criteria: allocated demand, target demand, syntactic choice and longitudinal slope. Thus, variables are weighted using the Analytic Hierarchy Process (AHP), generating the evaluation value of each alternative, which is applied to the model in cells with 150 meters side, representing the priority value of the segments it covers, structured from one (lowest priority value) to ten (highest priority value possible). The method was applied in the conurbated area of the cities of Grande Florianópolis, namely: Florianópolis, São José, Palhoça and Biguaçu. The analysis of the results pointed to the convergence of the highest priority segments and the offer of the infrastructure already implemented in the study area, as well as for discontinuities, lack of infrastructure in priority locations and axle allocation on roads with lower potential than cycling at the expense of nearby corridors with more favorable characteristics. It was also performed analysis of the attendance to the resident population based on the priority segments in order to identify the impact of each range of the priority values of the segments.

Keywords: transportation systems; cycle planning; segment prioritization; geographic information system; hierarchical analytical process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura clássica de modelagem de transportes.....	7
Figura 2 – Áreas prioritárias para novas infraestruturas cicláveis em Montreal	11
Figura 3 – Superfície de custos acumulados dos cenários 1 e 2 em Belo Horizonte	12
Figura 4 – Modelo de hierarquia em três níveis	14
Figura 5 – Modelo de traçado de linhas axiais e sua conectividade.....	18
Figura 6 – Fluxograma dos fatores que influenciam o uso da bicicleta	19
Figura 7 – Nível de concordância com as afirmações	20
Figura 8 – Condições gerais de aplicação de estruturas cicláveis	27
Figura 9 - Exemplo de ciclofaixa	28
Figura 10 - Alternativas para implantação de ciclofaixas	29
Figura 11 - Exemplo de ciclovía.....	30
Figura 12 - Exemplo de paraciclo.....	31
Figura 13 - Exemplo de bicicletário	32
Figura 14 – Fluxograma das etapas do trabalho	33
Figura 15 – Árvore de decisão <i>AHP</i>	41
Figura 16 – Delimitação da área de estudos	43
Figura 17 – Comparativo do índice de mobilidade (viagens/habitante).....	44
Figura 18 – Repartição modal dos municípios da área de estudo	45
Figura 19- Visão geral da distribuição espacial das estruturas cicláveis na área de estudo	46
Figura 20 - Infraestrutura ciclável existente na porção norte da área de estudo	47
Figura 21 - Infraestrutura ciclável existente na porção central da área de estudo.....	48
Figura 22 - Infraestrutura ciclável existente na porção sul da área de estudo	49
Figura 23 – Recorte da infraestrutura viária	50
Figura 24 - Histograma de valores da variável declividade do terreno	52
Figura 25 – Variável declividade.....	53
Figura 26 – Valores da medida sintática escolha na porção central	54
Figura 27 - Histograma de valores da variável escolha sintática	55
Figura 28 - Variável escolha.....	56
Figura 29 - Recorte dos centroides das zonas de tráfego	57
Figura 30 - Histograma de valores da variável demanda alocada	59
Figura 31 – Variável demanda alocada	60
Figura 32 - Distribuição das viagens realizadas por bicicleta de acordo com a distância percorrida.....	61
Figura 33 - Distribuição das viagens realizadas em veículos motorizados de acordo com a distância percorrida.....	62
Figura 34 - Histograma de valores da variável demanda alvo	63
Figura 35 - Variável demanda alvo	64
Figura 36 - Valor de priorização resultante	67
Figura 37 - Comparativo entre o índice de priorização e a infraestrutura cicloviária existente - norte	70
Figura 38 - Rua Cândido Pereira dos Anjos	70
Figura 39 - Comparativo entre o índice de priorização e a infraestrutura cicloviária existente - centro.....	71
Figura 40 - Ciclovía Avenida Acioni Souza Filho (Beira-Mar de São José)	72
Figura 41 - Ciclovía da Avenida Claudio A. Barbosa (Beira-Mar Continental).....	72
Figura 42 - Posicionamento da ciclovía na Avenida Gov. Aderbal Ramos da Silva	73
Figura 43 - Avenida Presidente Kennedy.....	73

Figura 44 - Rua Fúlvio Aducci	74
Figura 45 - Avenida Jorge Lacerda.....	74
Figura 46 - Comparativo entre o índice de priorização e a infraestrutura cicloviária existente - sul.....	75
Figura 47 - Evolução da população atendida dados os segmentos com valor de prioridade acumulada.....	77
Figura 48 - Correlação entre estimativa do sistema viário impactado e os valores de priorização acumulados.....	78
Figura 49 - Comparativo entre segmentos prioritários agrupados até os valores 5 e 4 ..	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala fundamental de números absolutos (<i>AHP</i>)	14
Tabela 2 - Índice randômico de consistência médio	16
Tabela 3 - Valores limite de RC para consistência	16
Tabela 4 – Fatores que influenciam na escolha modal	21
Tabela 5 – Lista de fatores ligados à segurança	22
Tabela 6 – Lista de fatores ligados ao conforto	24
Tabela 7 – Lista de fatores ligados ao projeto da via.....	25
Tabela 8 – Lista de fatores ligados à sinalização	25
Tabela 9 – Variáveis definidas para o modelo	35
Tabela 10 – Dados socioeconômicos da área de estudos.....	44
Tabela 11 - Extensão da infraestrutura ciclável da Grande Florianópolis	45
Tabela 12 – Valores normalizados da variável declividade do terreno	51
Tabela 13 - Valores normalizados da variável escolha.....	55
Tabela 14 – Participação da bicicleta nos deslocamentos.....	58
Tabela 15 - Valores normalizados da variável demanda alocada	58
Tabela 16 - Valores normalizados da variável demanda alvo.....	62
Tabela 17 – Matriz Comparação	65
Tabela 18 - Matriz Normalizada	65
Tabela 19 - Auto Vetor Principal	66
Tabela 20 - Ações recomendadas por tipo de ocorrência	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

CTB – Código de Trânsito Brasileiro

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

FMB – Fórum Mundial da Bicicleta

FHWA – Federal Highway Administration

GEIPOT – Empresa Brasileira de Planejamento de Transporte

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

ITE – *Institute of Transportation Engineers*

OSM – *Open Street Map*

PLAMUS – Plano de Mobilidade Urbana Sustentável

UCL – *University College London*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.1.1	Objetivo geral	2
1.1.2	Objetivos específicos	2
1.2	JUSTIFICATIVA	3
2	REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1	HISTÓRICO DO PLANEJAMENTO CICLOVIÁRIO	5
2.2	MÉTODOS E FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO	6
2.2.1	Estrutura clássica da modelagem de transportes	7
2.2.2	Alocação de viagens	8
2.2.3	Geoprocessamento no planejamento cicloviário	9
2.3	ANÁLISE MULTICRITÉRIO	12
2.4	TEORIA DA SINTAXE ESPACIAL	16
2.5	FATORES DE INFLUÊNCIA NO USO DA BICICLETA	18
2.5.1	Fatores ligados à segurança viária	21
2.5.2	Fatores ligados ao conforto	24
2.5.3	Fatores ligados ao projeto geométrico e de sinalização da via	24
2.5.4	Extensão dos deslocamentos e participação modal	25
2.6	COMPONENTES DO SISTEMA CICLOVIÁRIO.....	26
2.6.1	Tipos de vias	26
2.6.2	Outros componentes	31
3	MÉTODO	33
3.1	RECURSOS DE SOFTWARE UTILIZADOS.....	34
3.2	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS	35
3.3	AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS	36
3.3.1	Infraestrutura viária	37
3.3.2	Declividade longitudinal	37
3.3.3	Escolha sintática	38
3.3.4	Demanda alocada	38
3.3.5	Demanda alvo	39
3.3.6	Estruturação das variáveis	40
3.4	ANÁLISE MULTICRITÉRIO	41

4	APLICAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO	43
4.1	ÁREA DE ESTUDO	43
4.1.1	Estrutura ciclável existente na área norte	47
4.1.2	Estrutura ciclável existente na área central	48
4.1.3	Estrutura ciclável existente na área sul	48
4.2	ESTRUTURAÇÃO DA INFRAESTRUTURA VIÁRIA	49
4.3	ESTRUTURAÇÃO DAS VARIÁVEIS	50
4.3.1	Declividade longitudinal.....	50
4.3.2	Escolha sintática.....	54
4.3.3	Demanda alocada	56
4.3.4	Demanda alvo	60
4.4	APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO.....	64
5	ANÁLISE	69
5.1	AVALIAÇÃO DOS SEGMENTOS DE MAIOR PRIORIDADE.....	69
5.1.1	Análise da área norte	69
5.1.2	Análise da área central	71
5.1.3	Análise da área sul	75
5.2	O INCREMENTO DE INFRAESTRUTURA CICLÁVEL E A POPULAÇÃO ATENDIDA	76
6	CONCLUSÕES	81
7	RECOMENDAÇÕES	85
	REFERÊNCIAS	87
	APÊNDICE A	93

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem se evidenciado a necessidade de promoção sistemática de alternativas ao modo motorizado individual de transportes nas cidades.

Os crescentes problemas de congestionamento e poluição atmosférica têm deslocado esforços dos planejadores urbanos em direção aos modos mais eficientes do ponto de vista de utilização do espaço público e dos impactos ambientais (VALLEJO, 2009; WRIGHT, 2005).

O incremento da participação da bicicleta na divisão modal dos deslocamentos urbanos é recorrentemente apontado como alternativa para redução do congestionamento viário, da dependência energética e dos problemas ambientais (NOLAND e KUNREUTHER, 1995).

Providelo e Sanches (2010) e Cardoso e Campos (2016), levantam que a sensação de segurança é um fator primordial para a adesão ou não à bicicleta. Neste cenário, a oferta de infraestrutura vocacionada para a bicicleta (ciclovias, ciclofaixas e ciclorotas) é cada vez mais demandada.

Considerando a limitação da oferta de recursos para investimento público na área, é necessário o estabelecimento de parâmetros e critérios para a priorização de áreas para implantação destas infraestruturas.

Bannister et al. (1988), Herz (1985), Newby (1993) e Waldman (1977), proveram evidências de que o gradiente do terreno é um importante fator de influência na escolha pela bicicleta para os deslocamentos rotineiros. FHWA (1992) aponta que a distância a ser percorrida, a oferta de infraestrutura, bem como a continuidade e conectividade das rotas são fatores importantes neste quesito.

Tendo por base os fatores que influenciam na escolha pelo modo, é possível observar na literatura especializada o estudo de dois tipos de modelagem: a que visa à identificação do melhor caminho entre dois polos geradores determinados, considerando características geométricas da via (DUTHIE, UNNIKISHNAN e ASCE, 2014; CARDOSO e CAMPOS, 2016); e as que visam identificar eixos prioritários na estrutura viária urbana para o investimento em infraestrutura para o ciclista, independentemente das características de projeto geométrico do sistema viário (LARSEN, PATTERSON e EL-GENEIDY, 2012; SOUZA E NÓBREGA, 2016).

Os dois formatos de modelagem visando o planejamento ciclovitário citados possuem suas particularidades e fase de aplicação. Em linhas gerais, os modelos que visam à identificação dos melhores caminhos entre dois ou mais polos geradores são aplicados em áreas de estudo da proporção de um bairro ou conjunto não muito maiores destes; é necessária

a existência de dados em nível detalhado da área de intervenção, como, por exemplo, as velocidades médias e volumes de tráfego, largura útil de vias, existência de estacionamentos, dentre outros.

Quando nos voltamos para modelos que visam à identificação de eixos prioritários, em geral, trata-se de um planejamento em escala macro, que pode tratar de bairros ou conjuntos destes, bem como de zonas de municípios ou mesmo de conjuntos metropolitanos. A necessidade de dados detalhados da área de estudo, neste caso, é menor, possibilitando, a depender do modelo, a coleta sistemática de informações.

Pode-se dizer também, que os dois formatos de modelo contemplam momentos distintos no processo de planejamento, seja o último em escala estratégica e o primeiro em escala de projeto.

Este trabalho tem enfoque no macro planejamento cicloviário, por ser o tipo de modelo encontrado em menor ocorrência nas pesquisas sobre o tema, de forma a prover subsídios para a compreensão da dinâmica de circulação possível e eficiente nos quatro municípios conurbados da região da Grande Florianópolis.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é contribuir metodologicamente na elaboração de um índice para a priorização de segmentos para oferta ou incremento de estrutura ciclável, com base na seleção e quantificação de variáveis, por meio de método de escolha multicritério e sistemas de informações geográficas.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a. identificar variáveis que impactam no uso da bicicleta;
- b. identificar os dados disponíveis para coleta sistemática;
- c. elaborar e aplicar um método em uma área de estudo;
- d. analisar os segmentos prioritários apontados na aplicação do método com as estruturas cicláveis já existentes e planejadas na área de estudo.

1.2 JUSTIFICATIVA

A Política Nacional de Mobilidade Urbana, instituída por meio da Lei nº 12.587/2012 preconiza que, em municípios que não possuam sistemas de transporte coletivo urbano, o foco das políticas públicas seja no favorecimento aos deslocamentos a pé e por bicicleta (BRASIL, 2012). Nos demais municípios, estabeleceu-se a prioridade dos modos não motorizados sobre os motorizados.

A Política também instituiu diretrizes referentes à segurança nos deslocamentos das pessoas, a justa distribuição dos benefícios e ônus decorrentes do uso dos diferentes modos de transporte, a equidade do espaço público, a redução das desigualdades e a promoção do desenvolvimento sustentável com a mitigação dos custos ambientais incorridos nos deslocamentos das pessoas.

De acordo com ANTP (2018), apesar de representar em média 2% dos deslocamentos dos centros urbanos, no ano de 2016, foram realizadas mais de 1,6 bilhão de viagens por bicicleta como meio de transporte principal nos 533 municípios com mais de 60 mil habitantes, integrantes do sistema de informação da mobilidade da ANTP.

Sendo o transporte não motorizado, o que engloba o cicloviário, alçado à prioridade no que tange o planejamento dos transportes urbanos, tanto considerando o meio técnico e acadêmico, como também o arcabouço jurídico brasileiro, torna-se necessário o estudo de modelos de planejamento cicloviário.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo está dividido em seis partes. A primeira apresenta um breve relato de modelos de planejamento cicloviário identificados na literatura especializada, na forma de histórico.

Posteriormente são tratados os métodos e ferramentas deste planejamento, o que abrange: a estrutura clássica da modelagem de transportes; o detalhamento teórico do processo de alocação de viagens; e o geoprocessamento aliado ao planejamento cicloviário.

A terceira e a quarta parte são dedicadas à apresentação das técnicas de análise multicritério e da teoria da sintaxe espacial, que são ferramentas úteis na construção deste trabalho.

Por fim, as duas últimas partes deste capítulo abordam os fatores de influência no uso da bicicleta e os principais componentes do sistema cicloviário.

2.1 HISTÓRICO DO PLANEJAMENTO CICLOVIÁRIO

Larsen et al. (2012) sustenta que em meados dos anos 1990 ocorreu uma explosão no interesse e na pesquisa referente ao planejamento do transporte cicloviário. A partir de então, as pesquisas nesta área geralmente se dividiram em quatro grandes temas.

No primeiro deles, alguns autores, como Hopkinson e Wardman (1996), Ortuzar, Iacobelli e Valeze (2000) e Krizek (2007), analisaram a infraestrutura ciclável do ponto de vista da relação de custo e benefício para o investimento público.

O segundo tema de pesquisas procurou identificar como a infraestrutura e o meio natural afetam o comportamento dos ciclistas. Algumas das pesquisas nesta área encontraram relação entre a melhoria da infraestrutura e o incremento de ciclistas. Nelson e Allen (1997) e Dill e Carr (2003), realizaram estudos envolvendo cidades com e sem infraestruturas vocacionadas ao transporte por bicicleta e encontram correlação entre a participação da bicicleta na repartição modal dos deslocamentos e a oferta de infraestrutura voltada aos ciclistas. Outros estudos apontaram que a presença de ciclovias, ciclofaixas e ciclorotas tinha impacto direto na escolha de certas rotas pelos ciclistas (CERVERO et al, 2009; LARSEN E EL-GENEIDY, 2011).

O terceiro tema, de acordo com Larsen et al. (2012), sugere que a implantação isolada de apenas infraestruturas cicláveis torna-se insuficiente para uma adequada atração de novos ciclistas (HANDY e XING, 2011; NOLAND, DEKA e WALIA, 2011).

Pucher, Komanoff e Schimek (1999) observaram que as denominadas “medidas leves”, tais como: a educação para o ciclismo, o treinamento de motoristas, e as estratégias de promoção cultural de que o ciclismo é um modo de transporte como todos os outros, possuem uma similar importância à oferta de infraestrutura para o incentivo de novos usuários.

O quarto tema da literatura de transportes para bicicletas, segundo Larsen et al. (2012), compreende o estudo das questões de segurança viária das estruturas para o ciclismo. Existem estudos que buscam mensurar a redução dos acidentes promovidos após a implantação estruturas cicláveis, por outro lado, existem estudos argumentando que os ciclistas podem facilmente trafegar em condições de tráfego misto, e que existe um falso senso de segurança derivado das infraestruturas ciclísticas (FORRESTER, 2001). De qualquer modo, há uma crescente evidência de que a percepção de perigo desmotiva o uso da bicicleta como modo de transporte, mesmo que o nível de perigo não seja necessariamente alto (GERRAR, ROSE e LO, 2008).

Nessa mesma linha, há estudos que sugerem que andar de bicicleta em estruturas segregadas do trânsito de veículos proporciona uma melhor observação por parte do ciclista dos fatores de risco que vêm de fora do que trafegando em estruturas compartilhadas (LUSK et al, 2011).

Em síntese, é possível dividir estes quatro grandes temas de estudo como sendo: avaliação de custos e benefícios; correlação entre infraestrutura e comportamento dos ciclistas; o estudo e a importância das “medidas leves”; e a segurança na circulação viária.

Nos últimos anos, com base no conhecimento consolidado por meio das pesquisas destes temas, os resultados têm contribuído para o estudo de modelos que buscam formas de priorização e critérios para alocação, sistemática, de infraestruturas de apoio ao ciclismo (LARSEN, PATTERSON e EL-GENEIDY, 2013; CARDOSO e CAMPOS, 2016; SOUZA e NÓBREGA, 2016; GUERREIRO et al, 2017). É nesta área que o estudo aqui proposto buscou contribuir metodologicamente com o tema.

2.2 MÉTODOS E FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO

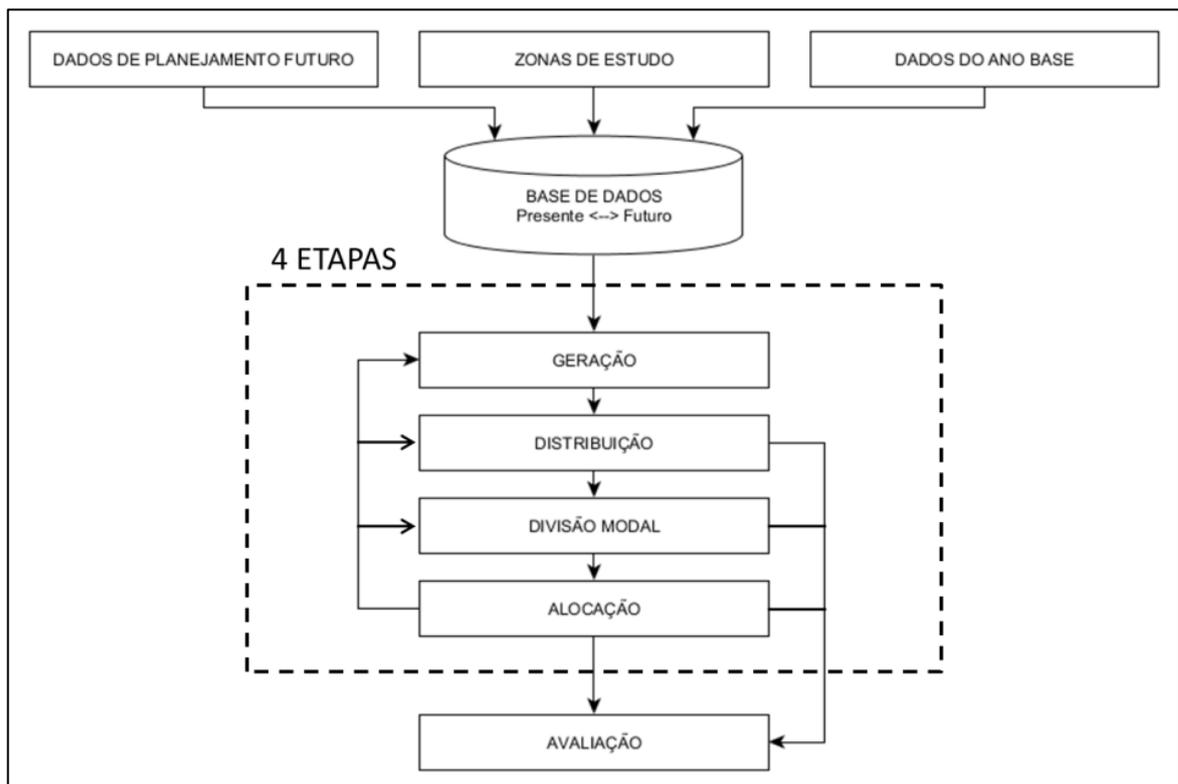
Esta seção aborda a estruturação clássica da modelagem de transportes: o modelo quatro etapas, com especial ênfase para a etapa de alocação de viagens.

Por fim, são apresentados métodos de planejamento que utilizam geoprocessamento a fim da identificação e priorização de corredores para investimento em infraestrutura ciclável, objeto este alinhado com o tema do presente estudo.

2.2.1 Estrutura clássica da modelagem de transportes

Segundo Ortúzar e Willumsen (2011), o planejamento de transportes tem por base uma estrutura que foi pouco modificada desde a década de 1960, constituindo-se assim como estrutura clássica de planejamento de modelos de transporte, que possui em seu cerne o modelo quatro etapas, apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura clássica de modelagem de transportes



Fonte: Adaptado de Ortúzar e Willumsen (2011)

Os autores caracterizam brevemente as quatro etapas da seguinte forma:

- a. Geração de viagens: são modelos utilizados para estimar a quantidade de viagens produzidas e atraídas em cada zona de tráfego com base no uso e ocupação do solo, fatores socioeconômicos, e demais variáveis da área de estudo;
- b. Distribuição de viagens: buscam correlacionar as viagens obtidas na etapa anterior em destinos particulares, dando origem a uma matriz de origem e destino das viagens;

- c. Divisão modal: buscam modelar a escolha pelo modo de transporte, resultando na divisão modal das viagens, ou seja, a distribuição das viagens nas matrizes dos diferentes modos;
- d. Alocação de viagens: alocam as viagens de cada modo de transporte em suas redes correspondentes: tipicamente o viário e as redes de transporte coletivo.

Considerando os objetivos deste trabalho, a etapa de alocação de viagens é particularmente relevante e será detalhada neste capítulo. As demais etapas do modelo não serão utilizadas dado que o trabalho não se utilizará de modelagem de demanda futura.

2.2.2 Alocação de viagens

Segundo Campos (2013) e Hutchinson (1974), as técnicas de alocação de viagens tiveram seu início nos anos 1950, quando foram se tornando necessários estudos que embasassem a implantação de novas vias de circulação nas grandes cidades. Isso se deu devido ao agudo crescimento populacional oriundo da expansão urbana, o que acarretou sensível aumento na circulação de veículos.

Na alocação das viagens, é realizada a interação entre a demanda por transporte, representada por matrizes de fluxos (origens e destinos) e a oferta de infraestrutura de transportes (SENNÁ, 2014).

Existem diversos métodos para seleção de rotas, em sua grande maioria, desenvolvidos para alocação de viagens realizadas por veículos motorizados, geralmente baseados em variações da seleção do menor caminho (GHANAYIM e BEKHOR, 2018). Isto se deve ao aumento e à facilidade de utilização do transporte individual, cuja demanda crescente fez com que surgissem os constantes congestionamentos nos grandes centros urbanos (CAMPOS, 2013).

O método a ser utilizado, de acordo com Bruton (1979), varia de acordo com o propósito do estudo e o grau de sofisticação requerido nos resultados. A seguir são apresentados os procedimentos clássicos, segundo Campos (2013), utilizados com o objetivo de distribuir o fluxo numa dada rede, a partir de dados de demanda oriundos de uma matriz de origens e destinos:

- a. Técnica das curvas de desvio: foram as primeiras tentativas de desenvolver métodos de alocação (HUTCHINSON, 1974). São técnicas de dois caminhos ou curvas de desvio que tentavam prever a quantidade de tráfego que seria desviada

para uma rodovia do sistema de uma rua arterial. Por está técnica, o volume de tráfego entre uma origem e um destino é dividido entre duas rotas “aparentemente” concorrentes e se baseia em curvas de distribuição de fluxo a partir de dados observados em uma região com características semelhantes às estudadas.

- b. Método tudo ou nada: segundo Campos (2013), se baseia no conceito de que, definida a melhor rota entre uma origem e um destino, todo o fluxo passaria por esta rota, independentemente da capacidade dela. Este método pressupõe que não há efeitos de congestionamento e que todos os motoristas consideram os mesmos atributos para escolha das rotas (ORTUZAR e WILLUMSEN, 2011).
- c. Métodos de alocação com restrição de capacidade: a atribuição por restrição de capacidade, segundo Bruton (1979), é um método que trata dos ramos supercarregados de uma rede. Envolve a construção de árvores de caminhos.

Dentre os métodos citados, e considerando a bibliografia específica de métodos de planejamento cicloviário, o método usualmente empregado é o tudo-ou-nada. O fato se deve, principalmente, pelos planejamentos realizados em macro escala não tratarem, em geral, da questão da capacidade, e sim da existência de infraestrutura ciclável em vias planejadas ao tráfego motorizado e, algumas vezes, pedonal.

A técnica das curvas desvio correlaciona rotas hierarquicamente e espacialmente concorrentes entre si e a distribuição do fluxo se baseia em dados observados em regiões com características semelhantes, um método desenvolvido a partir de observações do comportamento espacial dos deslocamentos de veículos motorizados.

Nos métodos de restrição de capacidade, geralmente se observa o envolvimento de ramos supercarregados e atributos de restrição de capacidade.

2.2.3 Geoprocessamento no planejamento cicloviário

Recentemente, alguns autores tem utilizado para o planejamento cicloviário métodos envolvendo os sistemas de informações geográficas e técnicas de análise multicritério (LARSEN, PETTERSON e EL-GENEIDY, 2012; SOUZA E NÓBREGA, 2016).

A análise multicritério utiliza valores com uma faixa de variação padronização como dados de entrada e tem como saída um *ranking* numérico que elenca, ordena, e atribui pesos a certas preferências (SOUZA e NÓBREGA, 2016).

Nos sistemas de informações geográficas esses pesos passam a ser incorporados aos valores ou grandezas das feições geográficas. O uso mais frequente tem sido na composição de imagens *raster* com grandezas atribuídas.

Larsen, Petterson e El-Geneidy (2012), utilizaram quatro fatores para o cálculo da priorização de áreas para investimentos em estruturas cicloviárias: viagens por bicicleta, viagens por bicicleta potenciais, vias citadas como importantes por ciclistas em questionários aplicados e acidentes com ciclistas. As viagens atuais e potenciais foram obtidas de pesquisas de origem e destino realizadas na área de estudos (cidade de Montreal no Canadá). Quanto às viagens potenciais, considerou-se que as viagens realizadas de carro e que possuíam distâncias curtas o suficiente, seriam potenciais para migração para bicicleta. Para definição da distância de corte para as viagens potenciais, foi adotado um percentual das 75% menores distâncias realizadas por bicicleta, o que para a cidade de Montreal resultou em uma distância de aproximadamente 2 km.

Aultman-Hall et al. (1997) e Larsen, Petterson e El-Geneidy (2012), estimaram as rotas entre pares de origem e destino levando em consideração os métodos tradicionais de alocação de tráfego, utilizando o método tudo-ou-nada pelos caminhos mínimos.

As vias citadas por ciclistas como importantes para implantação e/ou melhoria da infraestrutura ciclável, utilizadas por Larsen, Petterson e El-Geneidy (2012), foram obtidas por meio de cadastros de associações de ciclistas locais e os índices georreferenciados de acidentes com ciclistas foram obtidos juntamente aos órgãos locais de policiamento. O objetivo do estudo foi identificar eixos prioritários para o deslocamento de ciclistas sem analisar o projeto geométrico das vias (utilizando os dados possíveis de aquisição sistemática), permitindo ao planejador urbano coletar informações geométricas e de sinalização apenas já no nível de planejamento operacional, de forma a promover maior flexibilidade na escolha do traçado exato no sistema viário. Dessa forma, para evitar a delimitação de vias específicas, os autores estabeleceram um *grid* com abertura de 300 metros sobre a área de estudos, de forma que cada *pixel* abarque mais de uma via, caracterizando corredores ou eixos prioritários. Com base nas variáveis selecionadas (viagens atuais, viagens potenciais, acidentes na via e citações na pesquisa com ciclistas), um índice de priorização foi calculado com base na Equação 1.

$$x_i = \frac{o_i}{\sum_j o_j} + \frac{p_i}{\sum_j p_j} + \frac{col_i}{\sum_j col_j} + \frac{pri_i}{\sum_j pri_j} \quad (1)$$

Em que,

o_i , número de viagens “atuais” passando pelo *grid cell* i ;

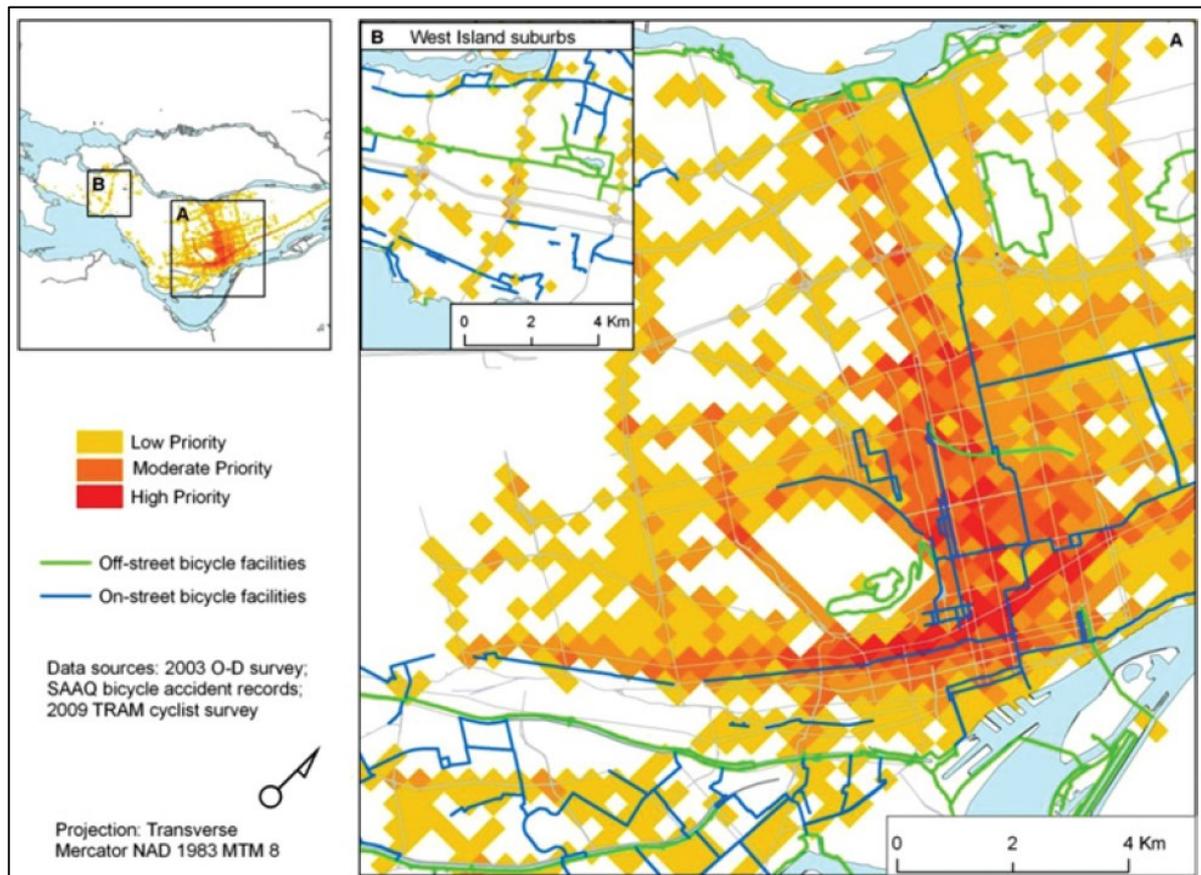
p_i , número de viagens “potenciais” passando pelo *grid cell* i ;

col_i , número de acidentes ocorridos no *grid cell* i ;

pri_i , número de vezes que vias que passam pelo *grid cell* i apareceram em questionários com ciclistas.

Na Figura 2 é apresentado o resultado da aplicação do modelo. As áreas foram classificadas quanto à prioridade para investimento em infraestruturas para o ciclista, partindo da baixa (laranja claro) para a alta (vermelho).

Figura 2 – Áreas prioritárias para novas infraestruturas cicláveis em Montreal



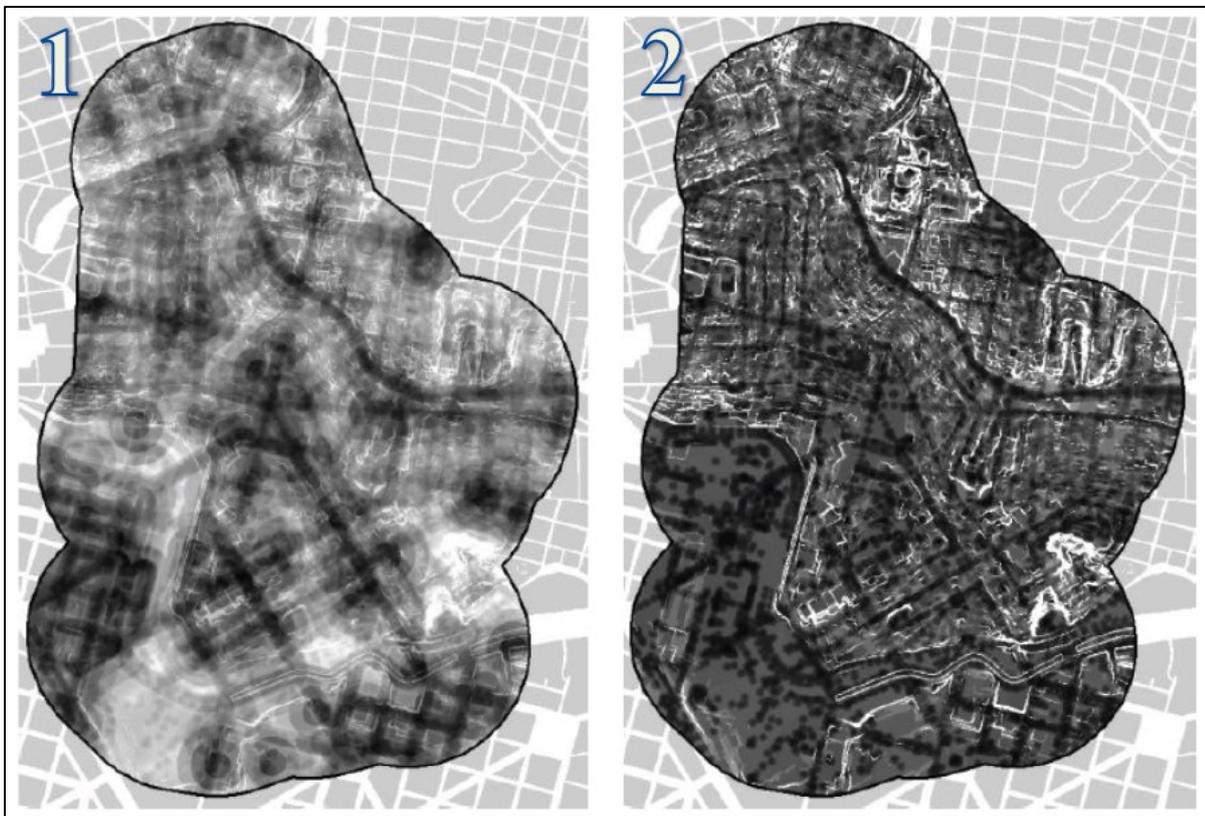
Fonte: Larsen, Petterson e El-Geneidy (2012)

Souza e Nóbrega (2016), em estudo aplicado no Bairro Floresta em Belo Horizonte, utilizaram autômatos celulares para atribuir os valores aos *pixels* objetivando a criação de uma superfície de custos acumulados, com base em oito variáveis: (a) predominância de uso dos imóveis (zoneamento); (b) declividade do terreno; (c) arborização; (d) iluminação; (e) oferta

de bares e restaurantes no percurso; (f) existência de lojas no percurso; (g) relação entre largura e saturação das vias; e (h) proximidade com escolas. O método não utiliza dados de demanda. Os resultados do trabalho consideraram dois cenários (Figura 3): (1) superfície de custos com todas as variáveis somadas e possuindo o mesmo peso; e (2) superfície de custos utilizando apenas as variáveis declividade do terreno, com peso três, e arborização, com peso um.

As áreas escuras representam as regiões com menor custo para implantação de ciclovias. É possível observar que em ambos os cenários, destacam-se principalmente os mesmos eixos da área de estudo.

Figura 3 – Superfície de custos acumulados dos cenários 1 e 2 em Belo Horizonte



Fonte: Souza e Nóbrega (2016)

2.3 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

A tomada de decisão é uma atividade complexa, pois envolve escolha de cenários que envolvem várias alternativas, muitas vezes conflituosas entre si. O processo de avaliação de projetos tem como objetivo definir a melhor ou as melhores alternativas de transporte a serem implantadas (CAMPOS, 2013).

A autora descreve as metodologias de avaliação de alternativas como sendo de dois tipos:

- a. Metodologia de análise econômica: baseia-se numa relação entre custos e benefícios e utiliza para avaliação de projeto os critérios da taxa interna de retorno, payback e valor presente líquido.
- b. Metodologia analítica: utilizada principalmente quando se incluem variáveis qualitativas e/ou subjetivas na análise. Este tipo de análise tem como principal característica o uso de parâmetros não monetários.

Como recursos para a tomada analítica de decisão que levem em consideração uma variedade de critérios, foram desenvolvidos os métodos multicritério (FREITAS, 1999).

Segundo Ensslin (2001), cada critério é uma função matemática que mede o impacto de uma variável com relação a um universo delimitado.

Para Costa *et al.* (2008), entre os métodos analíticos multicritério mais conhecidos estão o *Analytic Hierarchic Process (AHP)*, os métodos da família *Elimination Et Choix Tradus à la Réalité (ELECTRE)*, o método *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHE)*, e o método *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH)*.

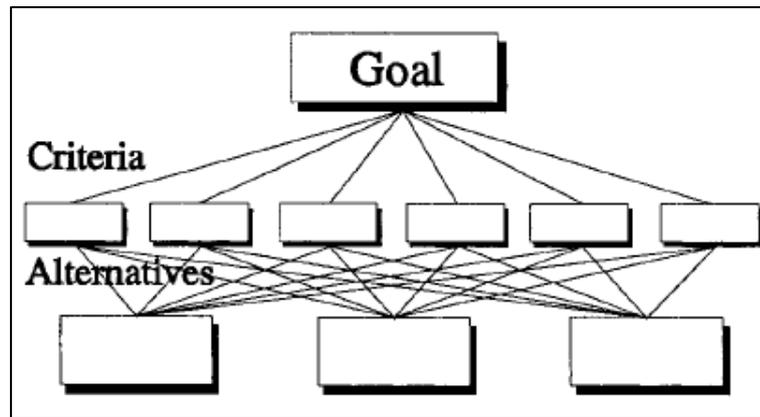
Dentre estes métodos, o mais amplamente utilizado em problemas com múltiplos critérios, de acordo com Gomes (1998), é o *AHP*, desenvolvido por Saaty e Vargas, (2006).

Este método consiste em uma teoria geral de medição que é usada para transformar critérios relativos em escalas absolutas discretas e contínuas pareadas, de forma a possibilitar a comparação em estruturas multinível.

O procedimento é dividido em três etapas: definição de um conjunto de atributos e critérios; definição dos pesos dos atributos local e global; e o cálculo dos valores finais por alternativa (CAMPOS, 2013).

Para que se possam analisar diferentes alternativas do projeto, o problema é decomposto em níveis hierárquicos para facilitar a compreensão e avaliação. No nível mais alto, de forma geral, está o objetivo principal, nos intermediários os critérios e no mais baixo estão as alternativas. O detalhe dessa estrutura hierárquica é apresentado na Figura 4

Figura 4 – Modelo de hierarquia em três níveis



Fonte: Saaty e Vargas (2006)

Os elementos de cada nível hierárquico são comparados dois a dois utilizando a escala apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Escala fundamental de números absolutos (AHP)

Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
2	Fraco	
3	Importância moderada	Experiência a avaliação favorecem levemente uma atividade em relação à outra
4	Importância moderada +	
5	Forte importância	Experiência a avaliação favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
6	Forte importância +	
7	Muito importante	Uma atividade é favorecida muito fortemente sobre outra; essa dominância é demonstrada na prática
8	Muito importante +	
9	Extremamente importante	As evidências sugerem que uma atividade favorecida sobre a outra é maior ordem possível de afirmação

Fonte: Saaty e Vargas (2006)

Com base nisso, é construída a matriz (A), com (i) linhas e (j) colunas de correlação das variáveis com os seus pesos relativos (W), sendo os elementos de (A) dados pela Equação 2:

$$A_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (2)$$

Posteriormente à elaboração da matriz de comparação par a par, de acordo com Paiva (2008), deve-se encontrar o vetor w que satisfaça a Equação 3:

$$A_{ij} \times w = \lambda_{max} \times w \quad (3)$$

Para tal, é preciso normalizar a matriz, dividindo cada elemento pela soma dos elementos de cada coluna. Em seguida, é calculado o “vetor prioridade”, que é resultado do peso médio de cada linha da matriz.

Finalmente, o “auto vetor principal” (aw) é obtido pela multiplicação da matriz de pesos pelo “vetor prioridade” (Equação 4).

$$aw = A \times w \quad (4)$$

Para garantir a validade do resultado, é necessário realizar a verificação da consistência dos pesos utilizados. Para isso, de acordo com Saaty e Vargas (2012), é necessário calcular o máximo auto valor (λ_{max}), cujo cálculo é apresentado na Equação 5.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \left(\frac{aw_i}{w_i} \right) \quad (5)$$

Em que:

w_i = peso médio para a linha i ;

a_{ij} = elemento da linha i e coluna j da tabela A ;

n = número de critérios.

Com base no valor de λ_{max} , é realizado o cálculo do índice de consistência (CI), pela Equação 6.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

Posteriormente, a razão de consistência (RC) é calculada conforme a Equação 7, na qual os valores de RI, de acordo com Saaty e Vargas (2012) tem seu valor apresentado na Tabela 2.

$$RC = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

Tabela 2 - Índice randômico de consistência médio

nº de critérios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Saaty e Vargas (2012)

De acordo com os autores, os valores de RC que garantem a consistência dos pesos variam de acordo com o número de critérios e são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores limite de RC para consistência

Número de critérios	RC
3	< 0,05
4	< 0,09
> 4	< 0,10

Fonte: Paiva (2008)

2.4 TEORIA DA SINTAXE ESPACIAL

A teoria da sintaxe espacial se apresenta como uma ferramenta que busca investigar e correlacionar a sociedade humana com o espaço, observando pela perspectiva de uma teoria geral da estrutura do espaço habitado (BAFNA, 2003).

Ainda de acordo com o autor, o ponto de partida da sintaxe espacial é o fato das sociedades humanas utilizarem o espaço como forma característica e fundamental para sua própria organização, de forma que o mesmo não é meramente produto do acaso. Dessa forma, a conformação do espaço apresenta uma configuração que pode ser correlacionada com características que a criaram, tanto pela sociedade, como individualmente.

Segundo Hanson e Hillier (1987), as teorias espaciais argumentam que a conformação urbana só desempenha um importante papel na sociedade por existir uma forma de correspondência entre as zonas espaciais e as identidades da sociedade geradora das mesmas.

Dessa forma, apesar de não ser possível identificar um fator ou regra própria para sua conformação, a chamada "não correspondência estruturada" é capaz de apontar para uma série de sequências lógicas para a aparente desordem do crescimento urbano. Ou seja, através da

teoria da sintaxe espacial, é possível tolerar muito mais desordem local e mesmo assim ainda ter seu comportamento passível de reprodução.

Na teoria da sintaxe espacial, a distância é dada em passos topológicos, onde se avalia a quantidade de mudanças de direção realizadas por um deslocamento. Quanto mais mudanças de direção ocorrer em certo trajeto, mais distante (ou profundo) ele é.

Para tal, de acordo com Bafna (2003), uma das principais questões da teoria da sintaxe espacial teria sido a redução de qualquer configuração espacial urbana para uma estrutura de grafo que a pudesse representar teoricamente. O problema principal aqui é a conversão de entidades contínuas, como vias ou plantas de edifícios, em uma estrutura discreta.

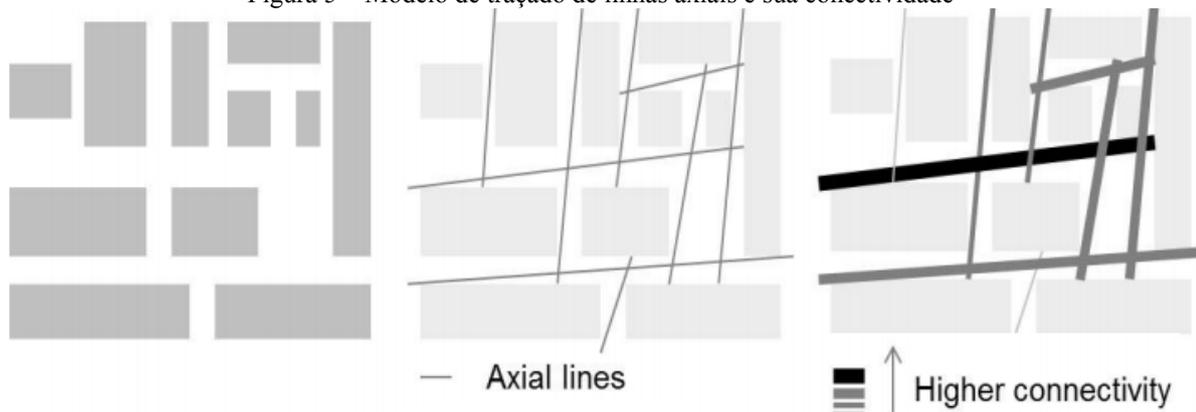
Para resolver este problema, costuma-se utilizar os chamados mapas axiais que, para sua construção, podem ter o procedimento descrito com a seguinte sequência: deve-se traçar a maior linha reta possível que passe pela parte aberta entre dois espaços convexos adjacentes. O procedimento deve ser repetido iterativamente até que todos os espaços convexos do sistema sejam cruzados pelas linhas axiais. O resultado é, basicamente, a rede viária composta por *links*. Quando a rede viária é representada em estrutura de grafo, os arcos ou *links* estão entremeados entre dois nós. Na estrutura de mapas axiais, os segmentos de via (arcos) estão entre duas mudanças de direção (ou seja, são segmentos contínuos), independentemente das vias que os interceptam.

De acordo com Peponis *et al.* (1989), a análise sintática se traduz numericamente em medidas topológicas, dentre quais podemos destacar:

- a) conectividade: a quantidade de segmentos ou linhas axiais que se conectam com o segmento em análise. Quanto maior a conectividade de uma linha, maior o número de encontros ou cruzamentos com outras do sistema.
- b) integração: é a função da quantidade média de linhas ou mudanças de direção que são necessárias ser tomadas para acessar, de um determinado espaço, todos os demais do sistema. É uma medida de distância sintática, ou seja, medida em passos topológicos ou distâncias angulares e não em distâncias métricas. Ou seja, quanto mais integrada uma linha do sistema, maior é a facilidade de acesso a todos os outros espaços do mesmo.
- c) escolha: segundo Peponis *et al.* (1989) e Hillier *et al.* (1987), a escolha indica quantas das rotas que conectam todos os pares de origem e de destino do sistema são acessados passando pelo ponto particular em análise.

Um exemplo de traçado de linhas axiais e de suas respectivas conectividades relativas é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Modelo de traçado de linhas axiais e sua conectividade



Fonte: adaptado de Sayed *et al.* (2013)

As medidas sintáticas têm apresentado correlação com os deslocamentos urbanos. Peponis *et al.* (1989), estudaram a correlação dessas medidas sintáticas com o deslocamento de pedestres em seis cidades gregas, nas quais os autores mensuraram as correlações dos valores de algumas medidas sintáticas com o fluxo de pedestres através de contagens realizadas nas cidades. Nesse estudo observou-se uma interessante correlação entre a integração axial das vias e fluxo de pedestres nas mesmas.

Já Hillier *et al.* (1993) identificaram que as medidas sintáticas podem influir não apenas no fluxo de pessoas nas vias, mas também na distribuição do uso do solo. Seu trabalho identificou uma forte correlação entre as vias com maior integração sintática e o uso comercial do solo.

Segundo o trabalho de Penn *et al.* (1998) no qual os autores verificaram as correlações entre medidas sintáticas e os fluxos de pedestres e veículos em várias regiões de Londres, a integração e a escolha mostraram-se medidas com significativa correlação com o fluxo de veículos motorizados.

Nessa linha, Paiva *et al.* (2012) utilizaram a sintaxe espacial de forma a subsidiar o planejamento cicloviário em Samambaia, no Distrito Federal. O estudo encontrou coerência nas relações sintáticas também com o deslocamento de pessoas por bicicleta.

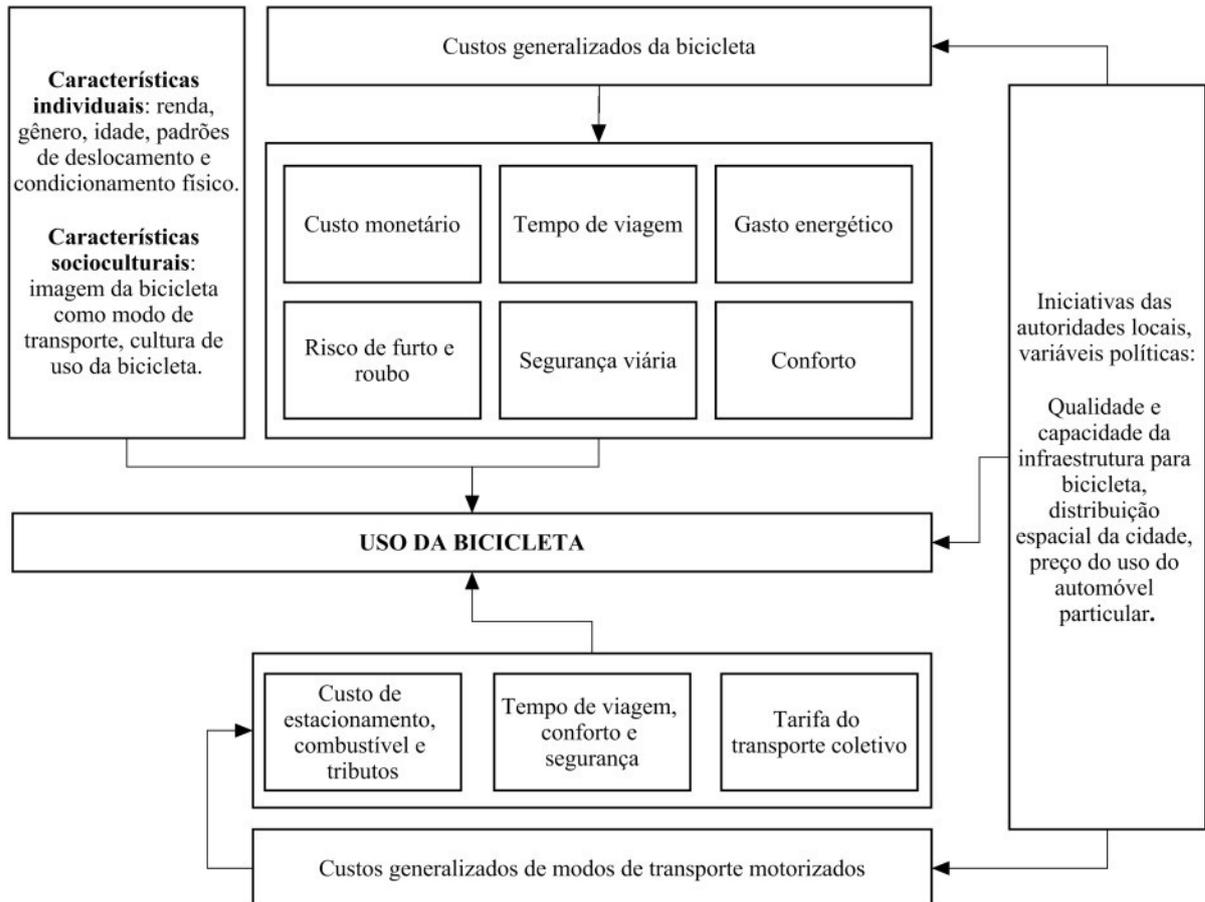
2.5 FATORES DE INFLUÊNCIA NO USO DA BICICLETA

De acordo com Rietveld e Daniel (2004), o uso da bicicleta depende de características individuais (como renda, idade, gênero, padrões de deslocamento, condicionamento físico) e socioculturais (imagem da bicicleta como modo de transporte, cultura de uso da bicicleta).

Essas características são acrescidas dos custos generalizados dos modos de transporte disponíveis para realização do deslocamento (motorizados e não motorizados) e da qualidade, capacidade e políticas de incentivo ofertadas para estes modos.

Sousa e Kayamoto (2015) detalharam e sistematizaram, conforme a Figura 6, os fatores que influenciam o uso da bicicleta.

Figura 6 – Fluxograma dos fatores que influenciam o uso da bicicleta



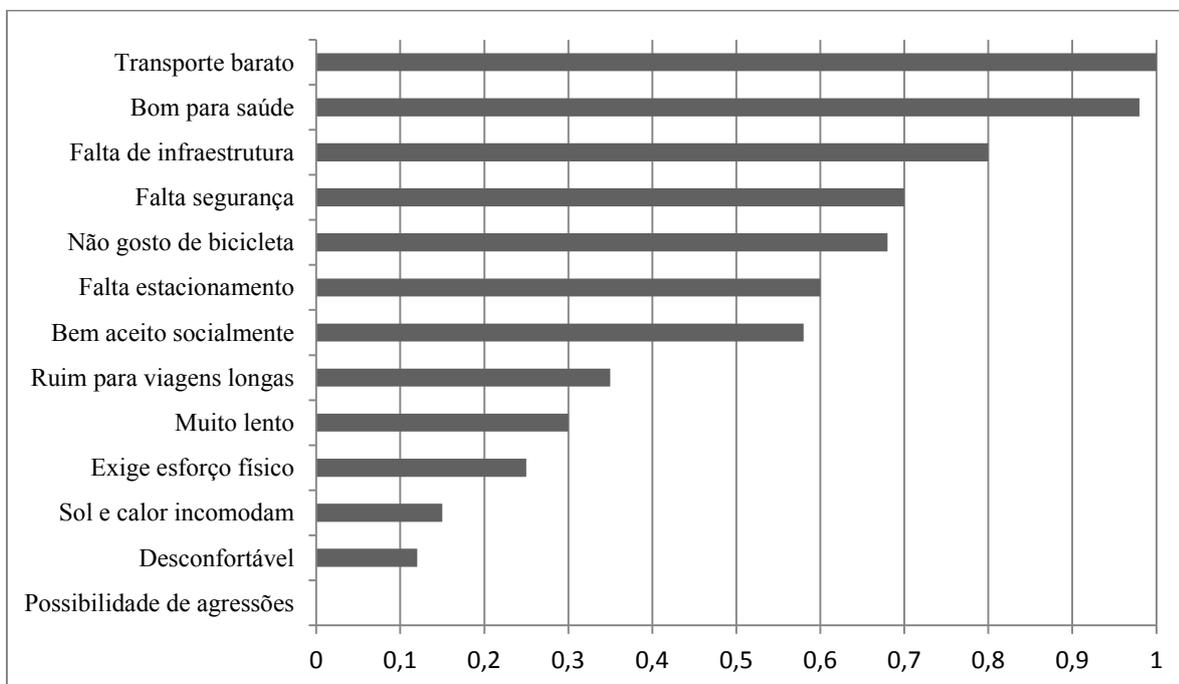
Fonte: Sousa e Kayamoto (2015)

Analisando o fluxograma, é possível observar que o uso da bicicleta é condicionado por uma série interligada de variáveis dependentes do indivíduo, da cultura local e do meio físico em que se insere.

Providelo e Sanches (2010) aplicaram questionários em grupos de ciclistas rotineiros, eventuais e não ciclistas, nas cidades paulistas de São Paulo e Rio Claro. Nesta pesquisa, os três principais pontos citados pelos entrevistados quanto à aceitabilidade ao ciclismo foram relacionadas ao custo, à atividade física e a infraestrutura, como se pode observar na Figura 7.

O custo do transporte e os benefícios para a saúde são os fatores com maior nível de concordância revelados pela pesquisa, seguidos da falta de infraestrutura e da insegurança.

Figura 7 – Nível de concordância com as afirmações



Fonte: Providelo e Sanches (2010)

Quando se aborda a questão da demanda de uma determinada área pela bicicleta como modo de transporte, Ryley (2006) afirma que há dois tipos de modelos de escolhas discretas, que se dedicam a estudos específicos de fatores: os modelos de escolha de rota e os de escolha de modo.

Existe uma variedade de estudos determinando a preferências dos ciclistas para a escolha das rotas; eles têm mostrado que o tempo e a segurança são importantes determinantes na escolha da rota pelo ciclista. Já no que se referem à escolha do modo, questões ambientais, políticas e de saúde passam também a serem variáveis importantes. O custo atrelado ao modo de transporte, bem como as características físicas locais, aparecem com frequência em diversos estudos (HOPKINSON e WARDMAN, 1996; PUCHER e BUEHLER, 2005; NOLAND e KUNREUTHER, 1995).

A FHWA (1992) sugeriu a classificação dos fatores que influenciam na escolha do modo em dois grupos: fatores objetivos e fatores subjetivos. Os fatores objetivos são fatores físicos existentes para todos, apesar de poderem possuir pesos diferentes para cada indivíduo. Já os fatores subjetivos são relacionados com condições de difícil mensuração, pois vão em

direção à interpretação pessoal e às necessidades individuais. A lista com os fatores pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4 – Fatores que influenciam na escolha modal

Fatores subjetivos		Comprimento da viagem
		Segurança no tráfego
		Conveniência
		Custo da viagem
		Valor atribuído ao tempo
		Valorização dos exercícios físicos
		Condições físicas
		Circunstâncias familiares
		Hábitos cotidianos
		Atitudes de valor social
		Aceitabilidade social
Fatores objetivos	Fatores ambientais	Clima
		Topografia
	Característica da infraestrutura	Infraestrutura adequada para bicicletas
		Acessibilidade e continuidade das rotas
		Alternativas de transporte

Fonte: FHWA (1992)

2.5.1 Fatores ligados à segurança viária

Vários autores discutem a segurança viária como uma questão central para o incremento de ciclistas nas cidades. Para Dekoster e Schollaert (1999), compartilhar o espaço viário com veículos motorizados que viajam, geralmente, a velocidades substancialmente superiores às dos ciclistas os tornam sensíveis ao comportamento dos motoristas; concluindo que o aumento da motorização nas cidades influencia diretamente no aumento do número de acidentes de trânsito envolvendo ciclistas.

Por outro lado, algumas experiências internacionais apontam que o incremento de usuários de bicicleta nas cidades, quando aliado a um adequado planejamento cicloviário, tende a conciliar-se muito bem com a segurança viária. Na Alemanha, o número de acidentes envolvendo ciclistas caiu 54% entre os anos de 1980 e 1998, apesar do incremento do uso do

automóvel e da bicicleta; o incremento da quilometragem percorrida por automóveis individuais foi de 50% no período citado, e de 30% para bicicletas (ALEMANHA, 1999).

De acordo com Pucher (1997), considerando o período entre 1975 e 1998, ainda na Alemanha, o número de acidentes envolvendo ciclistas caiu 66%, mesmo considerando que a participação modal da bicicleta tenha crescido de 8% para 12% do total de viagens realizadas.

Na cidade de York, no Reino Unido, segundo Harrison (2001), 15 ciclistas morreram ou foram seriamente feridos no período entre 1996 e 1998, comparado com 38 ocorrências do mesmo tipo no período entre 1991 e 1993, enquanto a participação da bicicleta subiu de 15% para 18% do total de viagens.

Para Wittink (2003), a melhor explicação para esses efeitos é a correta integração dos ciclistas, e dos pedestres, nas vias de circulação e sistemas de transportes urbanos. Um melhor balanço entre os modos motorizados e não motorizados tendem a trazer uma escala mais humana para o sistema viário urbano, o que requer uma mudança na forma de planejamento e no projeto das vias urbanas.

Parte considerável dos acidentes envolvendo ciclistas ocorre devido a uma das partes, ou ambas, não perceberem a presença da outra, ou interpretaram equivocadamente a manobra futura (DINAMARCA, 2010). Para Gondim (2010), os acidentes ocorrem principalmente nos cruzamentos.

Na Tabela 5 são listados os parâmetros ligados à segurança identificados por Cardoso e Campos (2016), em revisão bibliográfica envolvendo 13 trabalhos da área, na ordem de frequência em que aparecem nos estudos. Pode-se observar que os principais fatores associados à segurança no planejamento cicloviário são referentes à quantidade de faixas de circulação da via, a existência de faixa própria para circulação de bicicletas, a existência de estacionamento na via, o limite de velocidade dos veículos motorizados, a distância de visibilidade, a largura da faixa e a iluminação da via.

Tabela 5 – Lista de fatores ligados à segurança

Fatores	Citações
Número de faixas por via (quanto menos, melhor)	7
Ciclofaixa na via	6
Ciclcovia na rota	6
Estacionamento na via paralelo ao fluxo da via	6
Limite de velocidade para veículos motorizados	6

Continua

Continuação da Tabela 5

Volume médio de tráfego	5
Distância de visibilidade	5
Largura da faixa na via	4
Iluminação da via	4
Largura do acostamento	3
Acessos à direita para a calçada	3
Canteiro central	3
Curvas horizontais	3
Faixa central para conversão à esquerda	3
Uso do solo - comercial e industrial	3
Diferença das velocidades médias dos ciclistas e dos veículos	2
Grau de experiência do ciclista	2
Percentual de veículos pesados na via	2
Faixa de conversão à direita	2
Existência de meio-fio	2
Garagens residenciais ou comerciais	2
Nível de serviço da via para veículos motorizados	2
Número de residências ao longo da via	2
Existência nas vias de barreiras para controlar o tráfego	1
Número de acessos não controlados de veículos automotivos	1
Vias destinadas ao trânsito de bicicletas compartilhadas com outros veículos não motorizados e pedestres	1
Canteiro central com esperas para conversão à esquerda	1
Excesso de detritos nas vias	1
Quantidade de polos geradores de viagens	1
Falhas causadas pelos departamentos de água, esgoto e eletricidade	1
Número de cruzamentos com passagens de pedestres	1
Número de veículos entrando a direita em vias de menor tráfego e cruzamentos	1
Policimento ao longo da rota	1
Ponto de ônibus na via	1
Quantidade de ciclistas na via	1

Continua

Continuação da Tabela 5

Compartilhamento de rotas com veículos motorizados	1
Rotas com superfícies escorregadias	1
Rotas que não passem pelas vias mais urbanizadas	1
Vias de evidente risco de acidentes entre motos e carros	1

Fonte: Cardoso e Campos (2016)

2.5.2 Fatores ligados ao conforto

Os fatores ligados ao conforto são importantes na busca pela elevação da atratividade do modo, principalmente para usuários não habituais. Na Tabela 6, são apresentados os principais fatores levantados por Cardoso e Campos (2016). A existência ou não de aclives e bicicletários nas rotas aparecem com maior recorrência nestes estudos.

Tabela 6 – Lista de fatores ligados ao conforto

Fatores	Citações
Aclive	7
Instalação para guardar e estacionar bicicletas	5
Integração com o transporte público ao longo da rota	3
Arborização da via	3
Instalação de chuveiro e vestiários nos destinos das rotas	3
Distância percorrida no aclive	2
Distância do trânsito com maior volume	2
Tempos de espera nos cruzamentos sinalizados	1
Tempo de viagem de bicicleta na rota escolhida	1
Velocidade do vento	1

Fonte: Cardoso e Campos (2016)

2.5.3 Fatores ligados ao projeto geométrico e de sinalização da via

No que se refere aos parâmetros de projeto e superfície da via, o levantamento sistemático de Cardoso e Campos (2016), conforme a Tabela 7, identificou que os grandes intervenientes são a existência de grelhas de drenagem (bocas de lobo) na porção da via destinada a bicicleta, às deformações na faixa de rolamento e a existência ou não de acostamento.

Tabela 7 – Lista de fatores ligados ao projeto da via

Fatores	Citações
Grelhas de drenagem (bueiros)	6
Deformações nas vias (desgastes, remendos e rachaduras)	5
Acostamento	4
Buracos nas vias	3
Cruzamento de ferrovias	3
Condições de pavimentação da via	2

Fonte: Cardoso e Campos (2016)

Quanto à sinalização viária, aparecem destacados os aspectos ligados à sinalização da faixa de circulação ao longo de toda a via, das interseções e nos cruzamentos com pedestres, como se pode observar na Tabela 8.

Tabela 8 – Lista de fatores ligados à sinalização

Fatores	Citações
Sinalização de trânsito ao longo da via	6
Número de interseções sinalizadas (prioridades e ações)	5
Sinalização das interseções entre pedestres e ciclistas	5
Sinalização especial para ciclista	4
Controle de fluxo das bicicletas e veículos motorizados	2
Semáforos para ciclistas	1

Fonte: Cardoso e Campos (2016)

2.5.4 Extensão dos deslocamentos e participação modal

Em várias cidades europeias, a distância média das viagens realizadas pelos habitantes pode ser considerada baixa. Aproximadamente 60% das viagens são inferiores a três quilômetros. Em cidades com destacado planejamento urbano na Alemanha, mais de 80% das viagens inferiores a esta distância são realizadas a pé ou por bicicleta (GIZ, 2005). Ao passo que em Bogotá, no ano de 1998, aproximadamente 70% das viagens realizadas por carros privados era inferior a três quilômetros.

Nos Estados Unidos da América, o estado da Califórnia possuía no início da década de 1990 aproximadamente 1% do total de viagens realizadas por meio de bicicletas. Porém,

cidades como Palo Alto, que possuíam uma boa rede ciclável, bicicletários públicos, considerável infraestrutura de apoio ao ciclista e programas educativos sustentava mais de 10% do total das viagens realizadas por meio de bicicletas (SNYDER, 1992).

Outras cidades daquele país, como Eugene, Seattle, Tucson e São Diego também atingiram uma participação modal por meio de bicicletas no deslocamento muito acima dessa média.

Fiadeiro (2008) indica a elevada participação da bicicleta na repartição modal em cidades europeias, mesmo com clima e topografia desfavoráveis, como Cambridge, Inglaterra (27%) e Basileia, Suíça (23%). Outras cidades do mesmo continente, já com clima e características topográficas favoráveis, chegam a apresentar participação modal considerada muito elevada, como o caso de Groningen nos Países Baixos, que possui 50% dos deslocamentos abaixo de sete quilômetros realizados por bicicleta (SMILE, 2004).

A cidade de Bocholt na Alemanha, que possui baixo espraiamento urbano (90% dos cerca de 75 mil habitantes vive a menos de três quilômetros do centro), possui aproximadamente 35% dos seus deslocamentos realizados por bicicleta, o que reforça a teoria de que a distância a ser percorrida é um importante fator para a escolha do modo de deslocamento. Os deslocamentos por bicicleta aparecem recorrentemente ligados a deslocamentos entre três e oito quilômetros (FIADEIRO, 2008).

2.6 COMPONENTES DO SISTEMA CICLOVIÁRIO

Segundo GEIPOT (2001), a estruturação de uma área destinada à circulação de bicicletas pode ser dividida em três sistemas: compartilhado, exclusivo e de uso misto.

No compartilhado, a circulação de bicicletas se dá em vias com baixo volume de tráfego motorizado e elevado nível de segurança, podendo ser adaptadas ou não à circulação de bicicletas (rotas cicláveis).

No sistema exclusivo, a bicicleta circula em espaços próprios, tais como ciclovias e ciclofaixas.

O sistema de uso misto combina trechos característicos dos dois anteriores.

2.6.1 Tipos de vias

Em geral, conforme GEIPOT (2001) os componentes de um sistema cicloviário são caracterizados por:

a. Vias de tráfego misto

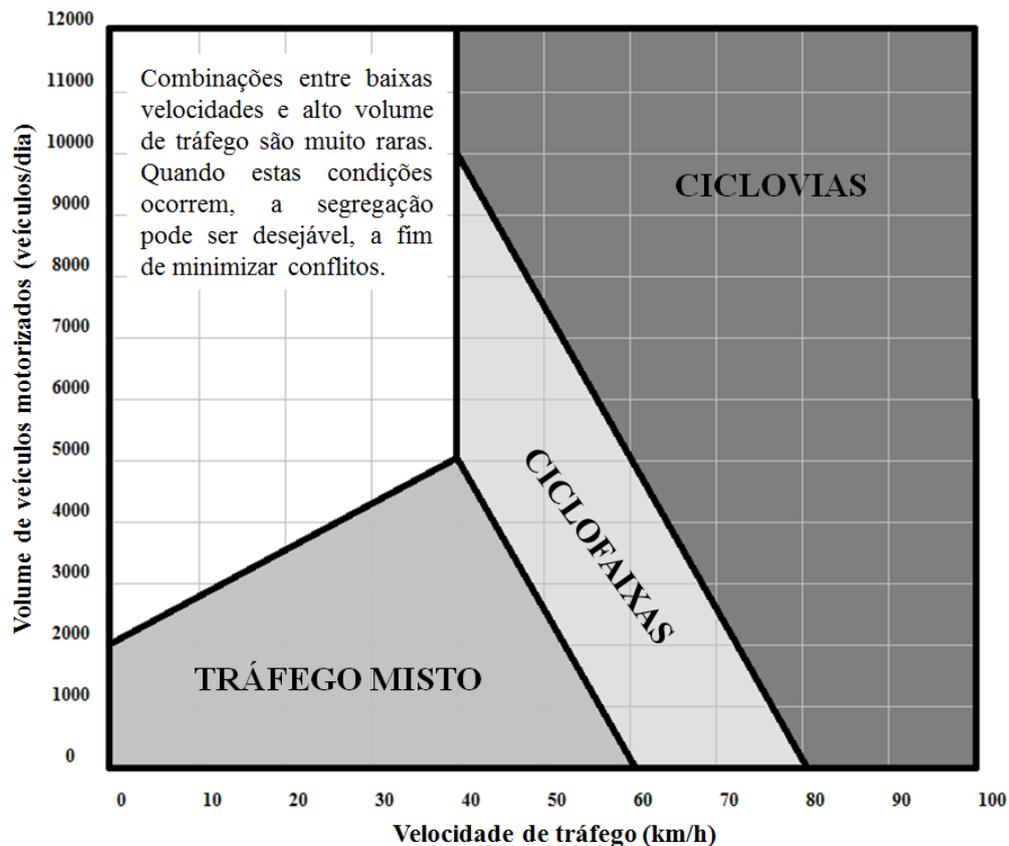
O artigo 58 do Código de Trânsito Brasileiro (CTB) (BRASIL, 1997) estabelece que, em vias urbanas e rurais de pista dupla, a circulação de bicicletas deverá ocorrer nos bordos da pista de rolamento (quando não houver ciclovia, ciclofaixa ou acostamento), no mesmo sentido de circulação regulamentada da via, com preferência sobre os veículos motorizados.

No artigo seguinte, há a previsão para circulação de bicicletas compartilhando o passeio com os pedestres, desde que autorizado e devidamente sinalizado pelo órgão competente.

A Figura 8 apresenta um diagrama com as características gerais de correlação entre as estruturas cicláveis recomendadas e as condições de fluxo de veículos automotores da via.

Em vias com velocidades baixas para os veículos motorizados, de até 60 km/h, e com baixo tráfego, o tráfego misto se apresenta como condição aceitável de trafegabilidade para o ciclista. Conforme a velocidade regulamentada dos veículos motorizados cresce, bem como o volume da via, recomenda-se a implantação de ciclovias e ciclofaixas.

Figura 8 – Condições gerais de aplicação de estruturas cicláveis



Nota: Este diagrama é apropriado apenas para vias urbanas.

Fonte: Adaptado de CROW (1993)

b. Via ciclável

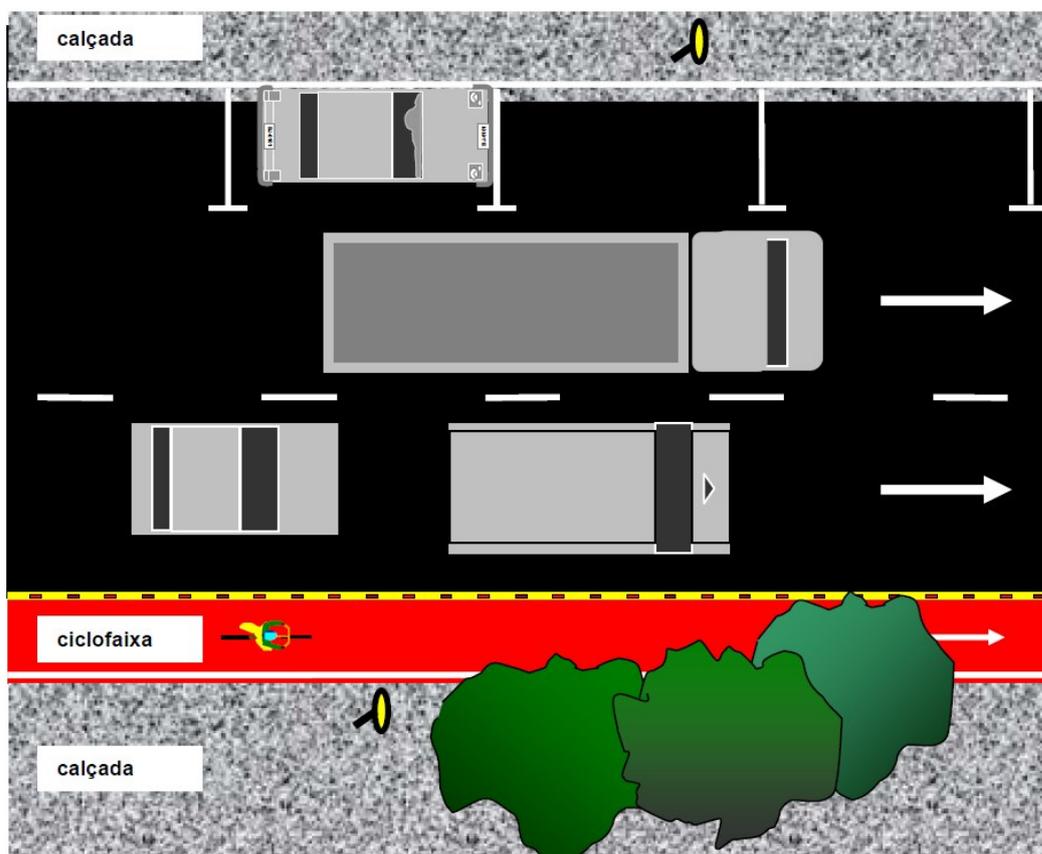
É o conceito aplicado a vias de tráfego motorizado onde a circulação de bicicletas pode se dar de forma segura (GEIPOT, 2001). Ou seja, o fluxo compartilha o espaço com modos motorizados onde exista condições para tal: controle de velocidade, sinalização adequada, baixo fluxo de veículos motorizados.

c. Ciclofaixa

É a faixa de rolamento para a bicicleta, com o objetivo de separá-la do fluxo de veículos automotores. Tem sua localização estabelecida normalmente no bordo direito das ruas e avenidas, no mesmo sentido do tráfego (Figura 9).

Faculta-se a implementação de piso diferenciado e possui fluxo de circulação uni ou bidirecional, quando a sinalização assim o permitir.

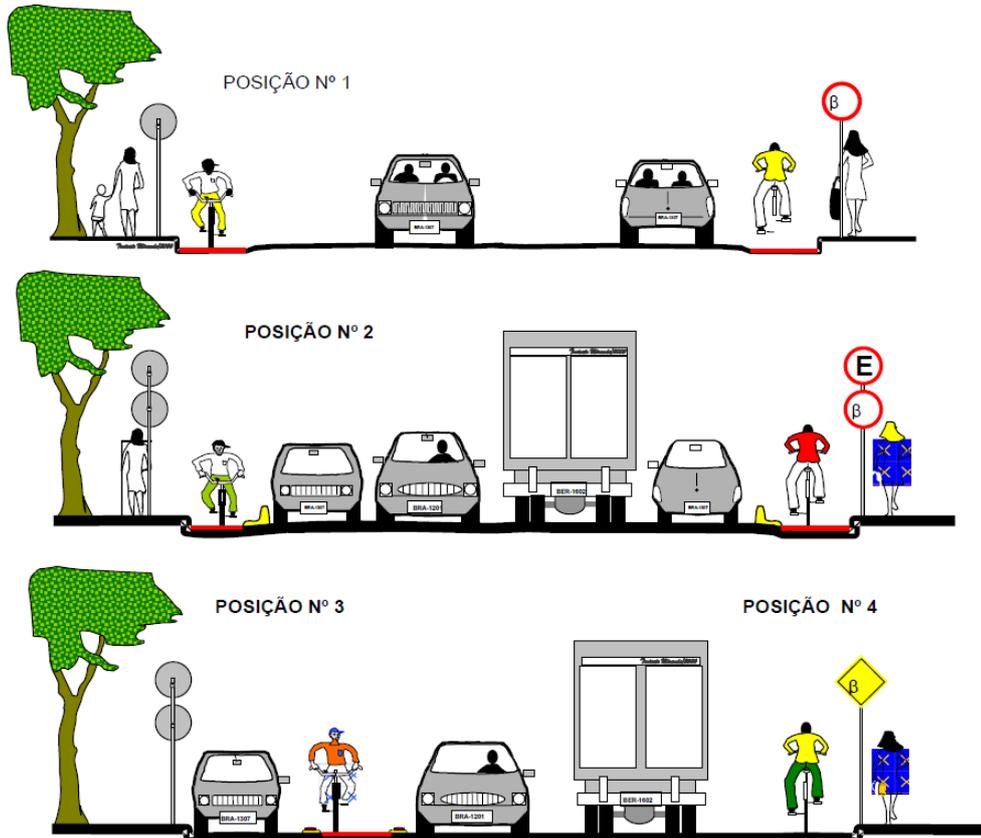
Figura 9 - Exemplo de ciclofaixa



Fonte: GEIPOT (2001)

O CTB estabelece em seu artigo 59 que a autoridade de trânsito competente, quando da disposição de ciclofaixa, pode permitir o fluxo de bicicletas em sentido contrário ao da via. A Figura 10 apresenta esquematicamente algumas alternativas para implantação das ciclofaixas.

Figura 10 - Alternativas para implantação de ciclofaixas



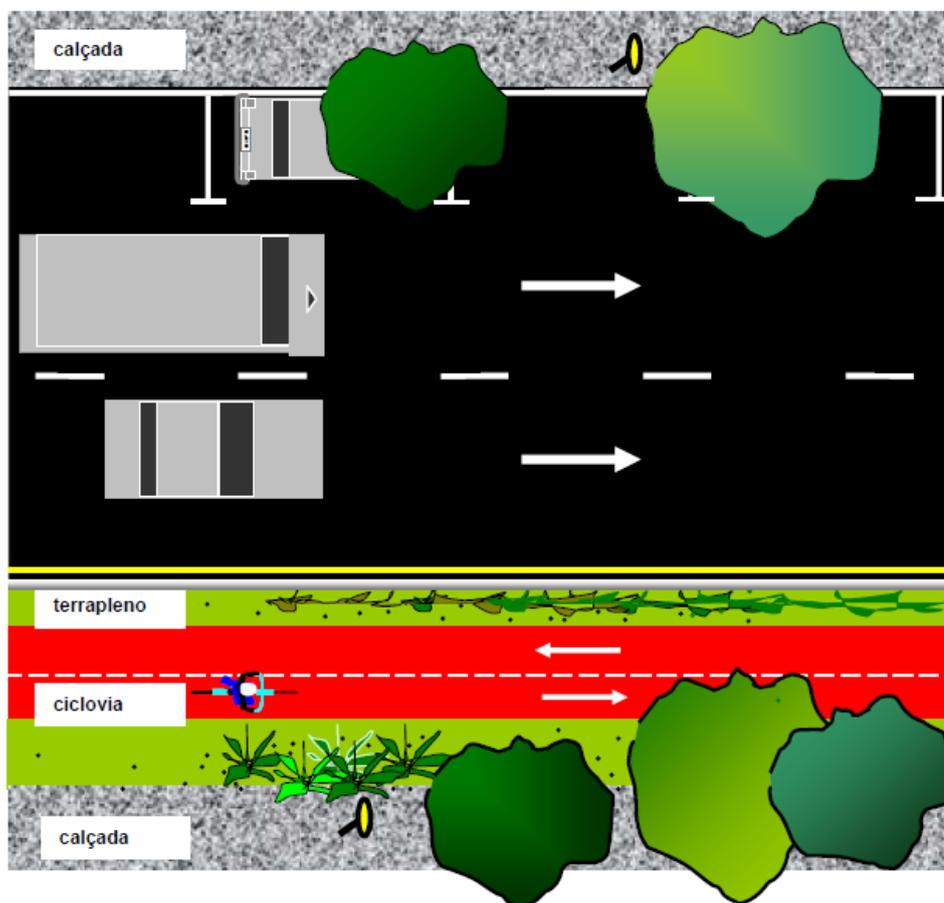
Fonte: GEIPOT (2001)

d. Ciclovias

São estruturas totalmente segregadas do tráfego motorizado. É a via que apresenta o maior nível de segurança aos ciclistas (Figura 11).

Sua implantação pode ocorrer na faixa de domínio das vias, lateralmente, no canteiro central ou em outros locais de forma independente (como parques, margens de cursos d'água e outros espaços naturais).

Figura 11 - Exemplo de ciclovia



Fonte: GEIPOT (2001)

O sentido de tráfego das ciclovias, de acordo com São Paulo (2014), pode ser unidirecional, quando apresenta sentido único de circulação, ou bidirecional, quando apresenta sentido duplo.

Existem muitas formas de caracterizar uma ciclovia. A mais clássica corresponde ao espaço em desnível com relação à via, separado por elemento físico delimitador. Também ocorre a existência de ciclovias no mesmo nível da pista de rolamento, separadas do fluxo de veículos por elementos geométricos, tais como ilhas, calçadas, blocos pré-moldados e balizadores.

e. Passeio compartilhado

Para São Paulo (2014), é o espaço sobre a calçada destinado ao uso simultâneo de pedestres e ciclistas nos termos do art. 59 do CTB. Deve possuir sinalização adequada e não perturbar o fluxo de pedestres local, que é prioritário.

2.6.2 Outros componentes

Para além das vias, de acordo com GEIPOT (2001), outras estruturas compõem o sistema, saber:

f. Paraciclo

Estacionamento para bicicletas, conforme exemplificado na Figura 12, equipado com dispositivos capazes de mantê-las de forma ordenada, possibilitando amarração e as garantias mínimas de segurança contra o furto (GEIPOT, 2001).

Figura 12 - Exemplo de paraciclo



Fonte: autoria própria.

g. Bicicletário

Estacionamento dotado de infraestrutura, de médio ou grande porte (acima de 20 vagas). Pode incluir controle de acesso, cobertura, bombas de ar comprimido, borracharia, entre outros (GEIPOT, 2001), conforme exemplificado na Figura 13.

Figura 13 - Exemplo de bicicletário

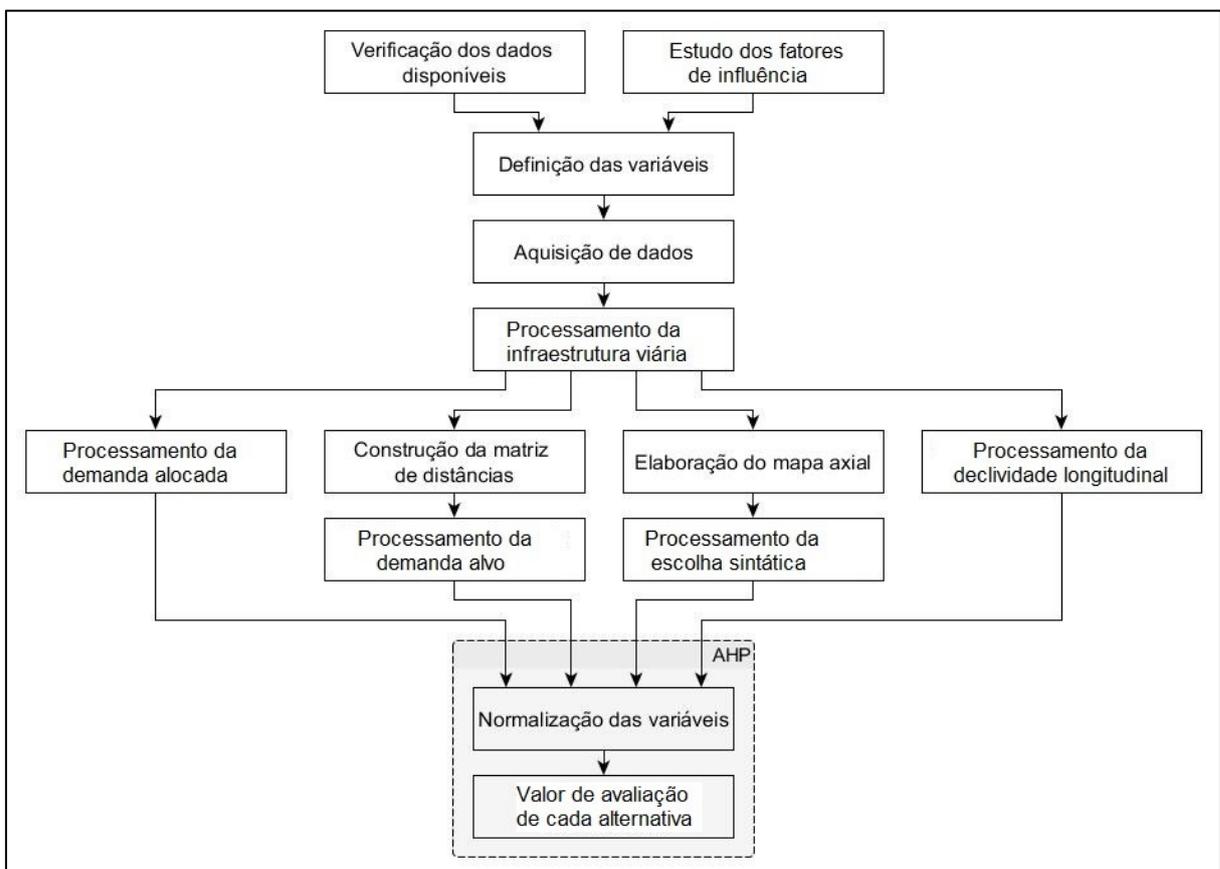


Fonte: Prefeitura de Niterói/RJ

3 MÉTODO

O método empregado neste trabalho se baseia no estudo dos fatores de influência ao uso da bicicleta e da verificação dos dados com possível obtenção sistemática em uma área de estudo. Assim, é realizada a definição das variáveis que são utilizadas na priorização dos corredores para oferta de infraestrutura cicloviária. As etapas posteriores são apresentadas no diagrama da Figura 14, e detalhadas a seguir.

Figura 14 – Fluxograma das etapas do trabalho



Após a definição das variáveis, se dá a etapa de aquisição de dados, momento no qual todos os dados utilizados para as modelagens são levantados.

Em posse dos dados, a infraestrutura viária, por ser base comum à estruturação das variáveis, é modelada. Os dados das variáveis são estruturados com o auxílio de sistemas de informação geográficas, a fim de gerarem arquivos *raster* em que cada *pixel* armazene o valor padronizado de cada uma das variáveis.

A padronização dos valores das variáveis é necessária para a aplicação do método *AHP*, que é utilizado para o estabelecimento dos pesos relativos e configurar assim o vetor “valor de avaliação da alternativa”.

Obtêm-se, então, os dados *raster* incorporando os valores de cada uma das variáveis estabelecendo os segmentos prioritários para a oferta ou melhoria da estrutura cicloviária.

3.1 RECURSOS DE SOFTWARE UTILIZADOS

Para o desenvolvimento deste estudo, os seguintes *softwares* são utilizados:

- a. QuantumGIS: sistema de informação geográfica (SIG) sob a licença *General Public License* (GNU). É um projeto oficial do *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo). Possui interface amigável ao usuário e uma variedade de módulos que rodam internamente no *software*¹;
- b. GRASS GIS: *Geographic Resources Analysis Support System* (GRASS) é um SIG gratuito e *open source*. É integrante fundador da OSGeo e possui uma ampla gama de funcionalidades para o processamento de dados *raster*², finalidade para qual é empregado neste trabalho;
- c. CALIPER TransCAD: é um SIG projetado especificamente para a utilização por profissionais da engenharia de transporte. Combina funções típicas de um SIG com modelos de transporte, de forma integrada. É desenvolvido pela empresa Caliper³ e é utilizado neste trabalho para a realização de alocação de tráfego;
- d. UCL DepthMap: desenvolvido por colaboradores da *Bartlett School of Architecture* da *University College London* (UCL), é um *software* gratuito para usos acadêmicos capaz de realizar análises sintáticas em redes. É utilizado neste trabalho como apoio para a elaboração de mapas axiais e para o cálculo dos valores da escolha sintática⁴.

¹ <https://qgis.org/en/site/about/index.html>

² <https://grass.osgeo.org/>

³ <https://www.caliper.com/tcovu.htm>

⁴ <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/architecture/research/space-syntax/depthmapx>

3.2 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Para a definição das variáveis, foi utilizada como base a estruturação dos fatores que influenciam na escolha modal pela bicicleta estabelecida pela FHWA (1992), apresentada na Tabela 4, por sintetizar em sua estrutura os fatores objetivos e subjetivos ligados à escolha do modo.

Os fatores objetivos são divididos em ambientais e de infraestrutura. Com base na revisão bibliográfica, na questão ambiental (ou de conforto, como alguns autores costumam tratar), o fator mais citado é ligado ao critério topografia. Dessa forma, para representar o fator ambiental foi definida a variável “declividade do terreno”.

Os fatores ligados à infraestrutura são comumente divididos entre os de segurança e os de projeto geométrico e de sinalização da via. Considerando que os fatores ligados ao projeto geométrico e de sinalização da via estão em nível de detalhamento maior que o deste estudo e suas informações não são de aquisição sistemática em parte considerável dos municípios brasileiros, eles não farão parte deste estudo.

Quanto aos fatores de infraestrutura ligados à segurança, dentre os mais citados estão à existência de ciclovias e ciclofaixas nos trajetos. Para sua representação, o critério de acessibilidade e continuidade foi o definido por representar a facilidade potencial de o usuário realizar todo ou a principal parte de seu trajeto por ciclovias e ciclofaixas conectadas e contínuas. A variável definida foi a medida sintática “escolha” da via em potencial para investimento em infraestrutura ciclável.

A Tabela 9 apresenta os critérios e variáveis definidas para cada um dos grupos de fatores.

Tabela 9 – Variáveis definidas para o modelo

FATORES		CRITÉRIO	VARIÁVEL DEFINIDA
Objetivos	Ambientais	Topografia	Declividade longitudinal
	Infraestrutura	Acessibilidade e continuidade	Escolha sintática
Subjetivos		Uso da bicicleta nos deslocamentos	Demanda alocada
		Comprimento/tempo da viagem	Demanda alvo (curtas distâncias)

Fonte: Adaptado de FHWA (1992)

Para a representação dos fatores subjetivos, dois critérios foram definidos: o comprimento (ou tempo) dos deslocamentos e a quantidade de viagens realizadas por bicicleta. A variável definida ligada ao comprimento dos deslocamentos foi “demanda alvo”, que representa a quantidade de viagens dentro da área de estudo possíveis de se realizar considerando baixas distâncias e/ou tempo de viagem, que atualmente são realizadas por outros modos de transporte.

Esta variável difere do conceito geralmente empregado como “demanda potencial” ou “potencial de migração”, pois se sabe que o valor da “demanda alvo” não tem, efetivamente, viabilidade de migrar em sua totalidade para o modo cicloviário, pois as condições que levam ao ciclismo são diversas e não atendem a totalidade da população que desloca na área. No entanto, uma parcela da demanda alvo possui potencial de migração, por se enquadrar em características propícias ao ciclismo em condições gerais.

O critério “uso da bicicleta nos deslocamentos” foi adicionado à matriz de critérios estabelecida por FHWA (1992). A variável definida para sua representação foi a “demanda alocada”. Isso se deu devido ao fato de que as viagens já realizadas por bicicleta (demanda alocada) constituírem um natural indicador que aglutina uma série de fatores subjetivos de escolha modal e que já são quantificadas indiretamente pelas pesquisas de origem e destino.

A definição dos critérios e, conseqüentemente, das variáveis levou em consideração a importância atribuída a eles pela revisão bibliográfica realizada, bem como a disponibilidade da coleta dos dados de forma sistemática.

3.3 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Esta seção apresenta os procedimentos para aquisição e processamento da infraestrutura viária e das variáveis: declividade do terreno, escolha sintática, demanda alocada e demanda alvo.

O resultado desta etapa é a conformação do valor de cada variável, em intervalos padronizados, em *pixels* dimensionados com 150 metros de lado. A definição da dimensão do *pixel* teve com ponto de partida a analogia com o estudo de Larsen, Petterson e El-Geneidy (2012), que possuía 300m de lado. Este valor foi diminuído gradativamente até representar mais adequadamente a realidade da área de estudos da Grande Florianópolis, em grande parte caracterizada por trechos urbanos mais estreitos em comparação à cidade de Montreal, no Canadá, que foi referência para o estudo citado.

3.3.1 Infraestrutura viária

A fonte de dados da malha viária utilizada neste trabalho é o sistema de mapeamento colaborativo *OpenStreetMap* (OSM).

O OSM é um projeto fundado em 2004 e teve início com a criação de mapas por meio de dados de receptores GPS portáteis utilizados pelos seus próprios colaboradores. Com o passar do tempo, empresas que detinham o controle dos dados georreferenciados e imagens de satélite passaram a colaborar com o projeto.

Atualmente, além das empresas do setor de tecnologia e colaboradores independentes, o OSM é utilizado e alimentado por universidades e agências governamentais.

Todos os dados do OSM estão disponíveis sob licença do tipo *Open Database License* e podem ser acessadas através do endereço na rede mundial de computadores do projeto.

Os dados do OSM passaram por tratamento topológico a fim de se construir uma estrutura adequada para utilização na etapa de alocação de tráfego.

Para isso foram utilizados os seguintes módulos do GRASS SIG, em ordem:

- a. *v.clean.rmline*: remove os vetores com comprimento igual à zero;
- b. *v.clean.snap*: corrige a ausência de conectividade entre os vetores (ruas) em um raio pré-determinado (2m);
- c. *v.clean.break*: transforma os vetores em conjuntos de seções divididos pelos nós em cada um dos pontos que se interceptam;
- d. *v.out.ogr*: exporta o arquivo tratado para os formatos de exportação comuns, no caso *ESRI ShapeFile*.

3.3.2 Declividade longitudinal

A mensuração da declividade das vias urbanas pode ser realizada de três formas, geralmente derivadas de levantamentos topográficos *in loco*, de dados obtidos por meio de plataformas digitais gratuitas ou adquirindo os dados pagos destas plataformas, geralmente disponibilizados em melhor resolução que os dados gratuitos. Em estudo relativo a essa questão, Taniguchi, Ribeiro e Rodrigues (2014) avaliaram a correlação dos resultados de levantamentos realizados por métodos “*no-cost*” (no caso o API de elevação do Google) e “*low-cost*” (levantamento *in loco* utilizando medidor de inclinação e distanciômetro) com levantamentos topográficos de nove vias da cidade de Braga, Portugal.

Os resultados do trabalho indicaram que, em extensões não muito curtas de vias, tanto os métodos *low-cost* (correlação de 0,96 com o levantamento topográfico) quanto os *no-cost* (correlação de 0,94 com o levantamento topográfico) estudados apresentam correlações que indicam a confiabilidade dos resultados para avaliações preliminares de declividades em vias urbanas.

Dessa forma, considerando a situação preliminar do planejamento aqui proposto, a fonte adotada para os dados de elevação é o API de elevação do Google.

Para sistematizar a obtenção e processamento destes dados para toda a área de estudos, foi utilizada a ferramenta OSMnx (BOEING, 2017), desenvolvida para obtenção e análise de dados em vias urbanas e obtida por meio da biblioteca da linguagem de programação Python. Esta ferramenta realiza os procedimentos de aquisição e exportação da infraestrutura viária contendo seu atributo de declividade em arquivo *shapefile*. Para determinação da declividade dos *links*, a malha viária estruturada foi dividida arbitrariamente em segmentos de extensão não maior que 100m utilizando o módulo *v.clean.break* do GRASS GIS e, utilizando a ferramenta OSMnx, os nós recebem o atributo de elevação por meio do API da Google e posteriormente é calculada declividade dos segmentos viários. Esta extensão foi arbitrada de forma a considerar a distância padrão de um quarteirão, em áreas mais adensadas.

3.3.3 Escolha sintática

A infraestrutura viária obtida foi estruturada no formato de mapas axiais e analisada por meio do *software* Depthmap desenvolvido pela *University College London* (UCL).

A entrada dos dados de infraestrutura viária é realizada no formato “.dwg” e, já no *software* Depthmap convertidos para o formato axial.

De posse do mapa axial, é realizado o procedimento de análise sintática para a obtenção dos valores da variável “escolha” global dos segmentos do viário. Os resultados são exportados como camada vetorial no formato *shapefile*.

3.3.4 Demanda alocada

Os dados de demanda utilizados neste trabalho têm como fonte a pesquisa de origem e destino da área de estudo.

As viagens realizadas por bicicleta devem ser alocadas entre os pares de origem e destino (centroides das zonas de tráfego) da área de interesse.

As vias que passam por terrenos com inclinação maiores a 10% são eliminadas do processo de alocação por terem características que dificultam o ciclismo em geral.

Para a alocação de tráfego de bicicletas, as vias são consideradas como sendo sempre de dois sentidos e não possuindo restrição de capacidade (utilização do modelo tudo ou nada), tendo como critério de impedância apenas a distância.

Tal pressuposto foi adotado para a alocação tendo em vista que os critérios de escolha dos ciclistas pela rota utilizada são complexos e dependem de uma série de fatores que extrapolam os objetivos deste trabalho, como: percepção de segurança, condição do pavimento, conforto, entre outros.

Porém, entende-se que a aproximação é coerente, pois quando ofertada estrutura e condições apropriadas para a bicicleta (como é o objetivo do estudo em questão), o ciclista tende a circular por qualquer sentido bem como escolher as vias que lhe proporcionem o menor caminho possível entre sua origem e seu destino, em analogia ao automóvel privado. Tal condição possui regulamentação no Código de Trânsito Brasileiro.

A alocação de tráfego com tais pressupostos já foi adotada nos trabalhos de Aultman-Hall *et al.* (1997) e Larsen, Petterson e El-Geneidy (2012).

Por fim, as vias com o fluxo alocado são exportadas, do software utilizado na alocação, para o formato *shapefile*.

3.3.5 Demanda alvo

Para o estabelecimento da demanda alvo é aplicado o mesmo critério utilizado por Larsen, Petterson e El-Geneidy (2012). São consideradas viagens-alvo para bicicleta aquelas realizadas em modos motorizados, que percorrem distâncias compatíveis com a distância de 75% das viagens mais curtas realizadas por bicicleta na área de estudo, com base nos dados da pesquisa de origem e destino.

Ressalte-se que o conceito de demanda alvo, para este trabalho, é toda e qualquer demanda que atenda aos requisitos mínimos estabelecidos para que seja considerada em análises de potencial migração, a saber:

- a) Distância percorrida por veículo motorizado individual que seja inferior as 75% menores viagens realizadas por bicicleta na área de estudo;
- b) Não ter como motivação compras ou saúde.

Não se deve confundir a grandeza da demanda alvo com a da demanda estimada para migração modal, pois, dado um incremento na oferta de condições para o ciclismo, esta

demanda (demanda alvo) encontra-se dentro dos padrões gerais direcionados a possibilidade de se deslocar por bicicleta, porém a escolha pelo ciclismo depende de uma série de características mais complexas do que, por exemplo, tempo de viagem e custo do deslocamento, usualmente consideradas para cálculo da demanda potencial do transporte coletivo motorizado. Em síntese, a demanda alvo consiste nos deslocamentos realizados por modos motorizados que poderiam ser realizados por bicicleta, porém dependem da escolha individual e aptidão ao ciclismo, portanto, apenas uma parte desta demanda pode efetivamente migrar para o modo ciclovitário.

Dessa forma, com base na matriz de origem e destino, deve-se construir a matriz de distâncias de todos os deslocamentos realizados por bicicleta, de forma a identificar qual a distância potencial para migração modal (referente à distância máxima atingida pelos 75% das viagens realizadas por bicicleta).

Com base nos dados da pesquisa domiciliar e considerando a distância potencial para migração calculada, é realizada a alocação das viagens por veículos motorizados e construída sua matriz de distâncias, na qual são eliminadas todas as viagens com distâncias superiores a distância potencial para migração.

Para determinação das viagens alvo, são retiradas dos resultados as viagens que tem como motivação compras e saúde por serem motivações que incorrem na existência de capacidade para o transporte de cargas e em condições físicas possivelmente debilitadas do usuário.

O procedimento de alocação dos dados na infraestrutura viária utiliza o método tudo-ou-nada, tendo os sentidos e velocidades regulamentares das vias, em oposição ao processo de alocação das viagens por bicicleta.

3.3.6 Estruturação das variáveis

Após a aquisição em camadas vetoriais das quatro variáveis (declividade, escolha, demanda alocada e demanda alvo), as mesmas precisam ser convertidas para o formato *raster* e ter seus valores normalizados para aplicação da análise multicritério.

Para a conversão dos arquivos vetoriais para *raster*, foi realizada a transformação dos vetores em pontos, espaçados pela distância que se arbitrou em 10 metros. Isso é realizado pela função `v.to.points` do GRASS GIS. Tal transformação se mostrou necessária, pois foi a forma encontrada para controlar o procedimento de valor atribuído para cada *pixel* resultante,

uma vez que o procedimento empregado a seguir seleciona o vetor de maior valor no interior dos *pixels*.

Posteriormente à elaboração dos arquivos de pontos para cada variável, as mesmas são convertidas para arquivos raster, por meio do seguinte procedimento, no GRASS GIS:

- a. Definir a extensão do pixel: uso da função `g.region`, com argumento `res = 150m`
- b. Selecionar o atributo da camada vetorial a ser utilizado: uso da função `v.db.select`, com argumento `column = a variável desejada`
- c. Gerar e exportar arquivo ASCII: uso da função `v.out.ascii`
- d. Importar o arquivo ASCII e determinar o atributo do pixel: uso da função `r.in.xyz`, com argumento `z = 4; method = max.`

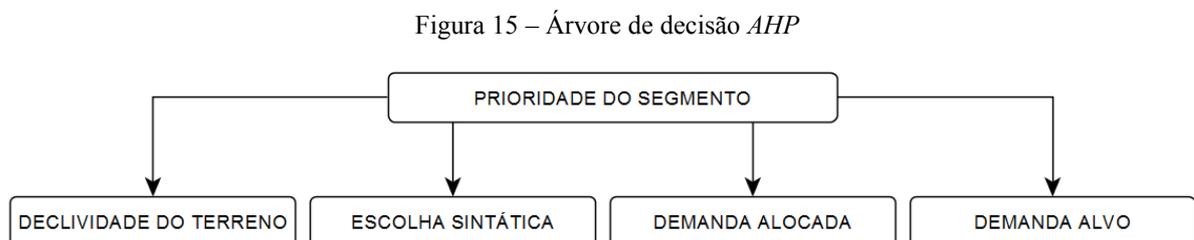
Após a obtenção dos arquivos raster para cada variável, os valores devem ser normalizados. Neste trabalho, os valores menos desejados foram estabelecidos como “1” e os mais desejados como “10”. Dessa forma, o domínio de cada variável se encontra dentro de um intervalo padronizado possível de utilização no método *AHP*.

A normalização dos valores dos pixels para cada arquivo *raster* é realizada com a utilização da função `r.reclass`.

3.4 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

É necessário o estabelecimento de pesos para as variáveis empregadas neste trabalho, conforme apresentado na seção 2.3, de forma a obtenção do vetor “valor de avaliação de alternativa”.

Para tal, foi estabelecida a árvore de decisão do método *AHP*, conforme apresenta a Figura 15.



Com base na árvore de decisão do *AHP*, deve ser elaborada a matriz comparação entre as variáveis, utilizando a metodologia de comparação par-a-par de pesos estabelecidos por Saaty e Vargas (2012).

Posteriormente à elaboração da matriz de comparação, conforme procedimento do método *AHP*, é realizado o cálculo da matriz normalizada e do auto vetor principal.

Deve ser realizado o cálculo do índice de consistência para validar o procedimento realizado, quando da existência de três ou mais variáveis, como o caso deste estudo.

Tendo a consistência do modelo validada estatisticamente, conforme procedimentos do método *AHP*, obtém-se a equação para o valor de priorização do segmento, que deve ser calculado para cada *pixel* da área de estudo.

O resultado deste procedimento é um arquivo raster contendo a somatória das variáveis estabelecidas com seus respectivos pesos, de forma que quanto mais próximo de dez, mais prioritária é a implantação de estruturas cicláveis nas vias que atravessam o *pixel*, seja por meio da implantação de novas estruturas, ou melhoria das existentes.

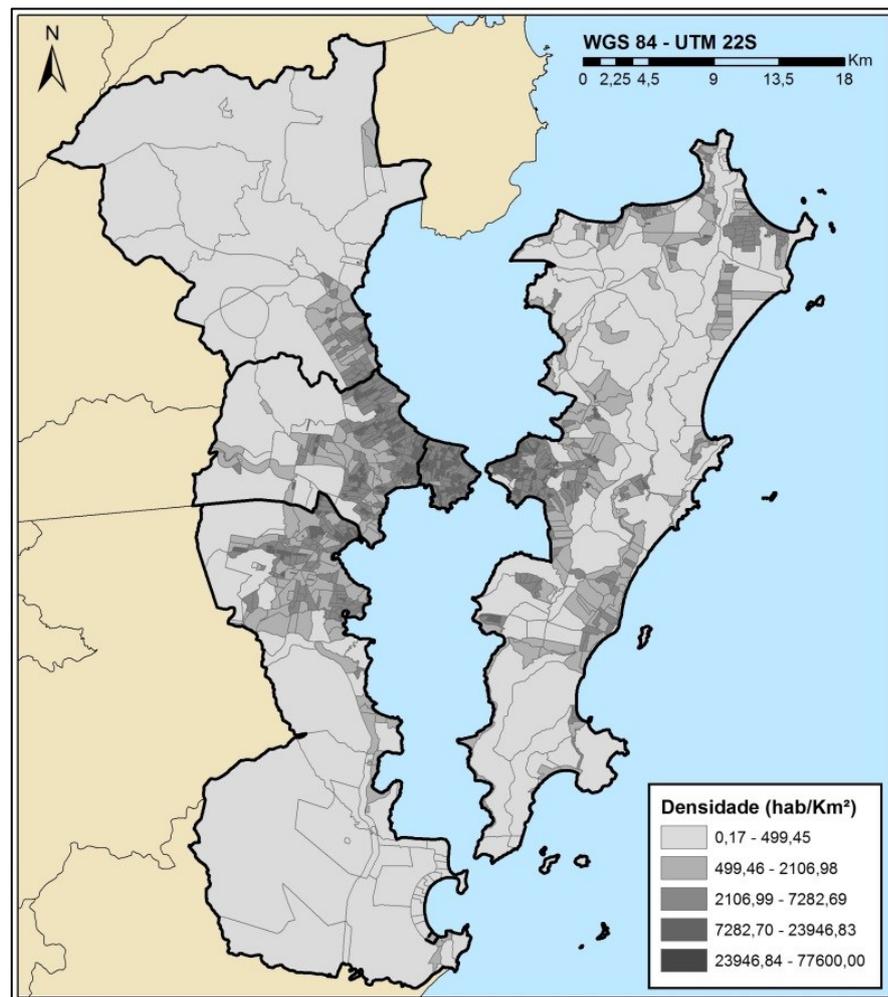
4 APLICAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO

Esta seção está dividida em quatro partes: na primeira é apresentada a área de estudos; a segunda e terceira, respectivamente, desenvolvem a estruturação da infraestrutura viária e das variáveis; a última parte tem como objetivo a aplicação da análise multicritério e do modelo de priorização desenvolvido.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Este estudo abrange o sistema viário dos municípios da Grande Florianópolis, mais especificamente os quatro com área urbana conurbada, a saber: Florianópolis, São José, Palhoça e Biguaçu, conforme se pode observar na Figura 16, onde a intensidade de cinza represente a densidade populacional (quanto mais escuro, mais densamente habitada).

Figura 16 – Delimitação da área de estudos



Fonte: Elaborado pelo autor. Dados: IBGE.

Dados do IBGE (2019) indicam que a população estimada para o ano de 2018 nos quatro municípios foi de 957.040 habitantes. Na Tabela 10 são apresentados os dados detalhados para cada município, incluindo o Produto Interno Bruto por habitante e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal.

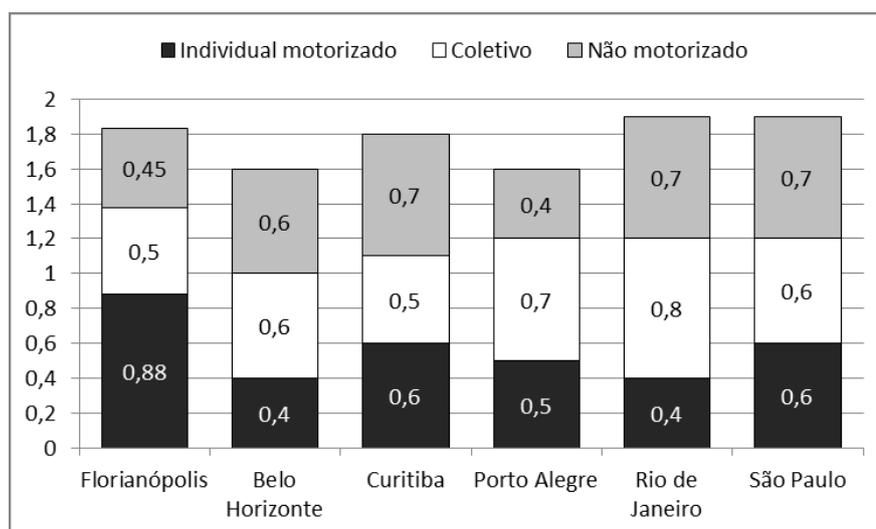
Tabela 10 – Dados socioeconômicos da área de estudos

Município	População (2018)	PIB per capita (2016)	IDHM (2010)
Florianópolis	492.977	R\$ 39.048,21	0,847
São José	242.927	R\$ 41.960,75	0,809
Palhoça	168.259	R\$ 27.123,36	0,757
Biguaçu	67.458	R\$ 23.224,36	0,739
Total	971.621	-	-

Fonte: IBGE (2019)⁵

O índice de mobilidade, que mensura a quantidade média de deslocamentos realizados por cada pessoa durante um dia típico, na Grande Florianópolis, é de 1,83 viagens por pessoa. Valor comparativamente acima das regiões de Belo Horizonte, Curitiba e Porto Alegre. Quando se observa o modo de transporte em que os deslocamentos são realizados denota-se que o transporte motorizado individual é significativamente mais utilizado (cerca de 86%) na área de estudo do que na média destas regiões metropolitanas (Figura 17).

Figura 17 – Comparativo do índice de mobilidade (viagens/habitante)

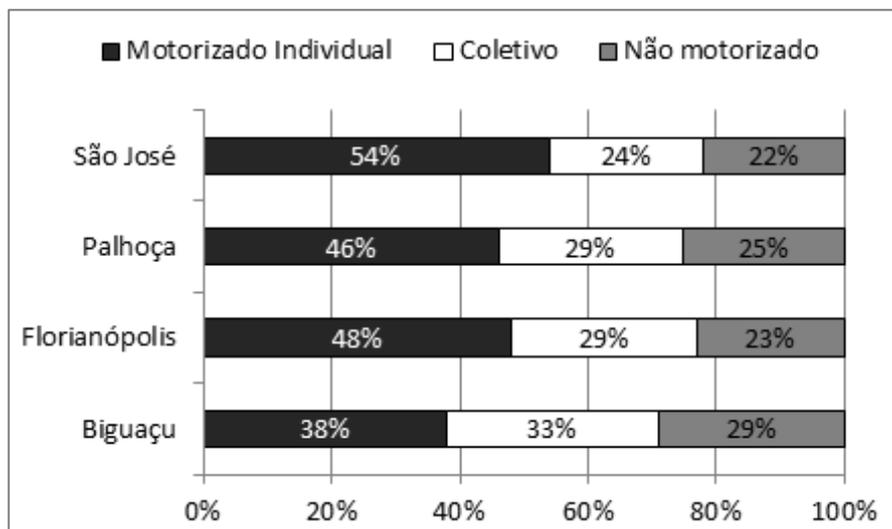


Fonte: Adaptado de LOGIT et al. (2015)

⁵ <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/florianopolis/panorama>

A repartição modal dos municípios da área de estudo, apresentada na Figura 18 enfatiza, à exceção de Biguaçu, a importância do modo motorizado individual na matriz de deslocamentos.

Figura 18 – Repartição modal dos municípios da área de estudo



Fonte: Adaptado de LOGIT et al. (2015)

A infraestrutura dedicada à bicicleta na região da Grande Florianópolis possui 115,2 Km de extensão. A Tabela 11 apresenta a extensão por tipo de estrutura: ciclovia, ciclofaixa ou outras (passeios compartilhados, rotas, passarelas).

Tabela 11 - Extensão da infraestrutura ciclável da Grande Florianópolis

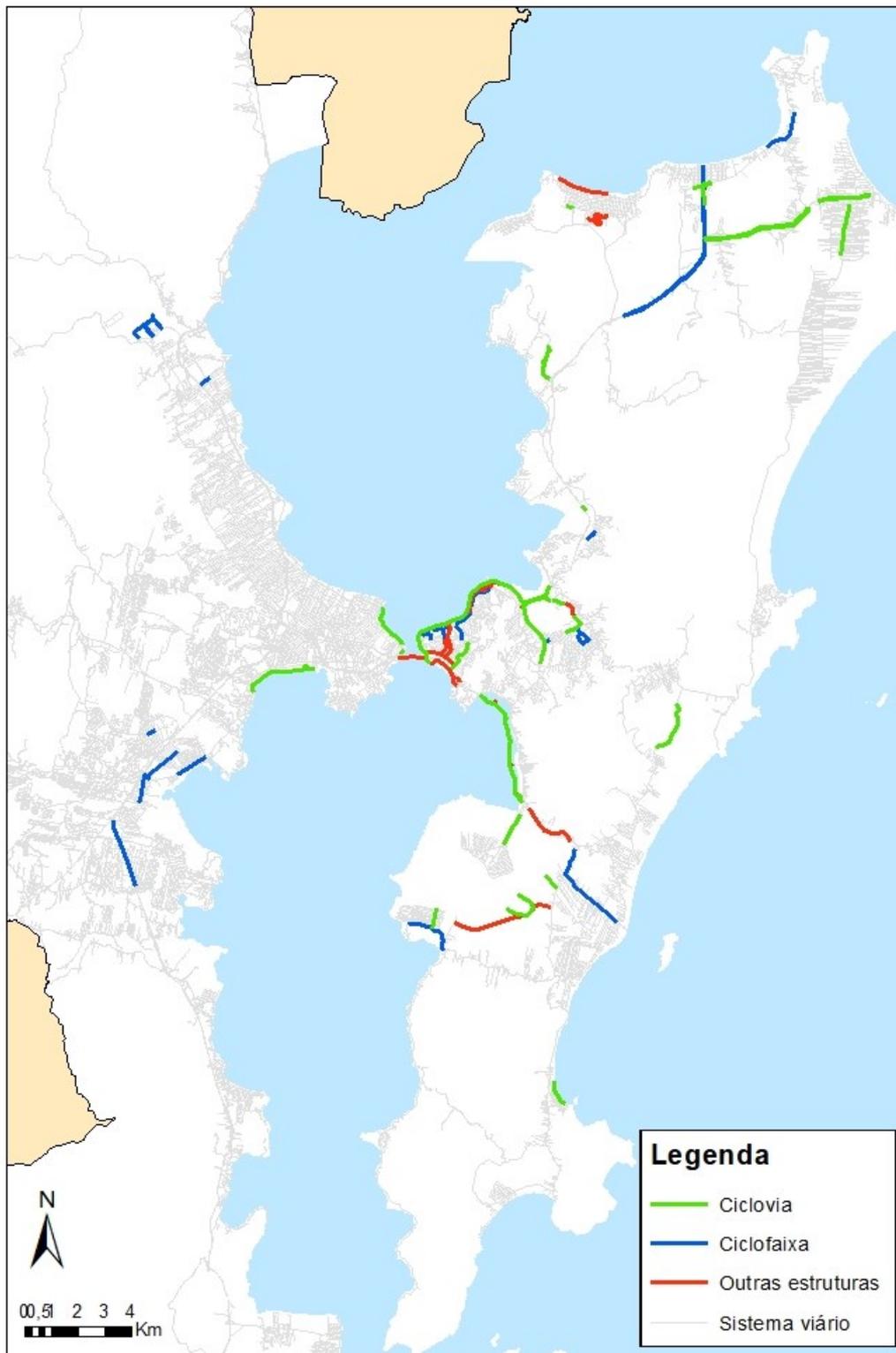
Tipo de estrutura	Extensão (Km)
Ciclovia	51,3
Ciclofaixa	43,1
Outras	20,8
Total	115,2

Fonte: Bicicletópolis⁶

A visão geral da distribuição espacial na área de estudo é apresentada na Figura 19.

⁶ <http://bicicletopolis.com/mapas/mapa-ciclovias/>. Acesso em 20/03/2019.

Figura 19- Visão geral da distribuição espacial das estruturas cicláveis na área de estudo



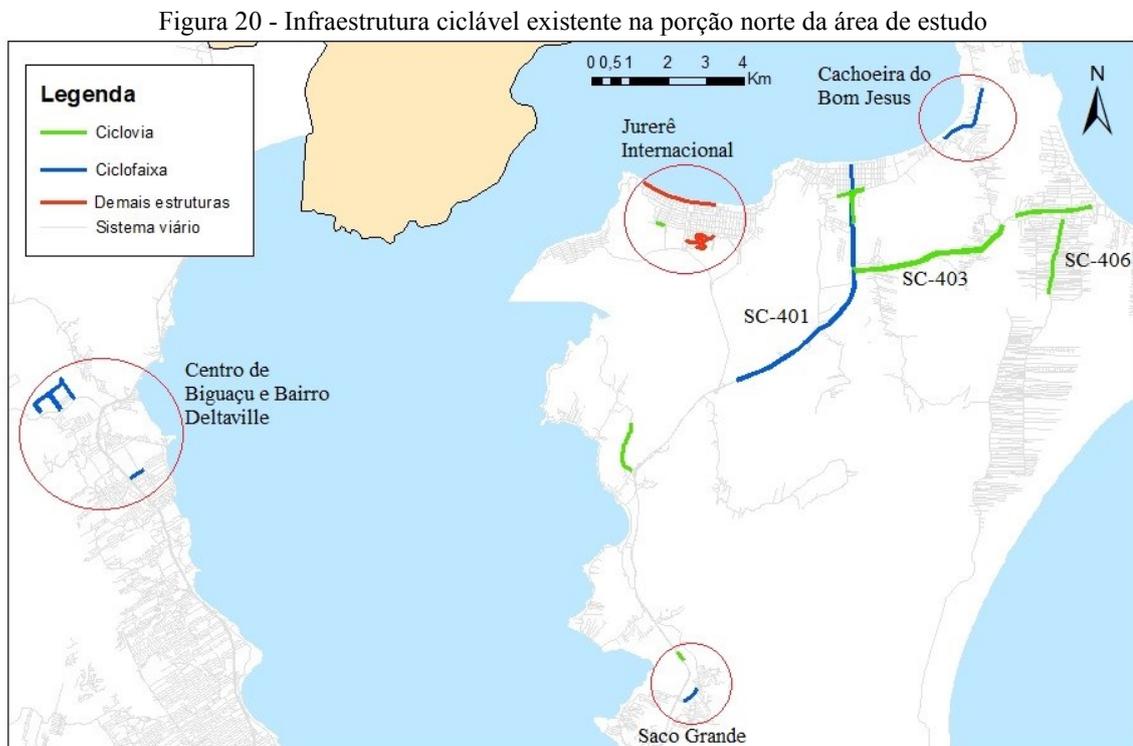
Fonte: Elaborado pelo autor. Dados: Logit (2015) e Bicletópolis.

Alguns estudos realizaram avaliação da oferta de infraestrutura ciclável em parte da área de estudo, bem como estudaram as características de integração do transporte cicloviário com outros (FUJIWARA, 2017; ARGENTA, KNAK e PEÑA, 2017; IZZY, 2013). Para melhor

apresentação e detalhamento da oferta dessa infraestrutura, a área de estudo foi dividida em três segmentos: área norte, área central e área sul.

4.1.1 Estrutura ciclável existente na área norte

A oferta de infraestrutura ciclável na parte norte é apresentada na Figura 20. Observa-se a existência de ciclofaixa marginal à rodovia SC-401, que interliga a região central ao bairro de Canasvieiras, no norte da ilha. Na rodovia SC-403 há a ocorrência de ciclovia em sua faixa de domínio, bem como na SC-406 na parte urbana do bairro Ingleses em direção ao bairro Rio Vermelho.



Fonte: Elaborado pelo autor. Dados: Logit (2015) e Bicyclétópolis.

Alguns trechos isolados e desconectados de ciclofaixa ocorrem na área do bairro Saco Grande, Cachoeira do Bom Jesus e no centro do município de Biguaçu e bairro Deltaville, na porção continental. Também há a ocorrência de infraestrutura vocacionada para o lazer no bairro de Jurerê Internacional.

4.1.2 Estrutura ciclável existente na área central

A área central da Grande Florianópolis, que engloba o município de Florianópolis (parte continental e insular) e São José (parte continental), oferece uma rede de infraestruturas cicláveis mais capilarizada que a área norte. À exceção da ciclovia na avenida Acioni Souza Filho (conhecida como Beira-Mar de São José), toda infraestrutura ofertada nesta área se concentra no município de Florianópolis. A oferta atual de infraestrutura é apresentada na Figura 21.

Figura 21 - Infraestrutura ciclável existente na porção central da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor. Dados: Logit (2015) e Bicyclétópolis.

4.1.3 Estrutura ciclável existente na área sul

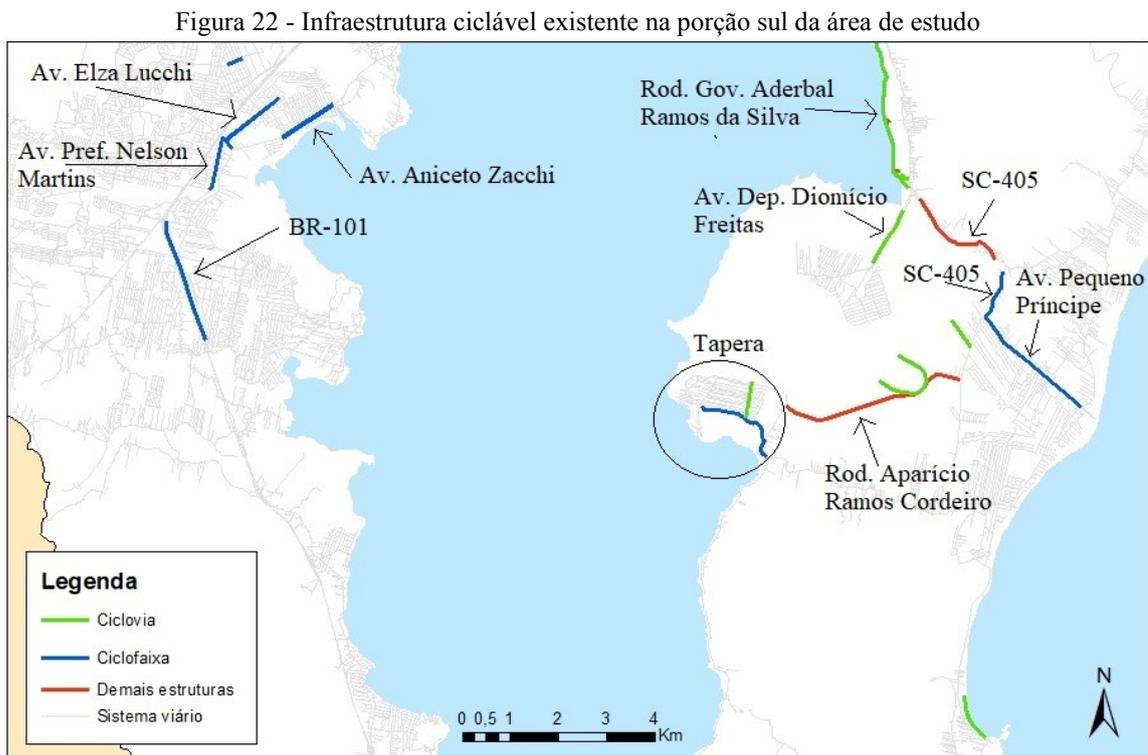
Na porção sul da área de estudo, há ocorrência de ciclovias na Rodovia Governador Aderbal Ramos da Silva, que conecta o centro da região ao sul da ilha de Santa Catarina. A Avenida Deputado Diomício Freitas, que dá acesso ao Aeroporto Internacional Hercílio Luz e pequenos trechos internos no bairro Tapera e na margem da Rodovia Aparício Ramos Cordeiro totalizam os trechos de ciclovias existentes nesta área.

A Rodovia SC-405 oferta calçada compartilhada em um dos lados da via entre ciclistas e pedestres até o entroncamento com a SC-406, quando passa a apresentar ciclofaixa que adentra o bairro Campeche pela Avenida Pequeno Príncipe.

Há oferta de ciclofaixa interna no bairro Tapera, bem como está em fase de implantação infraestrutura ciclável na Rodovia Aparício Ramos Cordeiro, que dará acesso ao novo terminal de passageiros do Aeroporto Internacional Hercílio Luz.

A parte continental do segmento sul da área de estudo apresenta apenas oferta de ciclofaixas, localizadas majoritariamente na Avenida Elza Lucchi, Prefeito Nelson Martins e Aniceto Zacchi e na pista marginal da Rodovia BR-101, no município de Palhoça.

A Figura 22 apresenta a oferta de infraestrutura ciclável na porção sul da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor. Dados: Logit (2015) e Bicletópolis.

4.2 ESTRUTURAÇÃO DA INFRAESTRUTURA VIÁRIA

Foram descarregadas do OSM, utilizando o provedor GeoFabrik.de, que é um provedor de extração de dados por região geográfica do OSM, as camadas de dados vetoriais correspondentes ao território brasileiro e, em sequência, selecionados os correspondentes aos quatro municípios conurbados da Grande Florianópolis (São José, Palhoça, Biguaçu e Florianópolis), com data da última atualização em abril de 2018.

Os atributos da camada foram estruturados nas seguintes colunas: nome da via, extensão e sentido (no caso deste trabalho, para a alocação das viagens por bicicleta, foi criada uma versão em que todas as vias foram caracterizadas como possuindo sentido duplo de circulação).

Foram realizados todos os procedimentos de tratamento dos dados a fim de compor uma estrutura de grafo adequada para o estudo, conforme descrito na seção 3.3 deste trabalho.

A Figura 23 apresenta um recorte da estrutura viária obtida, após o tratamento topológico.

Figura 23 – Recorte da infraestrutura viária



Fonte: Elaborada pelo autor. Dados: OSM

4.3 ESTRUTURAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Nesta seção, as variáveis do modelo serão estruturadas para a aplicação piloto.

4.3.1 Declividade longitudinal

De forma a sistematizar a obtenção e processamento destes dados para toda a área de estudos, foi utilizada a ferramenta OSMnx (BOEING, 2017), desenvolvida para obtenção e análise de dados em vias urbanas e obtida por meio da biblioteca da linguagem de programação Python.

Para utilização da ferramenta, é necessária obtenção de chave de acesso específica para os serviços de elevação da Google, que pode ser obtida gratuitamente⁷. Em posse da chave, o *script* do OSMnx para obtenção de declividades foi adaptado para a coleta conjunta dos dados das quatro localidades da aplicação piloto (Florianópolis, São José, Palhoça e Biguaçu), bem como incrementado para exportação dos resultados em arquivo *shapefile*. O *script* utilizado é apresentado no Apêndice A.

O resultado deste processamento é a atribuição dos valores de declividade média aos segmentos vetoriais das vias da área de estudos que têm como origem o *OSM*.

Os procedimentos aqui adotados se baseiam nas justificativas apresentadas na Seção 3 deste trabalho.

Objetivando a conversão do arquivo para *raster* e a consequente estruturação dos dados neste formato, os segmentos viários foram convertidos para pontos, mantendo a distância máxima entre eles de dez metros.

Posteriormente, no *software* GRASS GIS o arquivo vetorial de pontos foi convertido para *raster*, com *grid cell* de 150 metros.

Todas as vias com declividade média superiores a 10% foram eliminadas do modelo por não apresentarem condições para o deslocamento por bicicleta.

As células da área de estudo passaram por normalização a fim de possibilitar a aplicação no método *AHP*, sendo os valores atribuídos para cada classe apresentados na Tabela 12.

A normalização dos valores teve como critério, visando a melhor representação espacial para o caso, a utilização do método de quebras naturais para a determinação do intervalo de classes apresentado, utilizando o *software* QGIS. Este método se baseia na otimização de Jenk e consiste basicamente na minimização da soma da variância dentro de cada classe, levando a identificação de pontos de quebra que melhor agrupem valores similares e, ao mesmo, maximizem a diferença entre as classes⁸.

Tabela 12 – Valores normalizados da variável declividade do terreno

Declividade longitudinal da via(%)	Classe normalizada
0,00 a 0,42	10
0,43 a 0,98	9
0,99 a 1,71	8
1,72 a 2,65	7

Continua

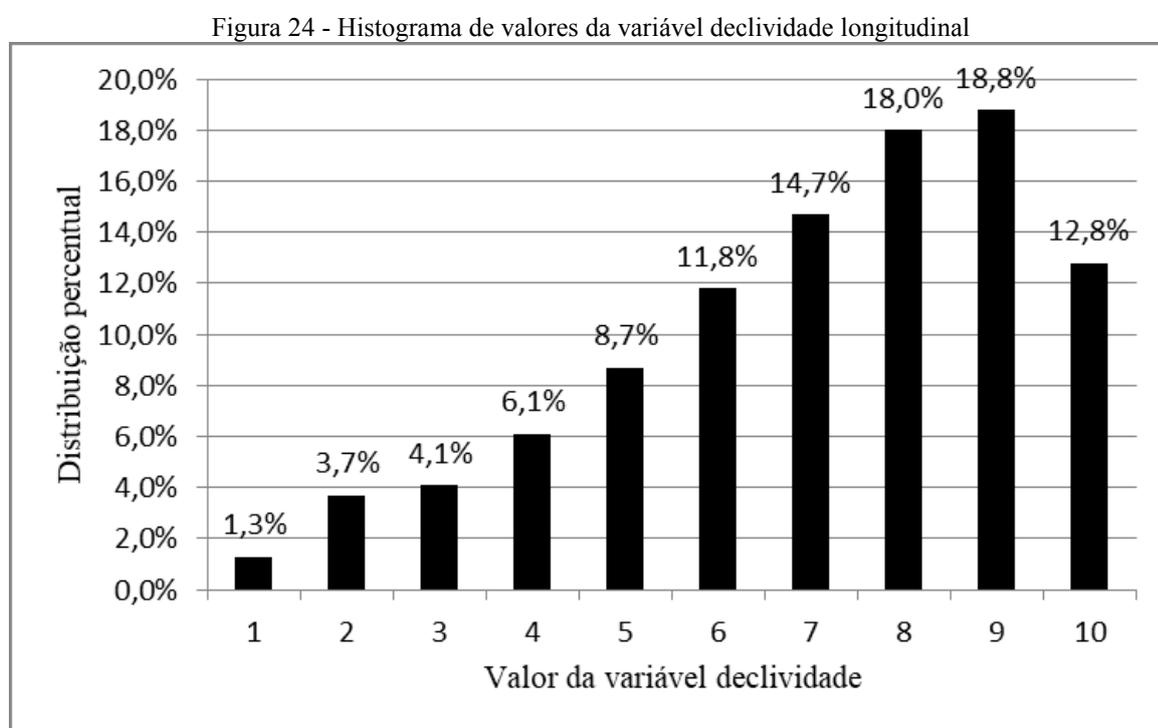
⁷ <https://developers.google.com/maps/documentation/elevation/intro>

⁸ COSTA, H. C. C; SILVA, M. V. A; FERREIRA, N. C. Introdução ao gvSIG. Disponível em: http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/cursos_online/gvsig/index.html.

Continuação da Tabela 12

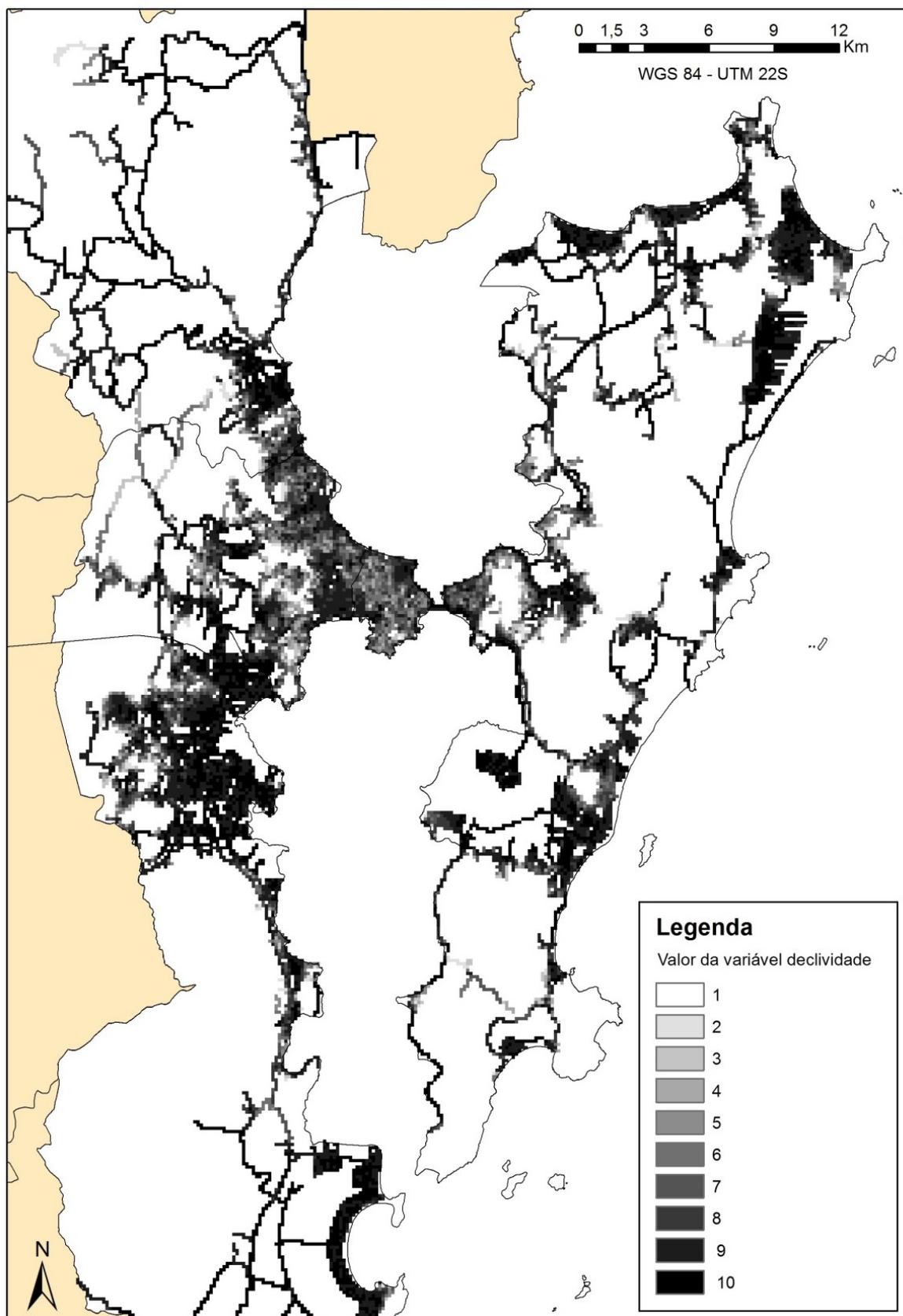
2,66 a 3,72	6
3,73 a 4,91	5
4,92 a 6,15	4
6,16 a 7,46	3
7,47 a 9,01	2
9,02 a 10,00	1

A Figura 24 apresenta a distribuição da ocorrência dos valores de declividade entre as classes determinadas.



A Figura 25 apresenta o resultado desta modelagem. Nela, é possível observar que as vias no município da Palhoça e as zonas norte e sul de Florianópolis apresentam condições de declividade muito próximas à zero, sendo os valores em sua grande parte classificados como 9 e 10.

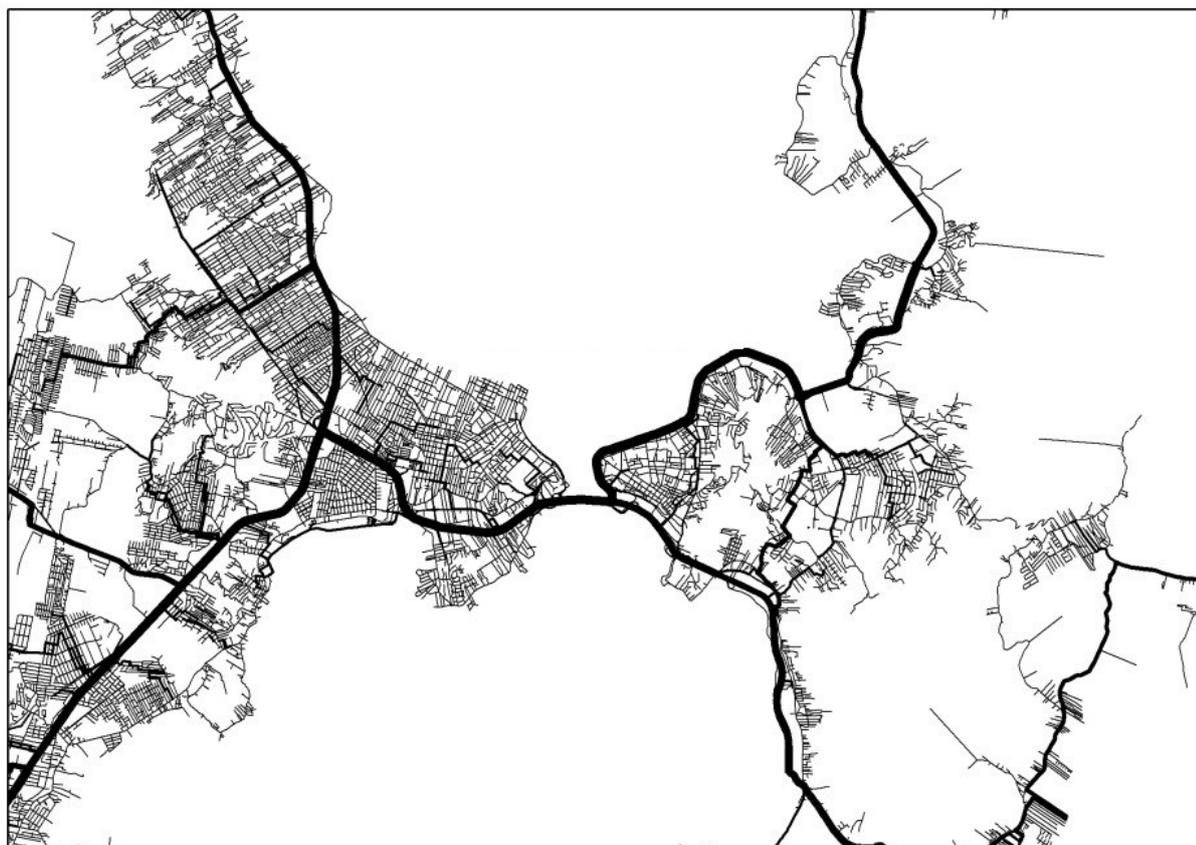
Figura 25 – Variável declividade



4.3.2 Escolha sintática

A infraestrutura viária da área de estudo foi estruturada no formato de mapas axiais e analisada por meio do *software* Depthmap. A Figura 26 apresenta um recorte do sistema viário da porção central da área conurbada da Grande Florianópolis, com o valor da medida sintática escolha sendo representado pela espessura da linha (quanto mais espesso, maior a escolha sintática do trecho de via).

Figura 26 – Valores da medida sintática escolha na porção central



Fonte: Elaborado pelo autor: Dados: OSM, UCL Depthmap

Como é possível observar na Figura 26, as vias com maior escolha tendem a ser as mais extensas por conectarem várias zonas e vias às demais da malha.

Dessa forma, permite-se ao usuário de qualquer local da área urbana acessar uma dessas vias na sua proximidade e acessar qualquer outra área de forma contínua e conectada.

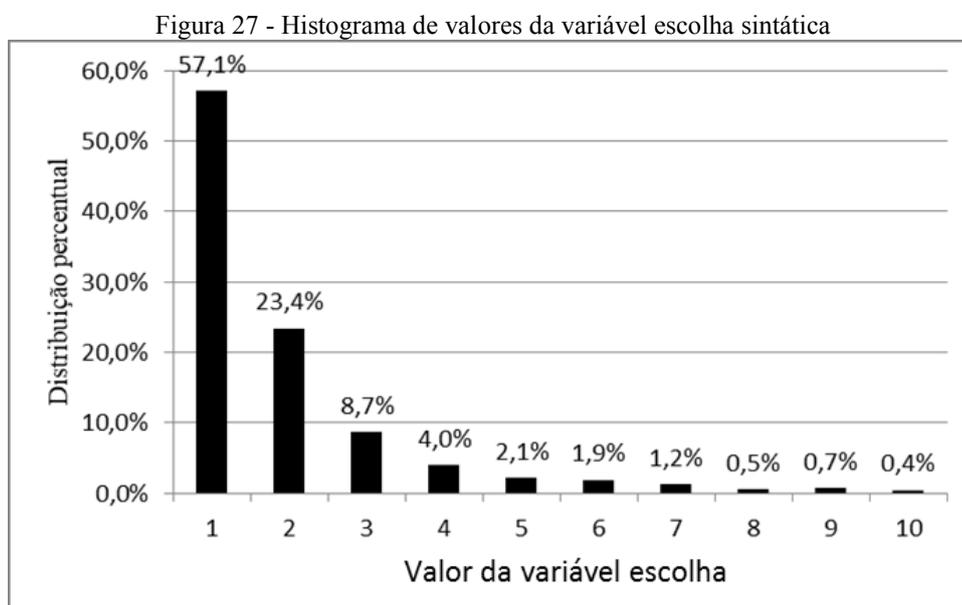
A extensão total das vias extrapola a distância máxima esperada para viagens por bicicleta, porém quando tratamos de todos os deslocamentos em conjunto dos ciclistas (dados de demanda), observamos que os segmentos de via são utilizados por diferentes usuários em diferentes trajetos.

Após processamento do arquivo vetorial resultante a fim de se obter um arquivo raster com *grid cell* com abertura de 150 metros, os valores de escolha foram normalizados em uma escala que varia de um até dez, conforme Tabela 13.

Tabela 13 - Valores normalizados da variável escolha

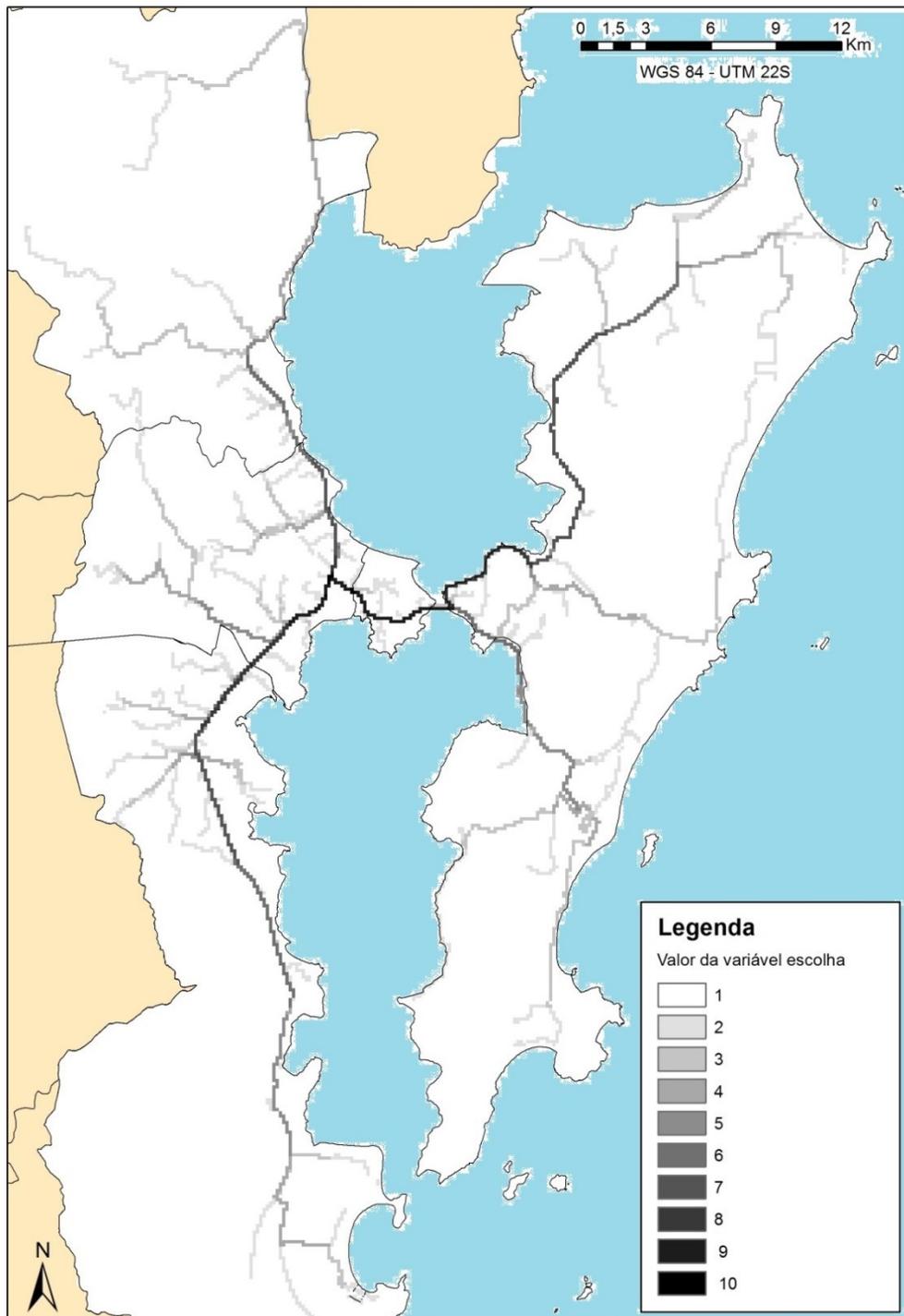
Escolha (escolha/100000)	Classe normalizada
36090 a 47789	10
24255 a 36089	9
17461 a 24254	8
11806 a 17460	7
8227 a 11805	6
5270 a 8226	5
2716 a 5269	4
1215 a 2715	3
332 a 1214	2
0 a 331	1

A normalização da variável escolha teve como critério, assim como as demais variáveis, o método de quebras naturais. A distribuição da ocorrência dos valores é apresentada na Figura 27.



A Figura 28 apresenta o resultado da variável escolha. Nela, é possível observar que os valores mais elevados são encontrados na Rodovia BR-101, BR-282 (via expressa), Avenida Beira-Mar Norte e as Rodovias SC-401 e SC-405.

Figura 28 - Variável escolha



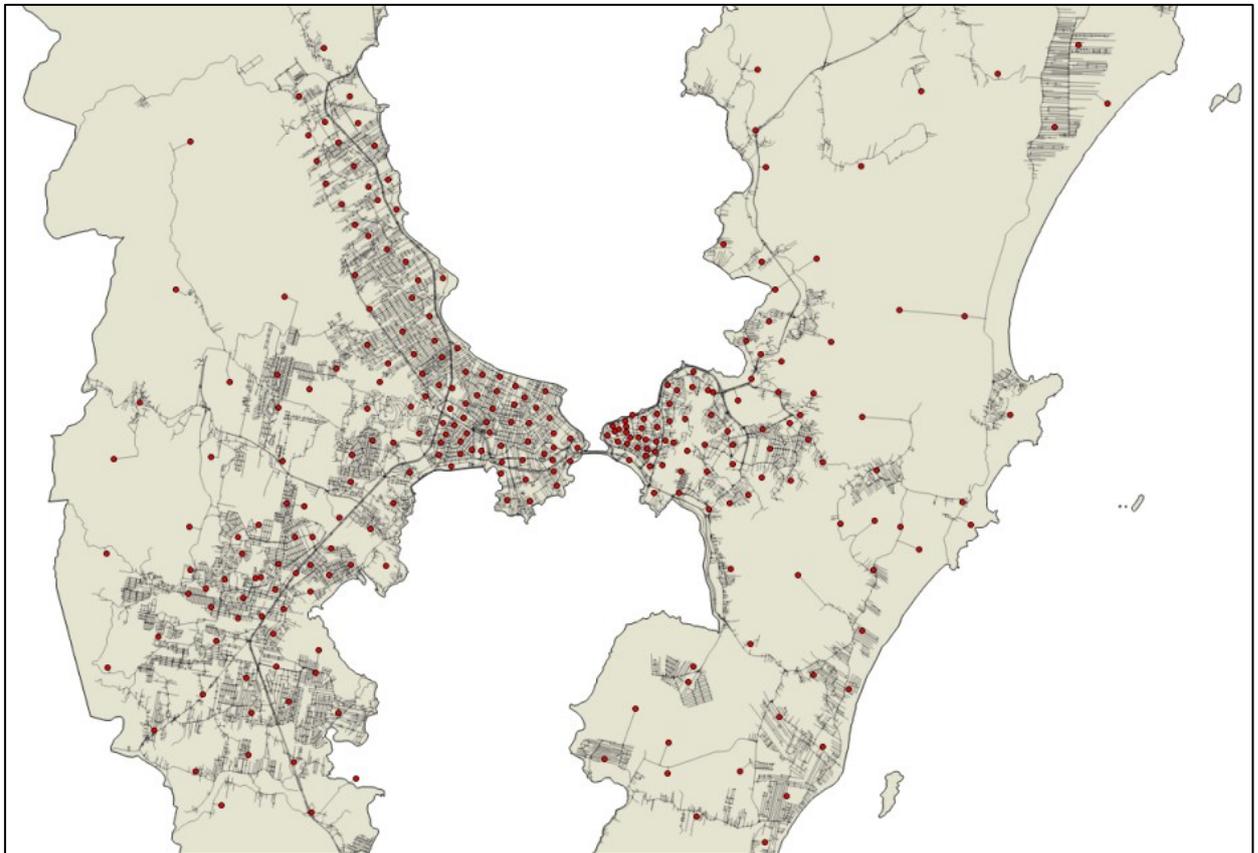
4.3.3 Demanda alocada

Os dados referentes à demanda utilizados neste trabalho tiveram como base a pesquisa de origem e destino realizada na Grande Florianópolis quando da elaboração do Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis – PLAMUS, no ano de 2014.

Os pesquisadores entrevistaram 4.915 domicílios em Florianópolis, São José, Palhoça e Biguaçu entre os dias 10/04/2014 e 12/07/2014. A expansão das amostras foi realizada, entre outros fatores, pelas classes de renda de cada zona de tráfego, de acordo com dados disponibilizados pelo IBGE e com ajustes de contagem volumétrica em *screen line* nas pontes de acesso à Ilha de Santa Catarina.

A área de estudos foi dividida em 295 zonas de tráfego, as quais foram representadas através de centroides, que podem ser observados na Figura 29 em vermelho sobre a estrutura viária dos municípios.

Figura 29 - Recorte dos centroides das zonas de tráfego



Fonte: Elaborado pelo autor. Dados: PLAMUS, IBGE.

No resultado da expansão da pesquisa, para todos os modos de transporte, temos a ocorrência de 1.666.921 viagens internas, por dia útil, na área de estudos, distribuídas em 18.838 pares de origem e destino.

Para a modelagem desta variável, foram separadas apenas as viagens já realizadas por bicicleta dentro da área de estudos. Após a filtragem dos dados, obteve-se um total de 67.702

viagens por bicicleta, distribuídas em 688 pares de origem e destino, representando um total de 4,06% do total das viagens da área. Os valores são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Participação da bicicleta nos deslocamentos

	Todos os modos	Bicicleta	Participação
Viagens	1.666.921	67.702	4,06%
Pares O/D	18.383	688	3,74%

Fonte: Adaptado de LOGIT et al. (2015)

Posteriormente, com o auxílio da ferramenta TransCAD, foi realizada a alocação das viagens realizadas por bicicleta entre os pares de origem e destino (centroides das zonas de tráfego).

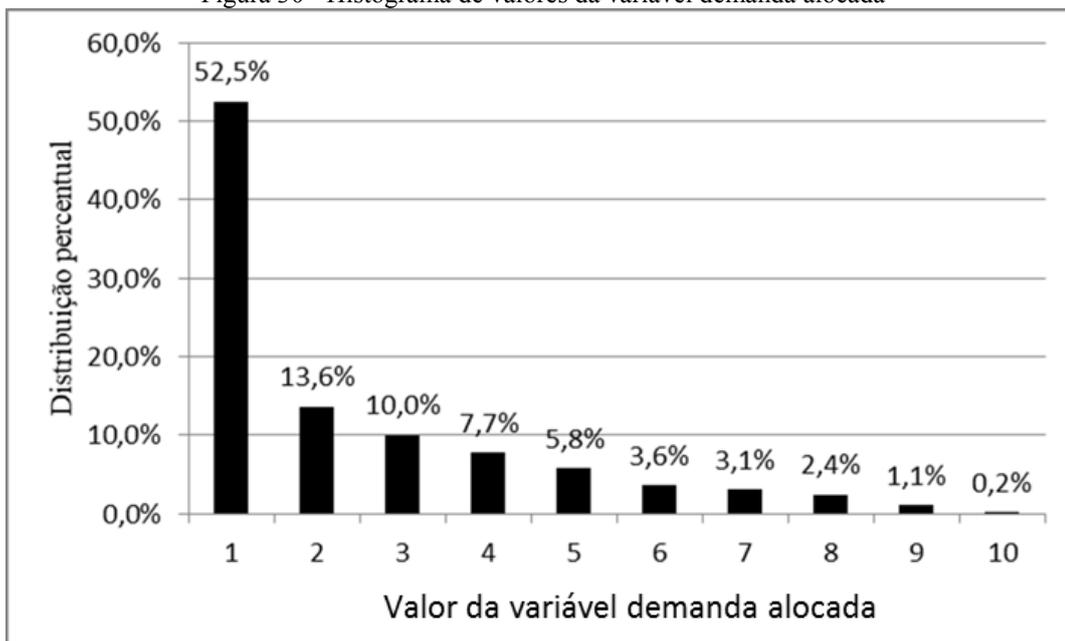
Os valores da variável foram normalizados em escala que varia de um a dez, conforme a Tabela 15, utilizando o critério de quebras naturais.

Tabela 15 - Valores normalizados da variável demanda alocada

Demanda alocada (diária)	Classe normalizada
4126 a 5664	10
2863 a 4125	9
2000 a 2862	8
1571 a 1999	7
1183 a 1570	6
834 a 1182	5
546 a 833	4
314 a 545	3
102 a 313	2
0 a 101	1

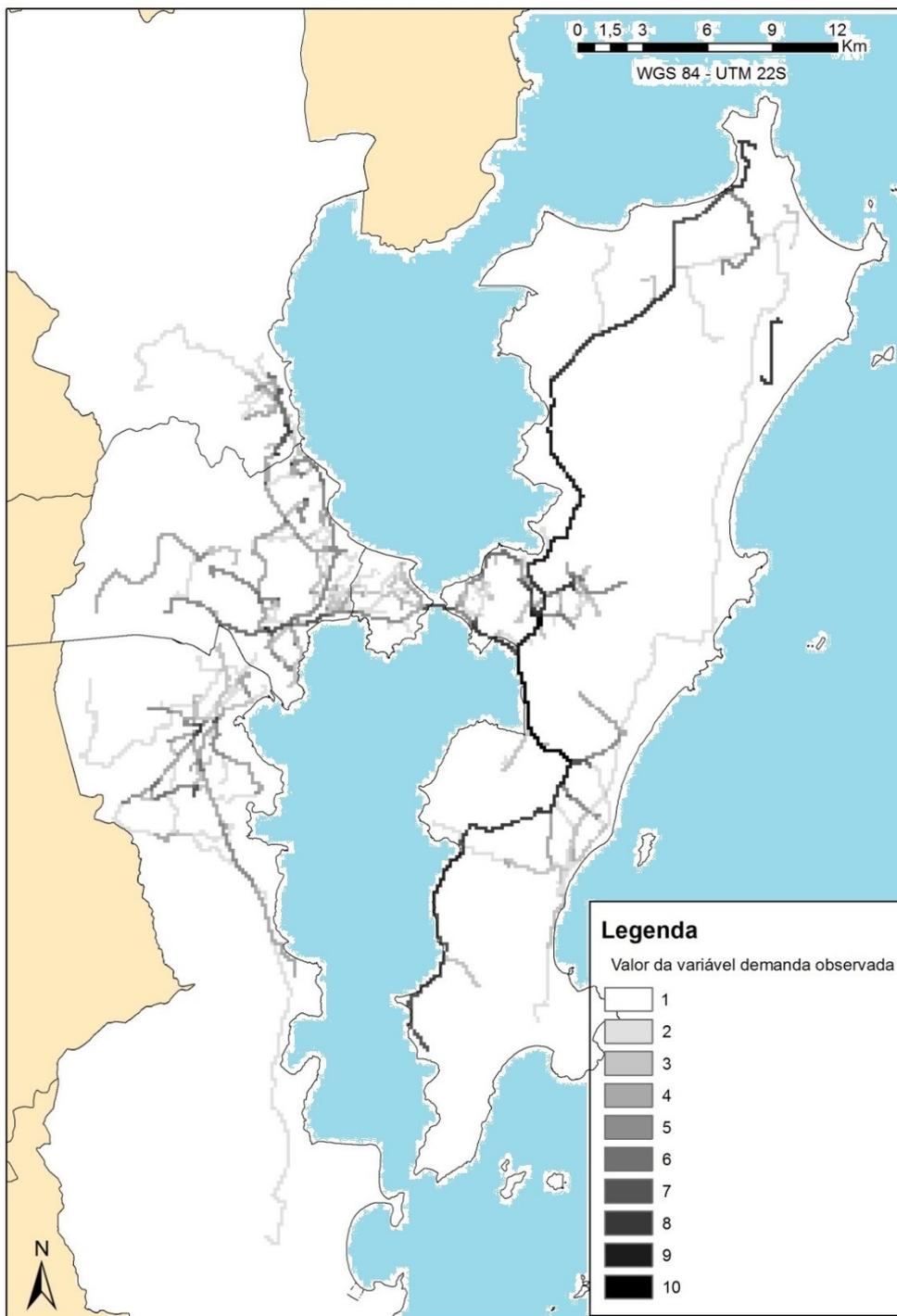
A distribuição da ocorrência dos valores da variável demanda alocada pode observada na Figura 30.

Figura 30 - Histograma de valores da variável demanda alocada



A Figura 31 representa o arquivo *raster* da variável, com *grid cell* de abertura de 150 metros. É possível observar que os maiores fluxos de deslocamento estão entre a zona da Bacia do Itacorubi (porção central de Florianópolis) e as zonas sul e norte do município. A porção continental da região apresenta deslocamentos significativamente mais desconcentrados que a insular.

Figura 31 – Variável demanda alocada

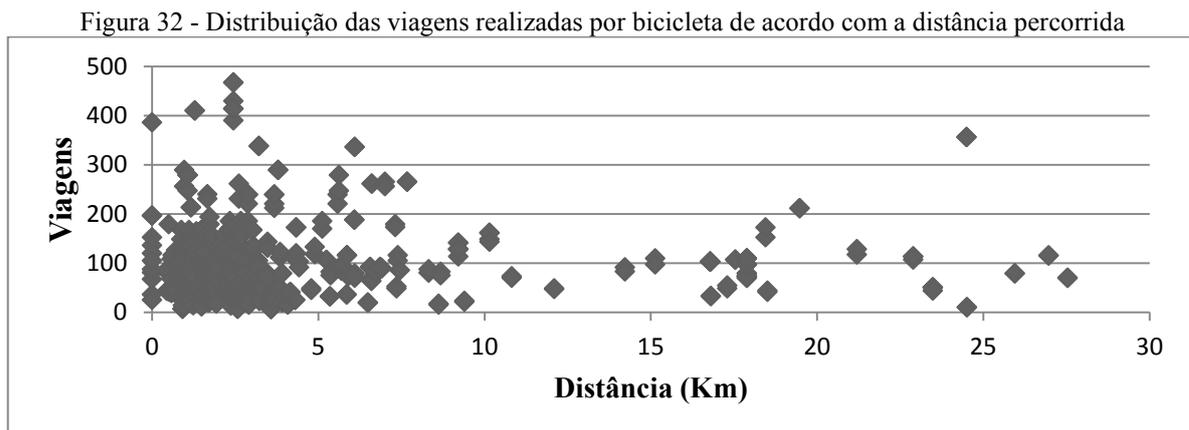


4.3.4 Demanda alvo

São consideradas como alvo de migração para a bicicleta, as viagens realizadas por modos motorizados em que a distância não ultrapasse a distância das 75% mais curtas viagens realizadas por bicicletas na área de estudo (distância de migração). Dessas viagens, foram retiradas aquelas que têm como motivação compras ou saúde.

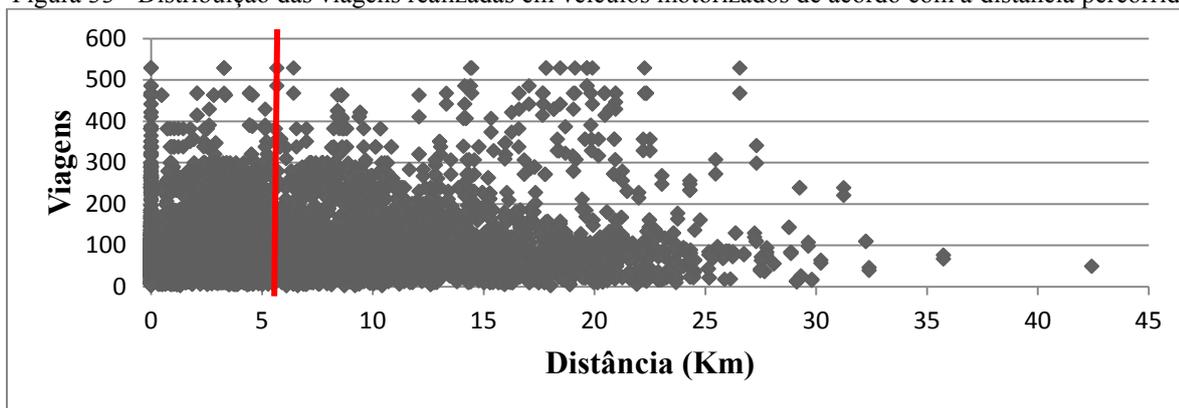
Para o cálculo da distância de migração, todas as viagens realizadas com bicicletas resultantes da expansão da pesquisa de origem e destino da Grande Florianópolis, foram alocadas na malha viária. Para o procedimento de alocação, conforme procedimentos metodológicos definidos, alguns critérios foram adotados: todas as vias tiveram o movimento permitido nos dois sentidos; vias com declividade superior a 10% foram eliminadas do procedimento; e, o método de alocação empregado foi o tudo-ou-nada.

Posteriormente à alocação, todas as viagens foram organizadas quanto à extensão do trajeto, da menor para a maior de forma a identificar a distância de migração (as 75% viagens com menor distância percorrida). Para a área de estudo, a Figura 32 apresenta a distribuição das viagens em relação à distância percorrida. A distância de migração, ou seja, a maior distância entre os 75% dos percursos mais curtos, para a região da Grande Florianópolis, é de 5,60 Km.



Após a determinação da distância máxima, as viagens realizadas em modos motorizados na área de estudo foram alocadas na malha viária. Desta vez, foram consideradas as restrições de sentido e as velocidades regulamentares das vias, obtidas por meio da base de dados do OSM. Este trabalho assumiu que os dados contidos na base estão corretos e não realizou verificações neste sentido. A Figura 33 apresenta a distribuição das viagens realizadas por veículos motorizados e suas respectivas distâncias. Todas as viagens à esquerda da linha vertical vermelha são consideradas como alvo para o planejamento cicloviário (percursos inferiores a 5,60 Km).

Figura 33 - Distribuição das viagens realizadas em veículos motorizados de acordo com a distância percorrida



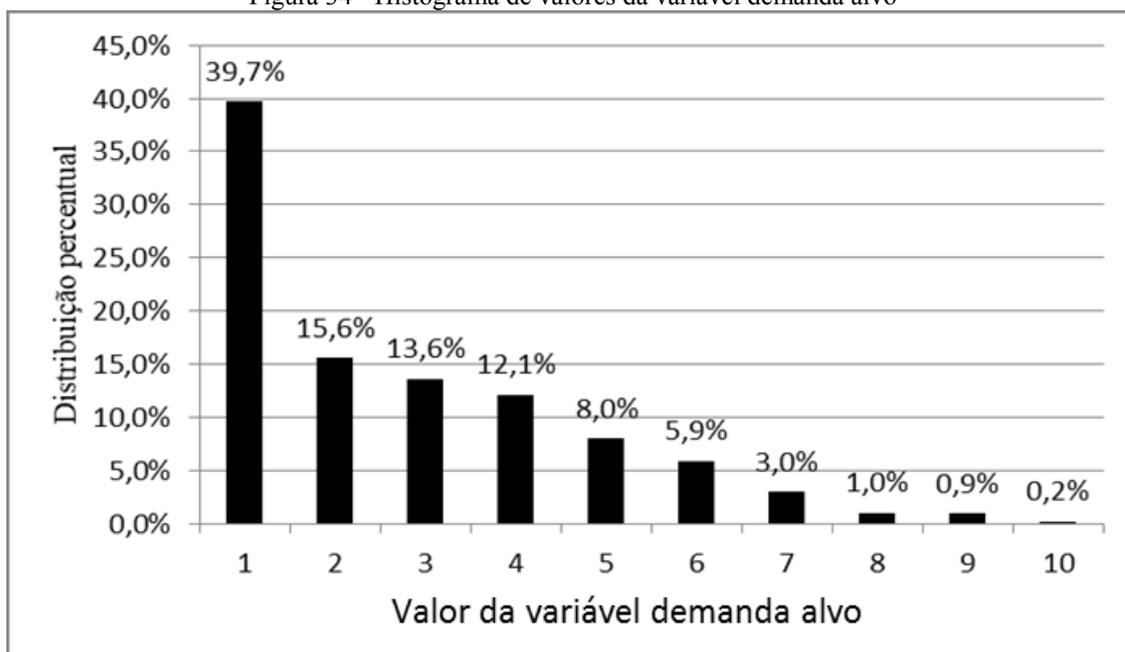
As viagens resultantes desta variável foram normalizadas, conforme critério de quebras naturais, em classes que variam de um a dez, conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 - Valores normalizados da variável demanda alvo

Demanda alvo (diária)	Classe normalizada
35242 a 80851	10
23560 a 35241	9
18646 a 23559	8
12549 a 18645	7
8316 a 12548	6
5778 a 8315	5
3868 a 5777	4
2102 a 3867	3
656 a 2102	2
0 a 655	1

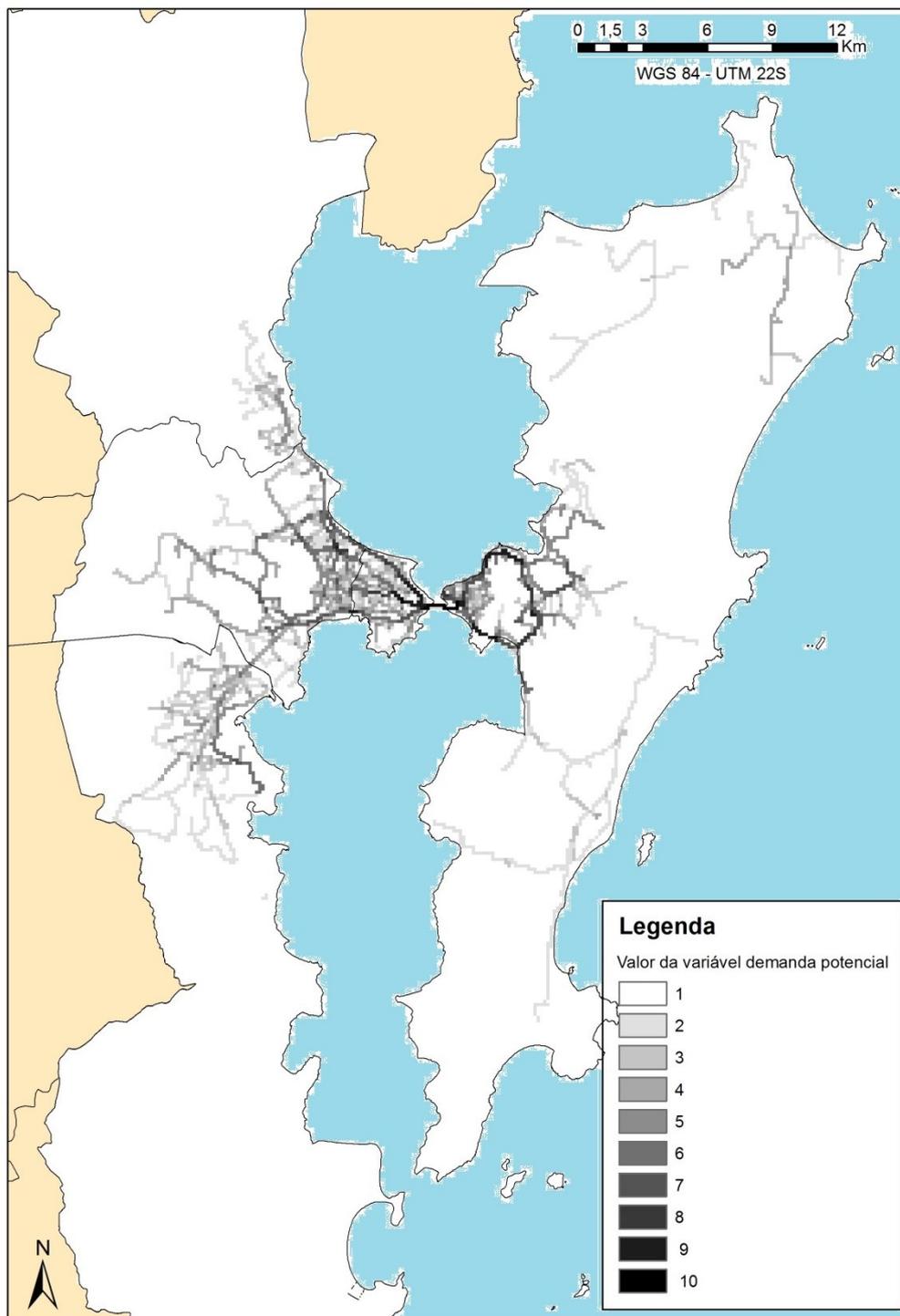
A distribuição de ocorrências da variável é apresentada na Figura 34.

Figura 34 - Histograma de valores da variável demanda alvo



A Figura 35 apresenta o resultado desta variável mapeado em toda Grande Florianópolis. Observa-se que os maiores valores de demanda potencial estão nas vias que circunscrevem o Maciço do Morro da Cruz (porção central de Florianópolis), bem como a ligação Ilha-Continente e suas ramificações em direção ao Município de São José.

Figura 35 - Variável demanda alvo



4.4 APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Com base na árvore de decisão do *AHP* e na metodologia de comparação de pesos estabelecidos por Saaty e Vargas (2012), os critérios foram comparados par a par a fim de construir a matriz de comparação apresentada na Tabela 17.

A comparação teve como premissa fundamental o provimento de infraestrutura nos locais em que existam ciclistas nas vias ou rotas em que existam deslocamentos de baixa distância realizados por veículos motorizados, o que evidencia o peso dos critérios atrelados à demanda.

Tabela 17 – Matriz Comparação

	Demanda Alocada	Demanda Alvo	Declividade	Escolha
Demanda Alocada	1	3	4	6
Demanda Alvo	1/3	1	2	4
Declividade	1/4	1/2	1	3
Escolha	1/6	1/4	1/3	1

Foi considerado, na comparação par a par, que a demanda alocada possui importância moderada com relação à demanda alvo, de forma a priorizar a demanda já existente.

A demanda alvo, na comparação, teve importância fraca com relação à declividade, devido ao fato de que entre os dois critérios que complementam a árvore de decisão do método *AHP*, declividade e escolha, o primeiro possui levemente maior influência na propensão ao uso da bicicleta.

A correlação entre a declividade e a escolha foi determinada a partir do estudo de Cardoso e Campos (2016). Dentre os trabalhos levantados pelos autores, a declividade aparece em sete deles, enquanto a escolha (aqui neste trabalho utilizada de forma a representar a continuidade das infraestruturas propostas) apareceu como critério em seis. Como a escolha (ou continuidade) não é diretamente citada no estudo foi considerado a variável que quantifica a existência, ou não, de ciclovias e ciclofaixas nas rotas.

Dessa forma, a importância atribuída à declividade foi considerada fraca em relação à escolha.

Posteriormente à elaboração da matriz de comparação, é realizado o cálculo da matriz normalizada e do auto vetor principal, apresentados na Tabela 18 e na Tabela 19, respectivamente.

Tabela 18 - Matriz Normalizada

	Demanda Alocada	Demanda Alvo	Declividade	Escolha
Demanda Alocada	0,5714	0,6316	0,5455	0,4286
Demanda Alvo	0,1905	0,2105	0,2727	0,2857
Declividade	0,1429	0,1053	0,1364	0,2143
Escolha	0,0952	0,0526	0,0455	0,0714

Tabela 19 - Auto Vetor Principal

Demanda Alocada – DA	0,5443
Demanda Alvo – DV	0,2399
Declividade – DE	0,1497
Escolha – ES	0,0662

Para verificação da consistência dos pesos, de acordo com o *AHP*, é necessário o cálculo do índice de aleatoriedade (CR). Para tal, é necessária a determinação do índice de consistência (CI) e do máximo autovalor (λ_{max}).

O máximo autovalor é resultado da soma entre o produto do autovetor principal e do total dos valores da coluna de cada variável da matriz de comparação; para este caso $\lambda_{max} = 4,1161$.

O índice de consistência é dado por $CI = \frac{4,1161 - 4}{3} = 0,0387$ e, por consequência o índice de aleatoriedade resulta em $RC = \frac{0,0387}{0,89} = 0,0434$.

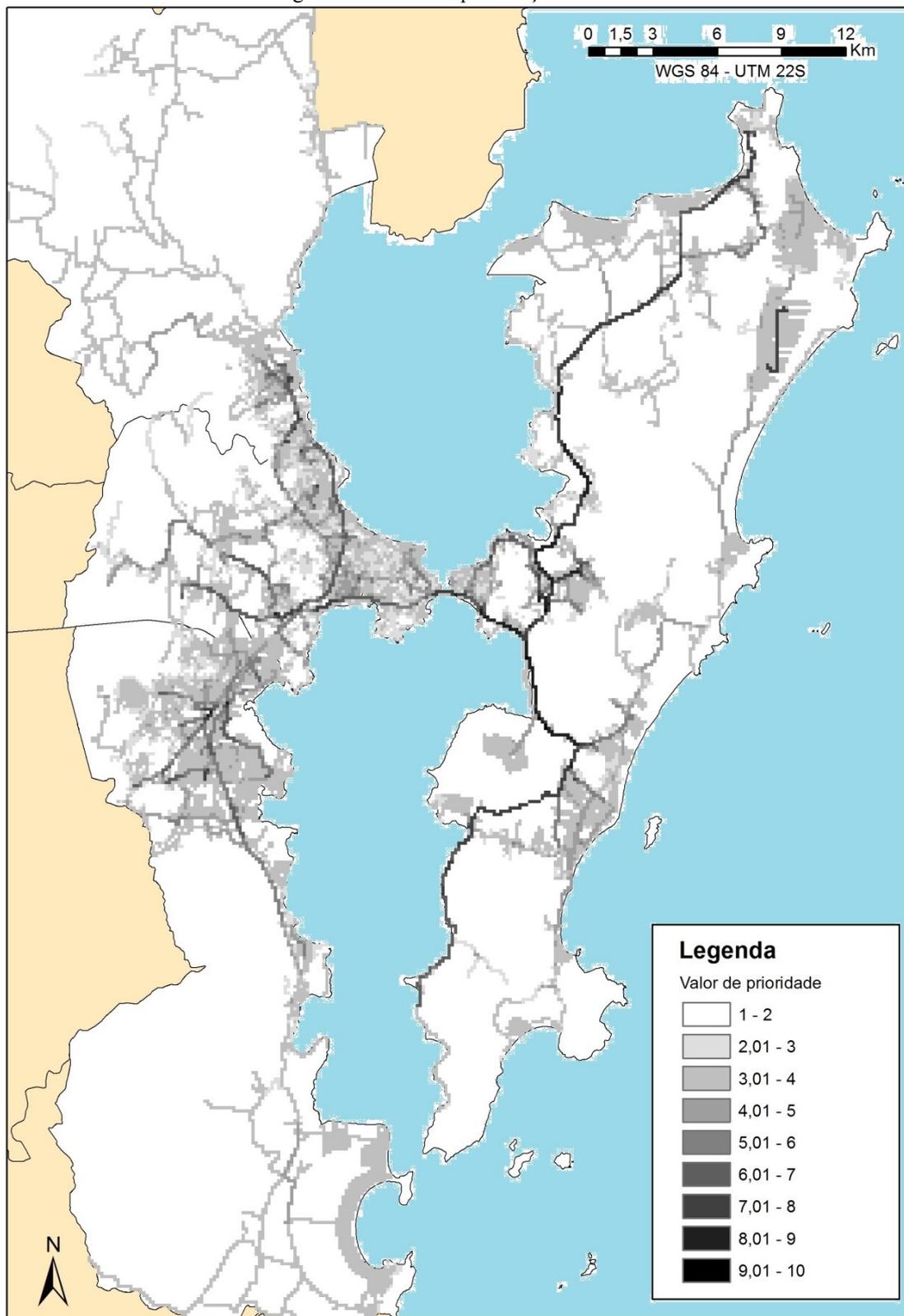
De acordo com Saaty e Vargas (2012), se aceita a consistência dos pesos estabelecidos quando $RC < 0,09$ para este caso, validando assim o modelo de aplicação do *AHP*.

A Equação 8 estabelece o valor de priorização do segmento, a ser aplicado para cada uma dos *pixels* resultantes do modelo. Este índice varia de um (menor prioridade) até dez (maior prioridade).

$$VP = (DA \times 0,5443) + (DV \times 0,2399) + (DE \times 0,1497) + (ES \times 0,0662) \quad (8)$$

O cálculo do valor de priorização para cada *pixel* da área de estudo é realizado por meio da calculadora raster, do QuantumGIS aplicando a Equação 8. O resultado é apresentado na Figura 36.

Figura 36 - Valor de priorização resultante



5 ANÁLISE

A análise dos resultados do modelo, aplicado à área de estudo está estruturado neste capítulo em três partes, a saber: características de localização, abrangência espacial e interseções prioritárias.

5.1 AVALIAÇÃO DOS SEGMENTOS DE MAIOR PRIORIDADE

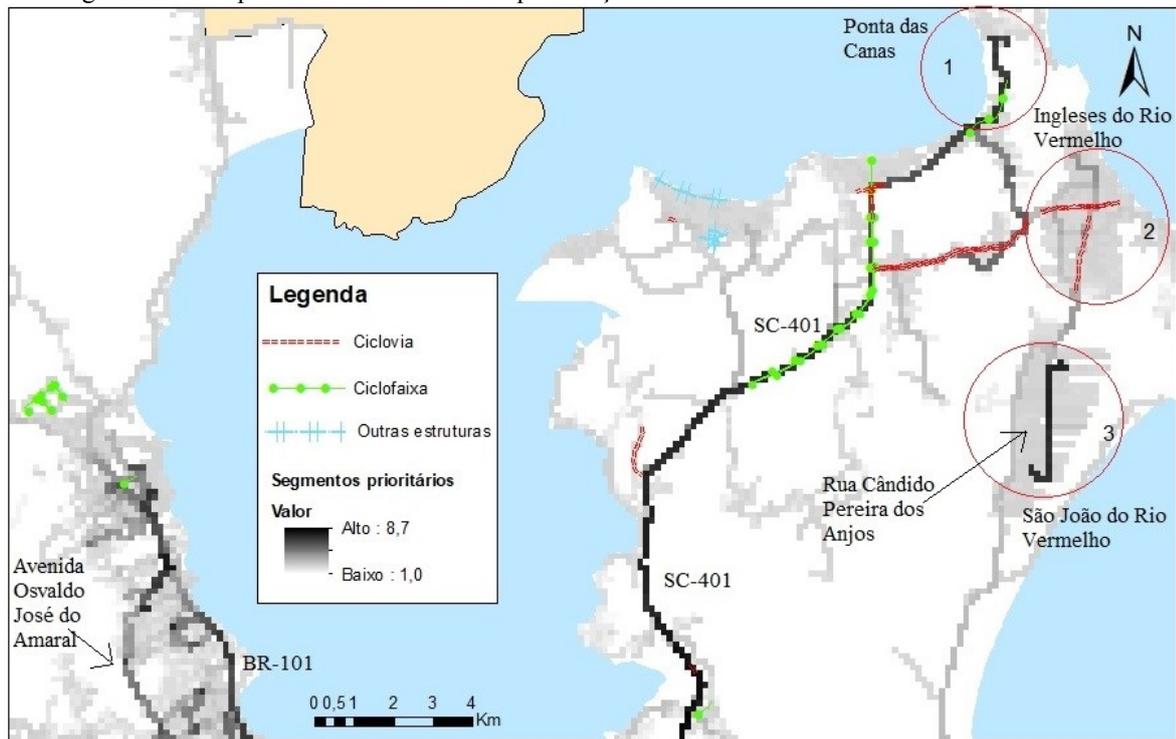
O valor de priorização obtido na seção quatro deste trabalho foi correlacionado com a oferta de infraestrutura para bicicleta, de forma a possibilitar análise da oferta atual. Para facilitar o processo, a análise da área de estudos segue a divisão apresentada em três partes: norte, central e sul.

5.1.1 Análise da área norte

Com base nos resultados do índice de priorização para a área norte, apresentado na Figura 37, é possível concluir que a infraestrutura hoje existente está implantada em locais com os mais elevados valores de priorização do segmento. No entanto, cabe ressaltar que a oferta atual apresenta descontinuidades, estando isolada da interligação regional indicada pelo modelo desenvolvido.

Na porção insular da área de estudo, é possível observar a elevada priorização do corredor que conecta a área norte com a central via eixo da Rodovia SC-401, porém não há oferta de infraestrutura em grande parte de sua extensão, que se daria pelo prolongamento da infraestrutura ciclável ao longo da rodovia.

Figura 37 - Comparativo entre o índice de priorização e a infraestrutura cicloviária existente - norte



Dois outros pontos também se destacam quando da análise comparativa dos valores do índice de priorização de segmentos e a infraestrutura atualmente ofertada. O primeiro é a interligação do bairro Ponta das Canas via Cachoeira do Bom Jesus e via Ingleses (circulo 1). O segundo ponto é a interligação do bairro Ingleses do Rio Vermelho (circulo 2) com o bairro São João do Rio Vermelho (circulo 3), que possui alto valor de priorização em seu eixo interno por meio da rua Cândido Pereira dos Anjos, apresentada na Figura 38.

Figura 38 - Rua Cândido Pereira dos Anjos



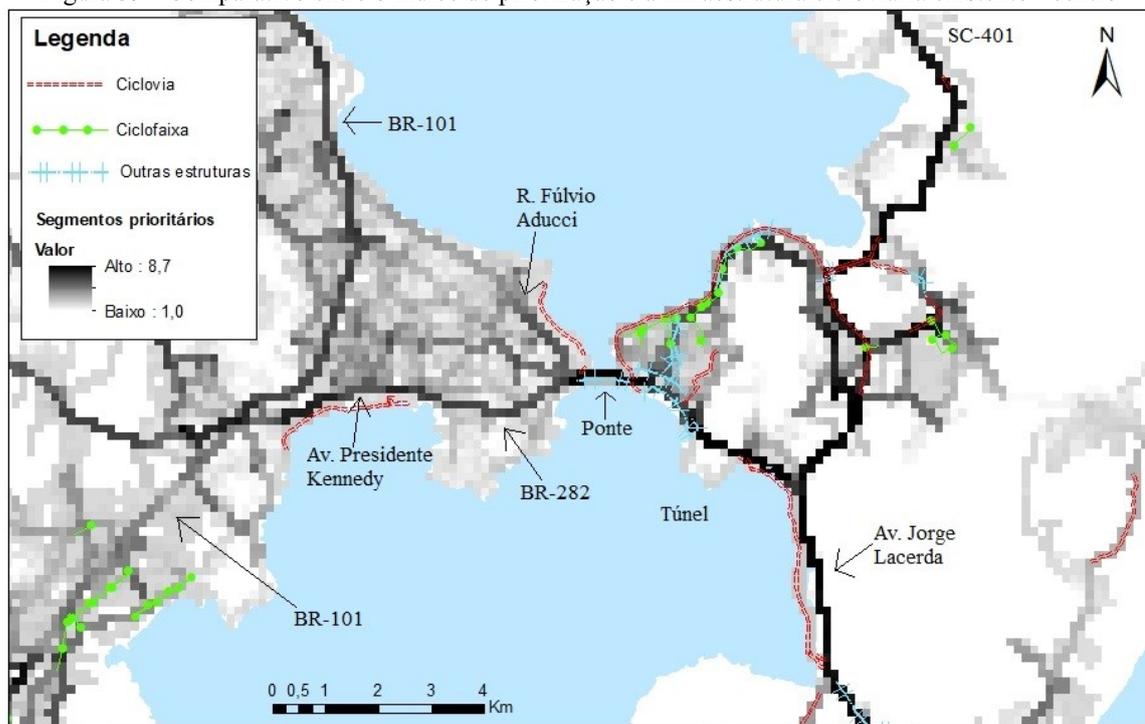
Fonte: Google Earth

A parte continental da área norte da Grande Florianópolis possui carência de infraestrutura ciclável atualmente. As vias que mais se destacam no índice de priorização de segmentos são a rodovia BR-101 e a Avenida Osvaldo José do Amaral.

5.1.2 Análise da área central

A Figura 39 apresenta o valor do índice de priorização de segmentos aplicado à área central. Em comparação com a infraestrutura existente, é possível observar que a oferta, em geral, está alocada nos segmentos com maior valor de priorização. No entanto, assim como na área norte, esta oferta carece de continuidade de forma a promover a interligação da rede ciclável por toda a área urbanizada.

Figura 39 - Comparativo entre o índice de priorização e a infraestrutura cicloviária existente - centro



Importante destacar as ciclovias existentes na avenida Acioni Souza Filho (Beira-Mar de São José), Figura 40, na avenida Claudio A. Barbosa (Beira-Mar Continental), Figura 41, e na rodovia Governador Aderbal Ramos da Silva, Figura 42. Tais infraestruturas cicláveis foram implantadas juntamente com a criação de vias de alta velocidade e estruturantes do sistema viário da área da Grande Florianópolis, o que lhes provê a característica de isolamento urbano, passando por poucos ou inexistentes pontos de origem e destino de viagens.

Figura 40 - Ciclovia Avenida Acioni Souza Filho (Beira-Mar de São José)



Fonte: Google Earth

Figura 41 - Ciclovia da Avenida Claudio A. Barbosa (Beira-Mar Continental)



Fonte: Google Earth

Figura 42 - Posicionamento da ciclovia na Avenida Gov. Aderbal Ramos da Silva



Fonte: Google Earth

Analisando os resultados do índice de priorização, se identifica que tais segmentos viários não são os mais indicados para a implantação de infraestrutura ciclável. No entanto, se destacam com elevados valores de priorização segmentos adjacentes a estes, em paralelo. Eles são na sequência: Avenida Presidente Kennedy, Figura 43, Rua Fúlvio Aducci, Figura 44, e Avenida Jorge Lacerda, Figura 45.

Figura 43 - Avenida Presidente Kennedy



Fonte: Google Earth

Figura 44 - Rua Fúlvio Aducci



Fonte: Google Earth

Figura 45 - Avenida Jorge Lacerda



Fonte: Google Earth

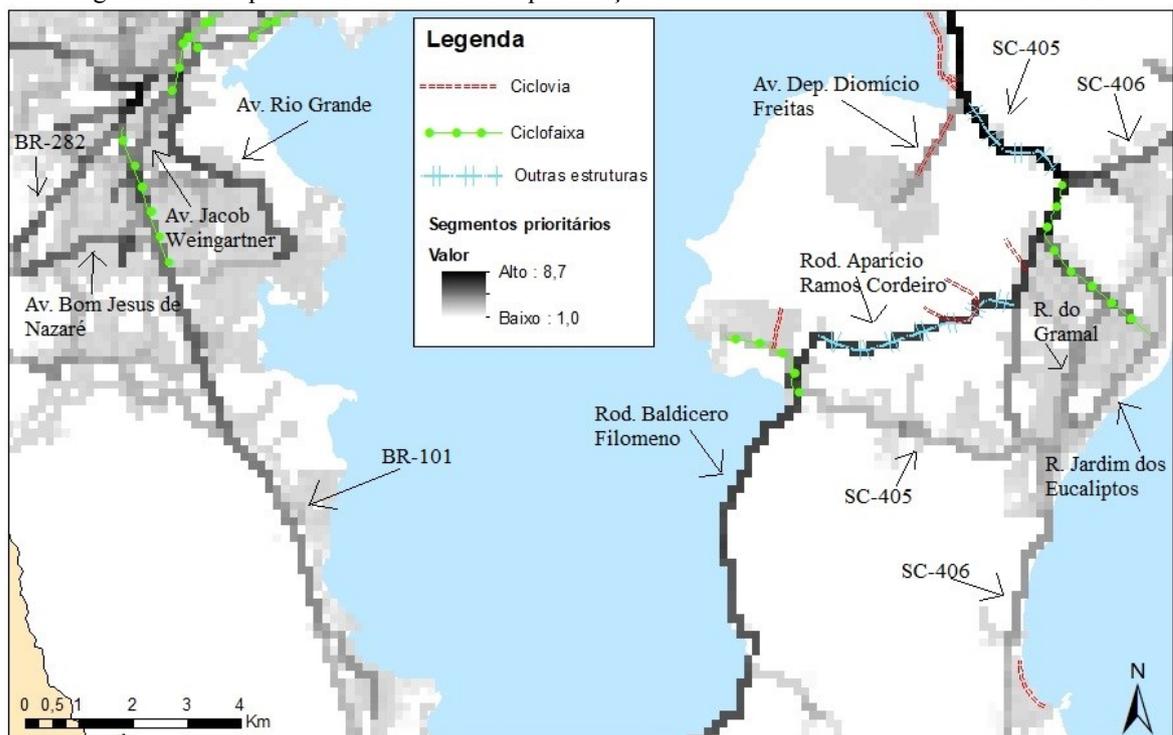
Nestes três segmentos, o espaço urbano é consolidado e o uso do solo diversificado, com elevada ocorrência de lojas e residências e, conseqüentemente, maior número de polos geradores de viagens.

Outro fator relevante identificado diz respeito à alta prioridade dos segmentos que compõem o Túnel Antonieta de Barros, interligando os bairros centrais e o sul da ilha. Atualmente, não há oferta de infraestrutura ciclável neste local, nem alternativa para o deslocamento.

5.1.3 Análise da área sul

Na Figura 46 são apresentados os resultados do índice de priorização aplicados à área sul. Nela é possível observar que, assim como as demais partes de área de estudo, a infraestrutura ciclável existente está alocada em segmentos de maior prioridade. No entanto a oferta carece de conectividade e maior oferta.

Figura 46 - Comparativo entre o índice de priorização e a infraestrutura cicloviária existente - sul



Importante ressaltar, na parte insular da área em questão, o alto grau de priorização das rodovias SC-405, desde a conexão com a Rodovia Governador Aderbal Ramos da Silva, passando pelo bairro Campeche e da Rodovia Aparício Ramos Cordeiro e Baldicero Filomeno, que conectam a região ao extremo sul da ilha de Santa Catarina chegando ao bairro Caieira do Ribeirão da Ilha.

Outros segmentos que se destacam na porção continental são a Rua do Gramal e Rua Jardim dos Eucaliptos, que interligam os bairros Morro das Pedras e Campeche, bem como a Rodovia SC-406 tanto no trecho de interligação com o bairro Rio Tavares quanto com o bairro Armação.

Na parte continental é possível observar uma confluência de segmentos prioritários no centro do município de Palhoça. A Avenida Rio Grande, juntamente com a Avenida Jacob

Weingartner e Bom Jesus de Nazaré são importantes na estruturação de uma rede ciclável que se estrutura por duas importantes vias da região: as Rodovias BR-101 e BR-282.

5.2 O INCREMENTO DE INFRAESTRUTURA CICLÁVEL E A POPULAÇÃO ATENDIDA

Dada a distribuição populacional pela área de estudo e a estruturação de níveis de prioridade para a implantação da estrutura ciclável nos segmentos viários, é possível estabelecer a linha de corte prioritária para seleção dos segmentos visando à eficiência no atendimento à população.

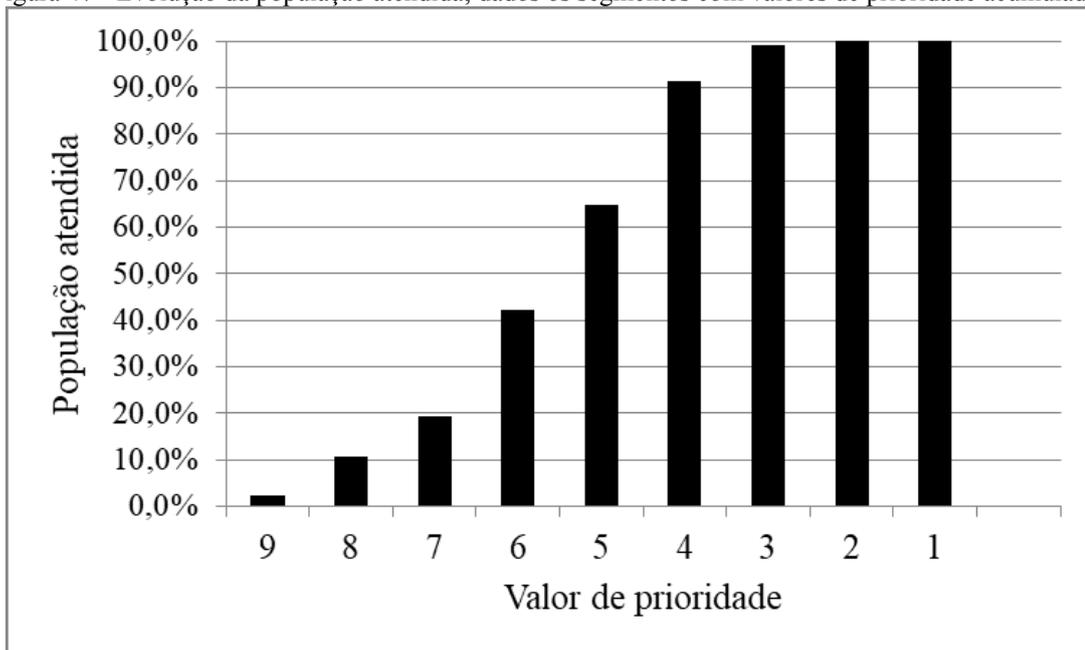
Tendo em vista este objetivo, a Figura 47 apresenta a estimativa de população atendida com a implantação acumulada de infraestrutura nos segmentos prioritários, partindo dos segmentos com prioridades mais altas (nove) para os mais baixos (um).

A população atendida para as faixas de prioridade foi considerada como sendo toda aquela dos setores censitários que passam a ser ligados por estrutura cicloviária, conforme a implantação nos segmentos prioritários.

Tal critério foi adotado, pois os setores censitários são unidades territoriais contínuas, situados em um único quadro urbano ou rural, com dimensões e número de domicílios que permitam o levantamento cadastral daquelas residências por uma pessoa⁹. Dessa forma, e considerando as características prioritariamente urbanas da área de estudo, considerou-se que as distâncias internas são suficientemente pequenas para garantir o acesso ao sistema ciclável.

⁹ <https://censo2010.ibge.gov.br/materiais/guia-do-censo/operacao-censitaria.html>

Figura 47 - Evolução da população atendida, dados os segmentos com valores de prioridade acumulados

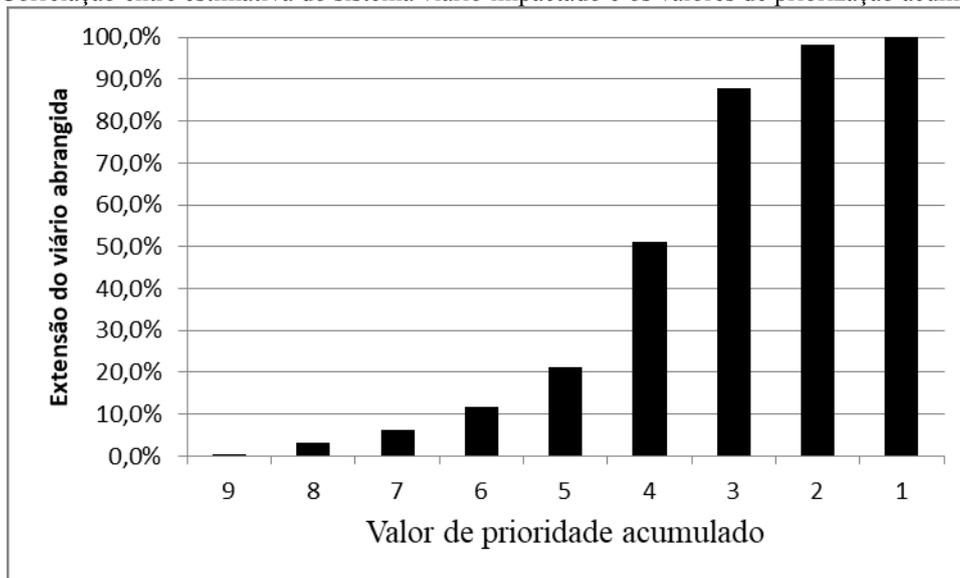


É possível observar que, com o a implantação de estruturas cicláveis em todos os segmentos prioritários com valor de prioridade até seis, 42,1% da população da área de estudo seria atendida. Já quando a implantação se dá em todos os segmentos indicados com valores até cinco, a cobertura chega a 64,7% da população, evoluindo para 91,5% com a inclusão dos segmentos com valor até quatro. Os segmentos com resultado de priorização inferior a quatro praticamente estabilizam a população atendida entre 99% e 100%.

A Figura 48 apresenta a correlação da estimativa da parcela do sistema viário impactado pela implantação das estruturas cicláveis (com ou sem infraestrutura ciclável) conforme o avanço acumulado da implantação pelas notas de priorização dos segmentos.

Cabe ressaltar que o percentual para cada nota de priorização considera todas as vias que se inserem na área das células que resultaram nas notas de priorização dos segmentos. Ou seja, por exemplo, avenidas com duas pistas de rolamento, porém com estrutura ciclável implantada apenas de um lado, terá a implantação cicloviária contabilizada em apenas metade de sua extensão, porém ela poderá atender as duas pistas de circulação.

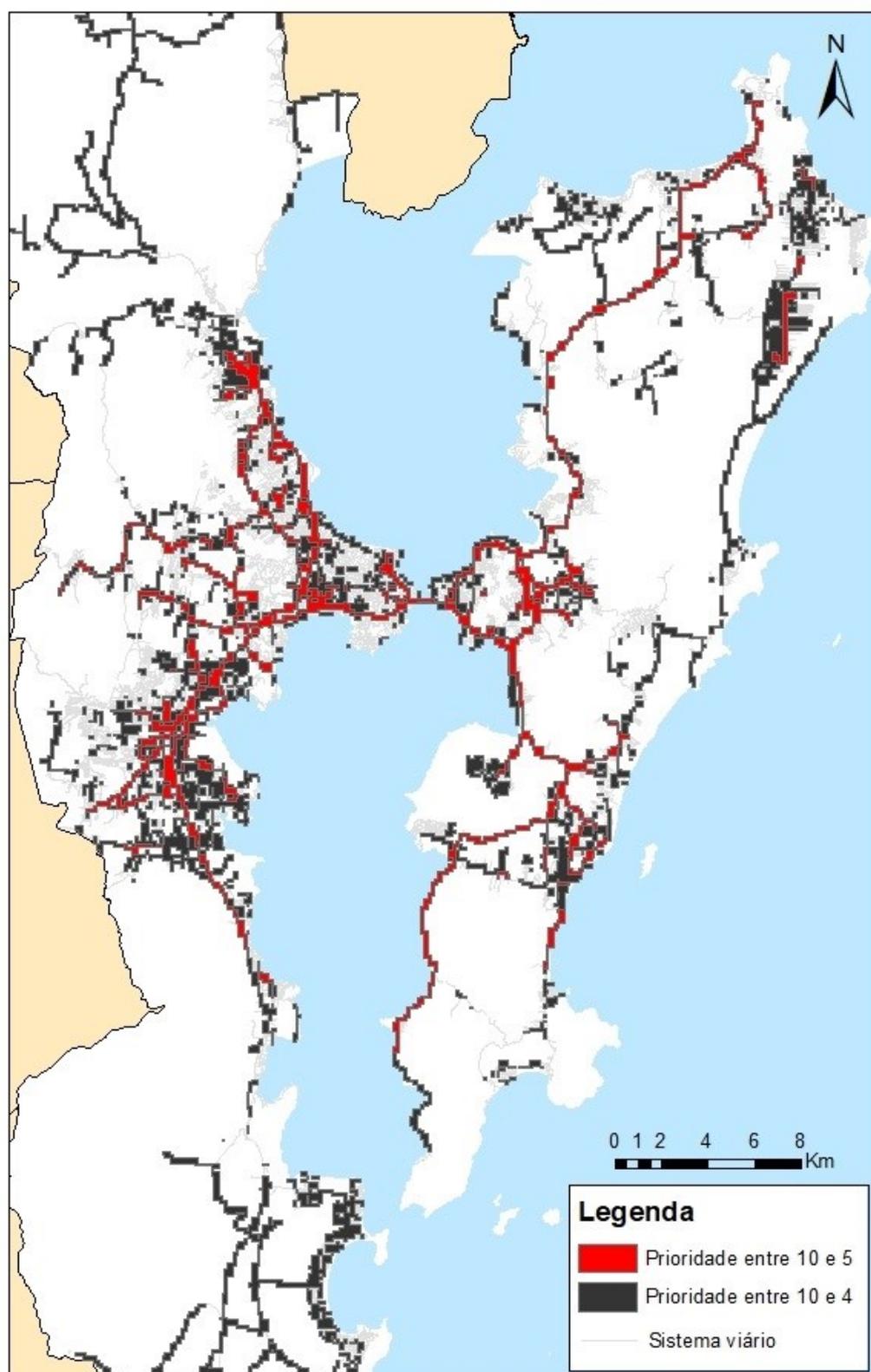
Figura 48 - Correlação entre estimativa do sistema viário impactado e os valores de priorização acumulados



A Figura 49 apresenta o comparativo entre os segmentos prioritários acumulados até o valor cinco e até o valor de priorização quatro. Dela se observa que para a elevação da cobertura em 26,8%, ou seja, dos 64,7% de cobertura para os segmentos acumulados até o valor cinco, para 91,5% com os segmentos acumulados até quatro, é necessário um considerável incremento na oferta de estrutura ciclável, levando a um adensamento destas nos bairros por meio de vias locais.

Para a cobertura de 64,7% da população (segmentos acumulados até o valor de priorização cinco), por outro lado, se observa, em geral, a conformação da oferta em eixos, sendo a área de intervenção conseqüentemente menor.

Figura 49 - Comparativo entre segmentos prioritários agrupados até os valores 5 e 4



6 CONCLUSÕES

Quanto ao desenvolvimento do modelo em si, os dados coletados referentes à infraestrutura viária da área de estudos, bem como dados de declividade longitudinal, demanda e escolha, foram de obtenção relativamente simples para a área de estudos, tendo sua oferta amplamente disponibilizada por meio de diversas fontes.

Durante o desenvolvimento do modelo, principalmente na fase de estruturação dos dados, critérios tiveram que ser adotados de forma a conformar e padronizar estes dados, sendo esta a mais demorada parte do processo.

Com base na análise dos resultados da aplicação na área de estudo, é possível observar que a atual oferta de infraestrutura ciclável está alocada, em geral, no interior de células com elevado valor de prioridade. Tal fato aponta para que o processo de planejamento e implantação de estruturas cicláveis realizado na área de estudo gera resultados próximos aos estabelecidos pelo modelo desenvolvido neste trabalho.

É importante ressaltar, contudo, que a análise comparativa dos segmentos com elevado valor de prioridade e a estrutura atualmente existente aponta para a descontinuidade da rede ciclável, bem como para sua extensão insuficiente. Também é possível destacar que a localização espacial da infraestrutura ciclável, em alguns casos, se dá em vias segregadas e com baixa diversidade de uso do solo, em detrimento de vias paralelas, com uso diverso do solo e velocidades inferiores.

Como exemplo deste tema, podem-se citar as ciclovias implantadas na Avenida Beira-Mar de São José, Beira-Mar Continental de Florianópolis e na Rodovia Governador Aderbal Ramos da Silva, em detrimento da Avenida Presidente Kennedy, da Rua Fúlvio Aducci e da Avenida Jorge Lacerda. Estas últimas são vias coletoras, com uso diversificado do solo e velocidades inferiores àquelas, que são vias arteriais, segregadas do tecido urbano, com baixo uso do solo e elevada velocidade de circulação de veículos motorizados.

Tal fenômeno pode ocorrer devido ao processo de implantação de infraestruturas cicláveis não possuir, em geral, autonomia e recursos próprios para investimento na área de estudo, ocorrendo, por vezes, na dependência da instalação de novas vias ou projetos viários vocacionados para o transporte motorizado, que são em geral vias arteriais de ligação rápida. As ciclovias e ciclofaixas nestas condições têm sua atratividade diminuída, pois, elas se tornam inseguras ao serem segregadas do tecido urbano, bem como se distanciam dos polos geradores das viagens, que geralmente se localizam em locais com uso do solo residencial e comercial.

Há uma notável exceção a esta conclusão, que é a elevada prioridade da BR-282 em direção ao acesso a Ilha de Santa Catarina, em detrimento da Avenida Governador Ivo Silveira. Acredita-se que isso se deu devido ao fato da BR-282 expressar o menor caminho entre os deslocamentos que por ali passam, bem como por possuir declividade média menor que a da Avenida Governador Ivo Silveira.

Apesar de não conter variáveis diretamente ligadas ao uso do solo no modelo, observou-se que a utilização de dados de origem e destino na área de estudo possa ter traduzido este comportamento e permitido tais análises.

Pelo modelo desenvolvido, as células identificam segmentos com valores de prioridade que vão de 1,00 (o mais baixo) até 10,00 (a maior prioridade), sendo estes agrupados por faixas de um a nove, na área de estudo. Quando realizada avaliação de segmentos a se implantar, partindo dos valores mais elevados, se observou, na área de estudo, que os segmentos com valor de prioridade até cinco apresentavam estruturas lineares formando corredores de deslocamento. Valores de 4,99 até 1,00 (as faixas de menor prioridade) indicam um maior adensamento da rede ciclável, apontando para a implantação de infraestrutura em vias locais e próximas umas às outras.

Cabe ressaltar, ainda, que o modelo de priorização apresentado neste trabalho utilizou variáveis e bases de dados sem custos de aquisição, considerando a existência de pesquisas de origem e de destino na área de estudo, o que torna o procedimento de apoio ao planejamento cicloviário com base no modelo apresentado financeiramente viável em cenários de restrição orçamentária.

De forma a orientar o planejador e os tomadores de decisão, a Tabela 20 apresenta um conjunto de ações recomendadas para cada indicador possível de ocorrer com os resultados do modelo apresentado. As ações recomendadas foram desenvolvidas com base nos estudos de Larsen, Petterson e El-Geneidy (2012) e adaptadas para o modelo apresentado neste trabalho. Em síntese, para os corredores com elevada prioridade nos resultados do modelo e que não possuem estrutura ciclável, recomenda-se a implantação de nova infraestrutura; já para os corredores que possuem alguma infraestrutura ciclável, a recomendação é que sejam implantadas melhorias neste, ou promover seu aumento de capacidade, seja pelo seu alargamento ou duplicação em nova infraestrutura paralela.

Tabela 20 - Ações recomendadas por tipo de ocorrência

INDICADOR		CONTEXTO	AÇÃO RECOMENDADA
1	Corredor de elevada prioridade	Sem estrutura ciclável	Construir nova infraestrutura
2	Corredor de elevada prioridade	Com estrutura ciclável	Promover melhorias na infraestrutura existente e/ou construir infraestrutura paralela
3	Células isoladas com alto valor de prioridade	Qualquer	Melhorar condições para o ciclismo; nova infraestrutura não é necessariamente requerida
4	Interseção entre corredores com alto valor de prioridade	Qualquer	Garantir adequada sinalização no cruzamento

Fonte: Adaptado de Larsen, Petterson e El-Geneidy (2012)

Quando a ocorrência de elevada prioridade se dá em áreas desconectadas de corredores, é recomendada a melhoria das condições para o ciclismo no local, seja por sinalização, redução da velocidade de circulação dos veículos motorizados ou outra medida que não necessariamente a implantação de infraestrutura exclusiva.

Ressalte-se, ainda, a importância da garantia da adequada sinalização e orientação, tanto para os ciclistas quanto para os motoristas de modos motorizados e pedestres quanto à circulação nas interseções de corredores com alto valor de prioridade. Tal questão se torna importante, pois está diretamente ligada a segurança viária e conectividade entre os eixos de circulação de ciclistas, dado o elevado volume e diversidade de movimentos que tentem a ocorrer nestes locais.

7 RECOMENDAÇÕES

A seleção das variáveis integrantes do modelo de priorização, apesar de terem sua escolha embasada e justificada por meio de referencial técnico da área, tem caráter empírico. Sugere-se, para futuros trabalhos, a análise de sensibilidade das variáveis utilizadas no modelo em um próximo de estudo, a fim de verificar sua importância para os resultados obtidos. Também se sugere a aplicação da técnica Delphi, ou outra semelhante, para construção conjunta dos pesos do método AHP aplicados neste trabalho.

Para futuros trabalhos, é interessante comparar os resultados teóricos do índice de priorização de segmentos com contagens de ciclistas em campo, de forma a verificar a correlação dos valores do índice de priorização de segmentos com as contagens observadas.

Sugere-se, também, o estudo aprofundado do comportamento do ciclista que utiliza a Rodovia Admar Gonzaga (SC-404), no trecho entre o bairro Itacorubi e Lagoa da Conceição. Este trecho apesar de ser classificado neste estudo como possuidor de características não cicláveis (por possuir elevadas inclinações em se tratando de percurso em morro), é indicado atualmente como integrante de uma rota ciclística e podem-se observar ciclistas no trecho. O comportamento de usuários considerados atípicos por este estudo pode ser útil para melhor compreensão do meio de transporte em questão.

Outra questão importante a se atentar, é a relação das variáveis utilizadas neste trabalho, em especial a demanda alocada, com os polos geradores de viagem da área de estudo. Recomenda-se estudo mais aprofundado dessa interação a fim de se identificar parâmetros de melhoria do modelo.

Considerando os avanços tecnológicos e as experiências pontuais observadas na área, sugere-se o estudo da viabilidade da inclusão de dados de origem e destino obtido por meio de fontes de telefonia móvel, base de dados de aplicativos e ferramentas de *big data*.

Por fim, recomenda-se o estudo do impacto nas variáveis e pesos estabelecidos do modelo, gerados pela introdução de bicicletas com assistência elétrica na repartição modal dos deslocamentos, tendo por objetivo estruturar as ferramentas de planejamento para um possível futuro de médio prazo. Sugere-se avaliar o peso atribuído à variável declividade e a adoção de modelos de alocação da demanda que utilizem atributos de restrição de capacidade.

REFERÊNCIAS

- ALEAMNHA, Ministério dos Transportes. **The Dutch Bicycle Master Plan, description and evaluation in an historical context**. Berlim, 1999.
- ARGENTA, V. M., KNAK, G. Z., PEÑA, C. C. **Rede cicloviária da UFSC – Campus Trindade. Considerações técnicas e diretrizes estratégicas**. UFSC. Novembro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS – ANTP. **Sistema de Informação da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Públicos – Simob/ANTP. Relatório geral 2016**. 2018.
- AULTMAN-HALL, L., HALL, F., BAETZ, B. **Analysis of bicycle commuter routes using geographic information systems: implications for bicycle planning**. Transportation Research Record 1578:102-110. 1997.
- AZEVEDO, J. A., COSTA, C., M.E.O., MADERA, S., J.J.E.R., e MARTINS, V., E.Q. **An Algorithm for the Ranking of Shortest Paths**. European Journal of Operational Research, 69, 97-106. 1993.
- BAFNA, S. **Space Syntax: A Brief Introduction to Its Logic and Analytical Techniques**. Environment & Behavior, v. 35, n. 1, p. 17–29, 2003.
- BANNISTER, C. **The travel to work patterns in England and Wales for pedestrian and cyclists – their policy implications**. Occasional paper, University of Manchester, Department of Planning and Landscape. 1988.
- BERMAN, M. **Tudo que é sólido desmancha no ar: a aventura da modernidade**. São Paulo: Companhia das Letras, 1986.
- BEN-AKIVA, M.E., BERGMAN, M.J., DALY, A.J., e RAMASWAMY, R. **Modelling Inter-Urban Route Choice Behaviour**. Em: Proceedings of the Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory, VNU Science Press, Utrecht, The Netherlands, pp. 299–330. 1984.
- BEKHOR, S., BEN-AKIVA, M. E., and RAMMING, M. S. **Evaluation of choice set generation algorithms for route choice models**. Annals of Operations Research, 144(1), 235-247. 2006.
- BOEING, Geoff. **OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing and visualizing complex street networks**. Computers, Environment and Urban Systems 65. Elsevier. 126-139. 2017.
- BRASIL. CTB – Código de Trânsito Brasileiro. **Lei N° 9.503**, 23 de setembro de 1997.
- _____. **Lei n° 12.587**, de 03 de janeiro de 2012. Política Nacional de Mobilidade Urbana.
- BRUTON, M. J. **Introdução ao planejamento dos transportes**. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.

CAMPOS, V. B. G. **Planejamento de transportes – Conceitos e modelos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

CAMPOS FILHO, Cândido Malta. **Cidades brasileiras: seu controle ou caos: o que os cidadãos devem fazer para a humanização das cidades do Brasil**. São Paulo: Studio Nobel, 1999.

CARDOSO, P. B., CAMPOS, V. B. G. **Metodologia para planejamento de um sistema cicloviário**. Revista Transportes 24(4): 39-48. 2016.

CERVERO, R., SARMIENTO, O. L., JACOBY, E. GOMEZ, L. F., NEIMAN, A., HALL, F., BAETZ, B. **Influences of built environments on walking and cycling: lessons from Bogota**. International Journal of Sustainable Transportation 3:203-226. Londres, 2009.

COSTA, J.F.S., RODRIGUES, M., FELIPE, A. **Utilização do Método de Análise Hierárquica (AHP) Para Escolha de Interface Telefônica**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro RJ, 2008.

CROW - Centre for Research and Contract Standardisation in Civil and Traffic Engineering. **CROW10 - Sign up for the Bike. Design Manual for a Cycle Friendly Infrastructure**. Países Baixos, 1993.

DE LA BARRA, T., PEREZ, B. e ANEZ J. **Multidimensional Path Search and Assignment**. Em: 21º PTRC Summer Annual Meeting, Manchester, Inglaterra. 1993.

DEKOSTER, J; SCHOLLAERT, U; **Cycling: the way ahead for towns and cities**. Luxemburgo: Office for Official Publications of the European Communities, 1999.

DILL, J., CARR, T. **Bicycle commuting and facilities in major U.S. cities: if you build them, commuters will use them**. Transportation Research Record 1828: 116-123. 2003.

DINAMARCA, Ministério dos Transportes, Departamento de Estradas. **Collection of Cycle Concepts**. Copenhagen, 2000.

DUTHIE, J., UNNIKRISSHANN, A. **Optimization Framework for Bicycle Network Design**. Journal of Transportation Engineering, 2014.

FHWA – Federal Highway Administration. **Reasons Why Bicycling and Walking Are and Are Not Being Used More Extensively as Travel Modes**. US Department of Transportation. EUA, 1992.

FIARDEIRO, P. M. P. C. S. **A Mobilidade Sustentável Aplicada aos Equipamentos Escolares: O Caso do Pólo II da Universidade de Coimbra**. Dissertação. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2008.

FUJIWARA, M. Y., **Mobilidade urbana por meio da integração entre transporte coletivo e cicloviário**. Dissertação. PPGTG/UFSC. Florianópolis, 2017.

ENSSLIN, L., ONTIBELLER, G., NORONHA, S. **Apoio à decisão, metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritérios de alternativas**. Editora Insular. Florianópolis, 2001.

FORRESTER, J. **The bicycle transportation controversy**. *Transportation Quarterly* 55(2): 7-17. 2001.

FREITAS, I. M. D. P. **Metodologia de Avaliação Multicriterial Para Seleção de Alternativas Tecnológicas e de Tratamento Preferencial na Circulação do Tráfego Para o Transporte de Média Capacidade**. Tese. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 1999.

GARRARD, J., ROSE, G., LO, S. K. **Promoting transportation cycling for women: the role of bicycle infrastructure**. *Preventive medicine* 46(1): 55-59. 2008.

GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. **Manual de Planejamento Cicloviário**. Ministério dos Transportes. 3 ed. Brasília, DF, 2001.

GHANAYIM, M., BEKHOR, S. **Modelling bicycle route choice using data from a GPS-assisted household survey**. *EJTIR* ISSN: 1567-7141. p. 158-177. 2018.

GOMES, L.F.A.M. **Da informação à tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritério**. SUCESU-RIO. Rio de Janeiro, 1998.

GUERREIRO, T. C. M., PROVIDELO, J. K., PITOMBO, C. S., RAMOS, R. A. R., ANTONIO, N. R. S. **Data-mining, GIS and multicriteria analysis in a comprehensive method for bicycle network planning and design**. *Internation Journal os Sustainable Transportation*. 2017.

GONDIM, M. F. **Cadernos de Desenho: ciclovias**. Rio de Janeiro. Editora da COPPE/UFSC, 2010.

HANDY, S. L., XING, Y. **Factors correlated with bicycle commuting: a study in six small U.S. cities**. *Internation Journal of Sustainable Transportation* 5: 91-110. 2011.

HANSON, J., HILLIER, B. **The Architecture of Community: Some New Proposals on the Social Consequences of Architectural and Planning Decisions**. *Architecture and Behaviour/Architecture and Behaviour*, v. 3, n. 3, p. 251-273, 1987.

HARRISON, J.: **World Transport Policy & Practice**, Volume 7, (4 Ed.), 2001.

HARVEY, D. **A liberdade da cidade**. Em: MARICATO, E. et al. *Cidades rebeldes: Passe livre e as manifestações que tomaram as ruas do Brasil*. São Paulo: Boitempo: Carta Maior, 2013.

HERZ, K. **The use of the bicycle**. *Transportation Planning and Technology* 9. 1985.

HILLIER, B., PENN, A., HANSON, J., XU, J. **Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement**. *Environment & Planning B*, v. 20, 1993.

HOPKINSON, P., WARDMAN, M. **Evaluating the demand for new cycle facilities**. *Transport Policy* 3(4):221-249. 1996.

HUTCHINSON, B. G. **Principles of urban transporte systems planning**. EUA: Scripta Book Company. 1974.

IZZI, A. L. M., **Análise de equipamentos de apoio aos modos de transporte coletivos e não motorizados no *campus* sede da Universidade Federal de Santa Catarina**.

Dissertação. PGAU/UFSC. Florianópolis, 2013.

KRIZEK, K. **Estimating the economic benefits of bicycling and bicycle facilities: na interpretive review and proposed methods**. Essays on Transportation Economics. V. Inglaterra: Leipzig, Alemanha. 2007.

LARSEN, J. EL-GENEIDY, A. **A travel behavior analysis of urban cycling facilities in Montréal, Canada**. Transportation Research Part D: Transport and Environment 16(2): 172-177. 2011.

LARSEN, J., PATTERSON, Z., EL-GENEIDY, A. **Build It. But Where? The Use of Geographic Information Systems in Identifying Locations for New Cycling Infrastructure**. International Journal of Sustainable Transportation. 7:4, 299-317. Taylor & Francis: Londres, Inglaterra, 2012.

LOGIT Engenharia Consultiva, Strategy&, Machado Meyer Sendacz, Opice Advogados. **Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis – PLAMUS**. Florianópolis, 2015.

LOHN, Reinaldo Lindolfo. **Limites da utopia: cidade e modernização no Brasil desenvolvimentista (Florianópolis, década de 1950)**. Revista Brasileira de História. São Paulo, v. 27, n. 53, jan./jun. 2007.

LUSK, A. C., FURTH, P. G., MORENCY, P., MIRANDA-MORENO, L. F., WILLET, W. C., DENNERLEIN, J. **Risk of injury for bicycling on cycle tracks versus in the street**. Injury prevention. 2011.

NELSON, A., ALLEN, D. **If you build them, commuters will use them: the association between bicycle facilities and bicycle commuting**. Transportation Research Record (1578): 79-83. 1997.

NEWBY, L. **On the right tracks: cycle planning best practice and its potencial in Leicester**. Research Report No 3, Best Practice Research Unit, Leicester Environment City Trust, Leicester. 1993.

NOLAND, R. B., DEKA, D. WALIA, R. **A statewide analysis of bicycling in New Jersey**. International Journal of Sustainable Transportation 5:251-269. 2011.

NOLAND, R. B., KUNREUTHER, H. **Short-run and long-run policies for increasing bicycle transportation for daily commuter trips**. Transport Policy, 1995.

ORTUZAR, J., IACOBELLI, S., VALEZE, C. **Estimating demand for a cycle-way network**. Transportation Research Part A 34(5): 353-373. 2000.

ORTUZAR, J., WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. 4 ed: Wiley, 2011.

PAIVA, M. **Implantação de estacionamentos de automóveis e bicicletas integrados ao transporte público**. Dissertação – Instituto Militar de Engenharia, Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes. Rio de Janeiro, 2008.

PAIVA, M., BARROS, A. P. B. G., MEDEIROS, V. A. S., SILVA, P. C. M. **Uso da configuração espacial na análise de localização e hierarquização ciclovária – o caso de Samambaia (DF)**. Revista dos Transportes Públicos. ANTP, 2012.

PENN, A., HILLIER, B., BANISTER, D., XU, J. **Configurational modelling of urban movement networks**. Environment & Planning B, v. 25, p. 59-84, 1998.

PEPONIS, J. et al. **The spatial core of urban culture**. Ekistics, v. 56, n. 334/335, p. 43–55, 1989.

PEREIRA, C. M. C. **Contribuição para modelagem da divisão modal multinomial com base em estimativa de valor do tempo em transportes associada a um sistema de informação geográfica**. UFRJ. [S.l.]. 2007.

PROVIDELO, J. K., SANCHES, S. P. **Percepções de indivíduos acerca do uso da bicicleta como modo de transporte**. Revista Transportes. 18(2):53-61. 2010.

PUCHER, J. **Bicycle Boom in Germany: A Revival Engineered by Public Policy**. Em: 'Transportation Quarterly 51 e Pucher J. (2001), "The role of public policies in promoting the safety, convenience & popularity of bicycling", in 'World Transport Policy & Practice, Volume 7, (4), 1997.

PUCHER, J., BUEHLER, R. **Why Canadians cycle more than Americans: a comparative analysis of bicycling trends and policies**. Transport Policy, 2005.

PUCHER, J., KOMANOFF, C., SCHIMEK, P. **Bicycling renaissance in North America? Recent trends and alternative policies to promote bicycling**. Transportation Research Part A 33(7/8): 625-654. 1999.

RAQUEL, R. A contribuição da bicicleta para a democratização das cidades. Em: **A cidade em equilíbrio: contribuições teóricas ao 3º Fórum Mundial da Bicicleta**. Curitiba, 2014.

RIETVELD, P., DANIEL, V., **Determinants of bicycle use: do municipal policies matter?** Transportation Research Part A 38, 353-373. 2004.

RYLEY, T. **Estimating cycling demand for the journey to work or study in West Edinburg, Scotland**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Board. Nº 1982. 2006.

SAATY, T. L., VARGAS, L. G. **Decision Making With the Analytic Network Process**. Ed. Springer. EUA, 2006.

SAATY, T. L., VARGAS, L. G. **Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process**. 2. Ed. *International Series in Operations Research and Management Science* 175. Springer US, 2012.

SÃO PAULO, Companhia de Engenharia de Tráfego (CET). **Manual de Sinalização Urbana - Espaço Cicloviário**. Critérios de Projeto. Volume 13, 2014.

SAYED, K. A., HILLIER, B., PENN, A., TURNER, A. **Space Syntax Methodology**. Londres, 2013.

SENNA, L. A. dos S. **Economia e planejamento dos transportes**. Elsevier, 2014.

SOUZA, C. A. G., NÓBREGA, R. A. A. **“Re”-pensando o planejamento de ciclovias: um estudo de CSS (Context Sensitive Solution) em Belo Horizonte**. XXX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte. ANPT. Rio de Janeiro. 2016.

SMILE - **Sustainable Mobility Initiatives for Local Environment**. Towards Sustainable Urban Transport Policies: recommendations for Local Authorities. Bruxelas. 2004.

SNYDER, Ryan. **The role of bicycles in ecological cities**. Em: WALTER, B., ARKIN, L., CRENSHAW, R., WARREN, W. Sustainable Cities: Concepts and Strategies for Eco-City Development. 1992.

SILVA, Claudio Oliveira, da. **Cidades concebidas para o automóvel: mobilidade urbana nos Planos Diretores posteriores ao Estatuto da Cidade**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2009.

TANIGUCHI, E., RIBEIRO, P., RODRIGUES, D. **Redes cicláveis: classificação e avaliação da inclinação do terreno aferida por métodos “low-cost” e “no-cost”**. 6º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Lisboa, Portugal. 2014.

VALLEJO, M. H. **Sobre la movilidad en la ciudad: propuestas para recuperar um derecho ciudadano**. Barcelona: Barcelona Reverté, 2009.

VASCONCELLOS, E. A. **Mobilidade urbana e cidadania**. Rio de Janeiro: Senac, 2012.

WALDMAN, J. A. **Cycling in towns: a quantitative investigation**. LTR – Working Paper 3, Department of Transport, Londres. 1977.

WITTINK, R. I-ce, **Creating Sustainable Transport**, ed. Rodney Tolley, Woodhead Publishing Ltd. UK, 4 Ed. 2003.

WRIGHT, R. T. **Environmental Science toward a sustainable future**. Upper River, USA, 2005.

APÊNDICE A – Script para obtenção da declividade de vias

```
api_key = "Inserir_API_key_Google"
import osmnx as ox, networkx as nx, numpy as np
ox.config(log_console=True, use_cache=True)

place_names = ['Florianopolis, Santa Catarina, Brasil',
               'Sao Jose, Santa Catarina, Brasil',
               'Palhoca, Santa Catarina, Brasil',
               'Biguacu, Santa Catarina, Brasil,']
G = ox.graph_from_place(place_names, network_type='drive', 'walk' )

G = ox.add_node_elevations(G, api_key)
G = ox.add_edge_grades(G)

edge_grades = [data['grade_abs'] for u, v, k, data in ox.get_undirected(G).edges(keys=True,
data=True)]

G_proj = ox.project_graph(G)

ox.save_graph_shapefile(G_proj, encoding="utf-8")
```