

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Vanessa Schweitzer

**PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES USANDO *SOFTWARES* LIVRES: UMA
APLICAÇÃO DO MODELO QUATRO ETAPAS EM FLORIANÓPOLIS**

Florianópolis

2017

Vanessa Schweitzer

**PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES USANDO *SOFTWARES* LIVRES: UMA
APLICAÇÃO DO MODELO QUATRO ETAPAS EM FLORIANÓPOLIS**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Hering Coelho

Florianópolis

2017

Vanessa Schweitzer

**PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES USANDO SOFTWARES LIVRES: UMA
APLICAÇÃO DO MODELO QUATRO ETAPAS EM FLORIANÓPOLIS**

Este Trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheira Civil, e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil.

Florianópolis, 22 de Novembro de 2017.

Banca Examinadora

A handwritten signature in blue ink, reading "Alexandre H. Coelho", written over a horizontal line.

Prof. Dr. Alexandre Hering Coelho

Prof. Dr. Amir Mattar Valente

Dr. Edésio Elias Lopes

AGRADECIMENTOS

À minha família, meus pais Enio e Goretti e meu irmão Guilherme, pelo carinho e apoio prestados durante a graduação.

Ao meu esposo, Éder Vasco Pinheiro, com todo meu amor, pelo incentivo, amparo e aconchego diários.

Aos meus familiares e amigos, sou grata pelos gestos de felicidade perante as minhas conquistas.

À Universidade Federal de Santa Catarina, por proporcionar os meios para a realização desta graduação.

Aos professores desta universidade, pelo aprendizado oportunizado ao longo dos últimos anos.

Ao meu orientador, Alexandre Hering Coelho, por sua dedicação à docência, pela orientação oferecida durante a elaboração deste trabalho e por me incentivar a seguir na área de Transportes.

Ao professor Amir Mattar Valente e ao engenheiro Edésio Elias Lopes, por aceitarem o convite de compor a banca de aprovação deste trabalho.

Aos meus colegas de turma e de estágio, por todas as experiências compartilhadas.

RESUMO

O planejamento de transportes é uma área de conhecimento que tem como principal objetivo servir de instrumento para o plano de desenvolvimento de uma região, promovendo a integração dos meios de transporte, melhorias na infraestrutura e, conseqüentemente, melhoria na qualidade dos deslocamentos de pessoas e de cargas. A métrica para esta qualidade é a relação entre a oferta e a demanda por viagens, e a melhoria se dá quando a oferta é ajustada conforme o que será demandado no horizonte de planejamento. Os técnicos e especialistas desta área de conhecimento usam com frequência o modelo quatro etapas, ou modelo sequencial, para estimar a demanda por transportes e compará-la com a capacidade da infraestrutura. Neste trabalho é abordada uma aplicação do modelo quatro etapas de transportes para o município de Florianópolis utilizando apenas *softwares* livres e dados disponíveis publicamente. Na aplicação do modelo, é dado destaque ao uso do *plugin* AequilibraE do Quantum GIS na etapa de alocação do fluxo. No final é apresentada uma análise do resultado obtido.

Palavras-chave: Planejamento de transportes; Modelo quatro etapas; *Softwares* livres;

ABSTRACT

Transport planning is a knowledge area whose main objective is to provide itself as an instrument for a region development plan, promoting the integration of means of transport, providing infrastructure improvements, and therefore, improve the quality of people and cargo flows. The metric for this quality feature is good is the balance between supply and demand for travel, and the improvement happens when the supply is suitable to the demand along the planning horizon. Practitioners and theorists in this field of knowledge often use the Four-Step model, also called sequential model, in order to estimate transport demand which should be compared to the infrastructure capacity. In this work, the subject is an application of the Transport Four-Step Model for the Florianópolis town by only using free softwares and publicly available data. In the application of the model emphasis is given to the use of the AEquilibraE plugin from QuantumGis to the flow allocation step. At the end an analysis of the obtained result is presented.

Keywords: Transport planning; Four-step models; Free softwares

LISTA DE FIGURAS

2.1	Ciclo dos transportes	22
2.2	Fluxograma das etapas do processo de planejamento de transportes	26
2.3	Estrutura do modelo quatro etapas de transporte	30
3.1	Representação da área de estudo	45
3.2	Representação da divisão censitária de Florianópolis	46
3.3	Mapa da divisão censitária de Florianópolis classificada por tipo rural e urbano	47
3.4	Representação da densidade populacional de Florianópolis	48
3.5	Representação da malha viária de Florianópolis	49
3.6	Gráfico representando a divisão modal para a região da Grande Florianópolis	52
4.1	Método de realização do trabalho	53
4.2	Método de realização da modelagem da infraestrutura	54
4.3	Representação da preparação da rede no AequilibraE	56
4.4	Representação da conexão dos centroides no AequilibraE	57
4.5	Representação da criação da rede no AequilibraE	58
4.6	Representação da criação da rede no AequilibraE	58
4.7	Representação de como abrir o arquivo da rede gerado pelo AequilibraE . .	59
4.8	Método de realização da modelagem da demanda	60
4.9	Representação da criação do grafo no AequilibraE	63
4.10	Representação do carregamento da matriz O-D para execução do tudo ou nada no AequilibraE	64
4.11	Representação do carregamento do grafo para execução do tudo ou nada no AequilibraE	64
4.12	Representação da escolha do atributo de custo mínimo para execução do tudo ou nada no AequilibraE	65
4.13	Representação de como salvar os resultados de alocação tudo ou nada no AequilibraE	65
4.14	Representação do resultado de alocação tudo ou nada no AequilibraE	66
4.15	Representação da união da camada links com o resultado da alocação	66
5.1	Mapa da rede rodoviária de Florianópolis modelada no QGIS	68
5.2	Gráfico do número de viagens por hora realizadas entre os bairros de Florianópolis	70
6.1	Representação da produção de viagens no ano-base na área de estudo	76
6.2	Representação da atração de viagens no ano-base na área de estudo	78
6.3	Representação da produção estimada futura de viagens na área de estudo . .	81
6.4	Representação da atração estimada futura de viagens na área de estudo . .	83

6.5	Representação da alocação de automóveis na hora-de-pico da manhã para o ano atual	86
6.6	Representação da alocação de automóveis na hora-de-pico da manhã para o ano de projeto	87
6.7	Representação da alocação de automóveis na hora-de-pico da manhã para o ano de projeto	89
6.8	Representação da alocação de automóveis na hora-de-pico da manhã para o ano de projeto	89
6.9	Representação da alocação de automóveis na hora-de-pico da manhã para o ano de projeto	90

LISTA DE TABELAS

2.1	Taxas de geração de viagens para diferentes categorias de solo (*)	33
2.2	Forma geral de matriz de viagens	36
3.1	Tabela resumo da delimitação da área de estudo	51
3.2	Tabela do número de zonas de tráfego por bairro de Florianópolis	51
5.1	Tabela de pesos para determinação do número de empregos por bairro . . .	72
6.1	Lista das 30 zonas com maior produção de viagens no ano-base na área de estudo	77
6.2	Lista das 30 zonas com maior atração de viagens no ano-base na área de estudo	79
6.3	Lista das 30 zonas com maior produção estimada futura de viagens na área de estudo	82
6.4	Lista das 30 zonas com maior atração estimada futura de viagens na área de estudo	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONTEXTO	15
1.2	JUSTIFICATIVA	16
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo geral	17
1.3.2	Objetivos específicos	17
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES	19
2.1.1	Conceito	19
2.1.2	Previsão de demanda	21
2.1.3	Processo de planejamento de transportes	24
2.1.4	Planejamento de transportes no mundo	28
2.1.5	Planejamento de transportes no Brasil	29
2.2	MODELO QUATRO ETAPAS DE TRANSPORTES	29
2.2.1	Geração de viagens	30
2.2.2	Distribuição de viagens	35
2.2.3	Divisão modal	39
2.2.4	Alocação de fluxo	40
2.3	OS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E O PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES	41
2.3.1	Modelagem da infraestrutura	42
2.3.2	O programa Quantum GIS e seu <i>plugin</i> AequilibraE para modelagem de transporte	43
3	ÁREA DE ESTUDO	45
4	MÉTODO	53
4.1	MODELAGEM DA INFRAESTRUTURA	53
4.1.1	Obtenção e preparação dos dados	54
4.1.2	Criação da rede	56
4.2	MODELAGEM DA DEMANDA	59
4.2.1	Matriz origem-destino atual	60
4.2.2	Dados socioeconômicos atuais	61
4.2.3	Projeção dos dados socioeconômicos	61
4.2.4	Geração de viagens	61
4.2.5	Distribuição de viagens	61

4.2.6	Divisão modal	62
4.2.7	Alocação do tráfego futuro no cenário atual	62
5	APLICAÇÃO DO MÉTODO	67
5.1	MODELAGEM DA INFRAESTRUTURA	67
5.2	MODELAGEM DA DEMANDA	69
5.2.1	Matriz origem-destino atual	69
5.2.2	Dados socioeconômicos atuais	71
5.2.3	Projeções dos dados socioeconômicos	72
5.2.4	Geração de viagens	73
5.2.5	Distribuição de viagens	73
5.2.6	Divisão modal	74
5.2.7	Alocação do tráfego futuro no cenário atual	74
6	RESULTADOS	75
6.1	RESULTADOS DO TRABALHO	75
6.2	ANÁLISE DO RESULTADO DA ETAPA DE ALOCAÇÃO	88
7	CONCLUSÕES	91
7.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
7.2	LIMITAÇÕES	91
7.3	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	92
	Referências Bibliográficas	93

1 INTRODUÇÃO

O planejamento de transportes tem como principal objetivo servir de instrumento para o plano de desenvolvimento de uma região, promovendo a integração dos meios de transporte, melhorias na infraestrutura e, conseqüentemente, melhorias na qualidade dos deslocamentos de pessoas e de cargas. Do ponto de vista do transporte urbano, a maioria da população realiza deslocamentos diários da residência para as suas atividades por motivo de trabalho, estudo, lazer, saúde, entre outros. Há ainda, pessoas que trabalham realizando deslocamentos de bens, produtos ou serviços. No contexto de transporte regional, os deslocamentos estão associados, principalmente, à cadeia de produção compreendendo o transporte da matéria-prima aos centros produtores e destes para os centros consumidores. É de fundamental importância oferecer tanto em escala urbana quanto regional uma infraestrutura de transporte com equilíbrio entre a oferta e a demanda por deslocamentos. Neste trabalho é desenvolvida uma aplicação de um modelo de previsão de demanda para o município de Florianópolis.

1.1 CONTEXTO

No planejamento de transportes são definidas medidas ou estratégias para ajustar a oferta de transporte de acordo com a demanda existente ou futura. Estas medidas ou estratégias podem ser desde uma intervenção simples em um sistema até a implantação de novos sistemas. Quanto mais simples forem as medidas ou estratégias adotadas, menor será o tempo de execução dessas e o montante de recursos a serem empregados. Para definir a medida mais adequada, que atenda às necessidades da população da região de estudo, é primordial que a demanda por transportes seja estimada. Conforme Campos (2013), a estimativa da demanda é realizada através do uso de métodos de projeção ou modelos de planejamento de transportes. Por meio desses, objetiva-se modelar o comportamento da demanda e, posteriormente, analisar e definir as alternativas que melhor se adaptem à realidade da região.

O resultado do planejamento de transportes depende da disponibilidade de informações sobre a área de estudo e do correto processamento delas afim de que os tratamentos adequados possam ser desenvolvidos com a precisão adequada para serem alcançados os objetivos. Atualmente, devido ao avanço da tecnologia da informação, algumas instituições públicas brasileiras disponibilizam em seus portais eletrônicos dados socioeconômicos relativos a estudos estatísticos realizados em todo território nacional. Um exemplo disso é o censo demográfico disponível no portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O censo é um estudo estatístico referente a uma população o qual coleta diversas informações a respeito dessa. Nem sempre encontram-se disponíveis dados em nível de divisão espacial em que se escolheu trabalhar, mas certamente com algumas considerações as informações podem ser utilizadas. Outro

aspecto que tem avanço com a tecnologia da informação são as ferramentas utilizadas para o processamento dos dados. Hoje, encontram-se disponíveis *softwares* livres como o *LibreOffice*, o *Python* e o Quantum GIS (QGIS). *Software* livre, conforme a definição criada pela *Free Software Foundation*, é o *software* que pode ser usado, copiado, estudado, modificado e redistribuído sem restrição. Normalmente, um *software* livre é distribuído acompanhado por uma licença de *software* livre e com a disponibilização do seu código-fonte (CAMPOS, 2016).

Sistemas de informações podem representar graficamente um sistema de transporte. *Softwares* de Sistema de Informações Geográficas (SIG) são muito utilizados na área de transportes. Em uma plataforma SIG como o QGIS é possível com o auxílio de alguns *plugins* modelar uma rede de transportes, visualizar a situação presente da demanda aplicada à rede, analisar projeções futuras da demanda e visualizar espacialmente as alternativas de projeto, por exemplo os impactos da construção ou ampliação de uma via.

Dentro do processo de planejamento de transportes, o modelo quatro etapas, também denominado modelo sequencial, é utilizado quando se deseja elaborar um plano de médio e longo prazo. Este modelo se embasa nas relações existentes entre o transporte e as características socioeconômicas da região (CAMPOS, 2013). Sendo o modelo quatro etapas o mais utilizado para previsão de demanda, o presente trabalho apresenta um estudo detalhado do modelo e uma aplicação no município de Florianópolis usando *softwares* livres. Durante o desenvolver do trabalho, é avaliada a disponibilidade de dados, as possibilidades de processamento desses e a aplicabilidade do *plugin* *AequilibraE* do QGIS para alocação de tráfego.

1.2 JUSTIFICATIVA

O planejamento de transportes é de grande importância para o desenvolvimento de uma região. No mercado encontram-se disponíveis alguns *softwares* comerciais que são amplamente utilizados por práticos e pesquisadores da área para modelarem as redes de transporte e a demanda de viagens e analisarem os fluxos de tráfego. Estes *softwares* disponibilizam uma ampla gama de funcionalidades específicas para auxiliar nas várias tarefas relacionadas com o desenvolvimento de modelos para planejamento de transportes. Este trabalho se justifica pela verificação da possibilidade de aplicar o modelo quatro etapas de transporte usando como suporte ferramentas de *softwares* livres.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Realizar uma aplicação do modelo quatro etapas para planejamento de transportes em Florianópolis usando *softwares* livres e dados disponíveis publicamente.

1.3.2 Objetivos específicos

- Levantar dados socioeconômicos e dados de demanda da área de estudo;
- Tratar os dados para que se adequem aos dados de entrada das etapas do modelo quatro etapas;
- Aplicar as etapas de geração de viagens, distribuição de viagens e divisão modal para um cenário futuro (horizonte de projeto);
- Levantar dados da infraestrutura rodoviária da área de estudo;
- Tratar topologicamente os dados da infraestrutura;
- Aplicar a alocação do tráfego futuro na infraestrutura atual;
- Analisar o fluxo alocado.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos. O Capítulo 1 apresenta contexto, justificativa, objetivos geral e específicos deste trabalho. No Capítulo 2 está exposta a revisão bibliográfica referente ao planejamento de transportes e ao modelo quatro etapas de transportes. O Capítulo 3 aborda uma descrição da área de estudo. Em sequência, no Capítulo 4 é apresentado o método usado para a realização deste trabalho. E, no Capítulo 5 se desenvolve os processos do método. No Capítulo 6 são apresentados e discutidos os resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho. Por fim, as considerações finais, Capítulo 7, e as referências bibliográficas utilizadas no trabalho são apresentadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo refere-se a uma revisão bibliográfica sobre planejamento de transportes, abordando os conceitos necessários ao entendimento do trabalho desenvolvido. Esta revisão bibliográfica é composta por uma explanação a respeito de planejamento de transportes seguida de uma exposição do modelo quatro etapas de transportes com ênfase nos métodos utilizados em cada etapa. É apresentada também uma revisão sobre Sistema de Informação Geográfica (SIG).

2.1 PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

Os planos de transportes de uma região são desenvolvidos com o objetivo de melhorar o deslocamento de pessoas e de cargas. Estes planos têm a finalidade de avaliar alternativas de investimentos no sistema e na malha viária, de maneira a atender a demanda futura. Segundo Campos (2013), no contexto urbano, para a execução dos planos, devem ser observadas as principais atividades desenvolvidas na região e conhecidos os principais eixos de deslocamentos diários de pessoas e veículos, sobretudo no que se refere às viagens casa-trabalho-casa. Além disso, é importante observar como se comporta o crescimento, o espalhamento ou o adensamento urbano dentro da região. Em âmbito regional, os deslocamentos estão associados, principalmente, à cadeia de produção compreendendo o transporte da matéria-prima aos centros produtores e destes para os centros consumidores. A estimativa da demanda por transporte é feita com base nas características socioeconômicas de cada sub-área dentro da área de estudo. Atualmente, sustentabilidade é uma visão de grande importância dentro de um plano. Busca-se uma oferta de transporte que seja social, econômica e ambientalmente viável.

2.1.1 Conceito

Planejamento de transportes é uma área de estudo que visa satisfazer às necessidades de transporte da população de uma região de acordo com o seu desenvolvimento e com as suas características estruturais (CAMPOS, 2013). Para um correto planejamento faz-se necessário uma estimativa da demanda por transporte, através do uso de métodos de projeção ou modelos de planejamento de transportes. Posteriormente, elabora-se e avalia-se um conjunto de alternativas de investimento que vão desde melhorias nos sistemas existentes até implantação de novos sistemas de forma a satisfazer as necessidades por transporte. Isso porque, por exemplo, para uma região com pouca demanda pode não ser viável a implantação de um sistema de alto custo e capacidade.

Segundo (BRUTON, 1979), o fato do planejamento de transportes ser visto como uma tentativa de corrigir males visíveis e previsíveis, tais como congestionamento, demora e acidentes, é atrativo para os responsáveis pelas decisões políticas e para aqueles membros da população não diretamente afetados pelas propostas ativadas. Contudo,

planejadores de transportes e uso do solo compreenderam o potencial dos transportes em dar forma ao ambiente urbano pela influência da acessibilidade de locais dentro da área urbana. Eles têm usado as características de uso do solo como um dado de entrada na preparação das estimativas futuras de viagens. É importante que os problemas funcionais de tráfego, que são principalmente problemas de curto ou de médio prazo, sejam tratados como parte do processo de planejamento dos transportes. Porém, é essencial que a influência de longo prazo dos transportes e da acessibilidade em formar e mudar a estrutura das áreas urbanas sejam consideradas como parte do processo de planejamento dos transportes e uso do solo.

Conforme consta em Pereira (2005, *apud* (CAMPOS, 2013)) o planejamento de transportes pode ser caracterizado de acordo com o nível da decisão a ser tomada e o horizonte temporal em estratégico, tático e operacional. No nível de planejamento estratégico, o planejador considera as ações em longo prazo (durante os próximos 20 a 25 anos). Neste nível está inserido o planejamento de transportes de uma região. Já, no nível de planejamento tático, o planejador considera ações de médio a longo prazo. Neste nível realizam-se tarefas oriundas das diretrizes do planejamento estratégico ou de decisões baseadas em problemas operacionais. E, por fim, no nível de planejamento operacional, o planejador considera ações de curto prazo como, por exemplo, programação de semáforos ou frequência de um serviço de ônibus.

De acordo com Campos (2013), ao longo da história, o transporte tem sido um elemento indutor do crescimento de uma região. Na medida em que determinadas áreas foram se expandindo, ocorreu uma concentração de diferentes tipos e ocupação do solo, gerando a necessidade de deslocamento da população e, por consequência, a necessidade de implantação de novos sistemas. Campos (2013) cita diferentes categorias de uso do solo, como:

- Ambiente construído: residencial, comercial (lojas e escritórios), institucional (escolas, serviço público), construções abandonadas e transportes (vias, calçadas, estacionamentos, etc.).
- Espaço aberto: áreas de estacionamento, agricultura, floresta e reservas, áreas verdes virgens e área litorânea.

Neste contexto, Campos (2013) também cita critérios de avaliação de padrões de uso do solo. São esses:

- Densidade: número de pessoas, empregos ou unidades residenciais em uma área.
- Clusters: se algumas categorias estão agrupadas (centros comerciais, condomínios, vilas, etc.).
- Mix: quando diferentes tipos de uso do solo estão agrupados em uma mesma área.

- Conectividade: número de conexões em uma via ou caminho.
- Área construída: superfície total construída nas edificações.
- Espaços verdes: áreas ocupadas por parques, jardins, fazendas, etc.
- Acessibilidade: facilidade para alcançar destinos e atividades.
- Acessibilidade não motorizada: a qualidade e condições de caminhada e de uso de bicicletas.

Conforme Black; Paez; Suthanaya (2002, *apud* (Azevedo Filho, 2012)), uma boa distribuição de uso do solo e uma mobilidade urbana sustentável devem assegurar o acesso a bens e serviços de maneira eficiente para todos os habitantes da área urbana. Contudo, deve-se resguardar o meio ambiente, o patrimônio cultural e ecossistemas para a presente geração sem, no entanto, limitar as oportunidades das gerações futuras. Nos dias atuais, ainda é comum vincular o conceito de mobilidade somente ao transporte, sobretudo aos modos motorizados. A análise, de forma equivocada, limita-se muitas vezes à circulação de automóveis e ao uso de transporte coletivo. Conforme Azevedo Filho (2012), com um planejamento adequado poder-se-ia incentivar os deslocamentos a pé e/ou o uso de bicicletas de maneira a atender uma parcela maior das necessidades. De acordo com Cervero E Kockelman (1997, *apud* (CAMPOS, 2013)), a densidade, a diversidade de uso do solo e o desenho orientado ao pedestre podem reduzir significativamente as taxas de viagens e incentivar viagens por meios alternativos ao automóvel.

2.1.2 Previsão de demanda

A demanda por transporte surge da necessidade de deslocamento das pessoas para realizar alguma atividade. Em áreas urbanas, grande parte da demanda está concentrada nas horas de pico (CAMPOS, 2013). Além disso, a maioria dos movimentos realizados nestas horas são movimentos pendulares. De acordo com Perpetua (2010), o conceito de movimento pendular está relacionado com a ocorrência do fenômeno de movimento populacional moradia-trabalho entre municípios distintos ou entre áreas periféricas e áreas centrais de um único tecido urbano inserido em um só município.

Segundo Campos (2013), a demanda por transporte é também dependente das características físicas (uso e ocupação do solo) e socioeconômicas da região. Por isso, modificações no uso e ocupação do solo tem efeito direto sobre a movimentação de pessoas. Ocorre que uma mudança no uso do solo tende a gerar movimentos e com o decorrer do tempo surge uma demanda por transporte que possivelmente será solucionada por uma oferta de transporte. Esta oferta, vem a gerar um aumento da acessibilidade e mobilidade da região que altera o valor da terra e faz com que se inicie novamente o ciclo. A Figura 2.1 expressa essa interação entre transporte e uso do solo.

Figura 2.1: Ciclo dos transportes.



Fonte: Adaptado de (CAMPOS, 2013)

A intensidade das relações expressas na Figura 2.1 deve ser acompanhada de um planejamento prévio de estrutura regional e urbana (legislação de uso do solo) e dos sistemas de transportes. Caso isso não aconteça, pode-se chegar a uma situação caótica, gerada pelo desequilíbrio entre a oferta e a demanda, o que resulta em constantes congestionamentos e dificuldades na circulação de pessoas ou de mercadorias (CAMPOS, 2013). A cidade de Florianópolis, por exemplo, possui uma demanda por transporte gerada, principalmente, por movimentos pendulares, porém pouco tem-se investido em sistemas de transporte na ligação entre o continente e a ilha ocasionando, principalmente nas horas de pico, congestionamentos nas principais vias que levam a ligação (Pontes Pedro Ivo Campos e Colombo Salles).

Durante o processo de planejamento de transportes, uma das etapas refere-se a escolha dos modelos de demanda a serem utilizados para avaliação da demanda futura, como será visto na Seção 2.1.3. Conforme Novaes (1986), existem três níveis de previsão de demanda por transporte. São esses:

- Previsões a curto prazo: o horizonte de projeto restringe-se à situação presente em que as previsões são realizadas através de análise marginal, examina como os custos e benefícios mudam de acordo com mudanças graduais nas ações, com base no quadro atual. Não são feitas projeções desagregadas das variáveis socioeconômicas e uso do solo. São utilizados dados atuais obtidos através de pesquisas, medições, levantamento, etc. Sendo assim, as projeções se baseiam fundamentalmente na premissa de que a distribuição espacial de atividades e os valores das variáveis socioeconômicas permanecerão a mesma.

- Previsões a médio e longo prazo, sem envolver efeitos nas atividades socioeconômicas: são previsões que exigem projeções detalhadas e cuidadosas das variáveis socioeconômicas e atividades, tornando-se necessário estudar a evolução destas variáveis para cada zona. Entretanto, neste nível de análise não se estabelece relações de *feedback* entre os fluxos de transporte projetados e seus efeitos nas atividades básicas.
- Previsões a longo prazo, com avaliação dos efeitos nas atividades socioeconômicas e no seu assentamento (uso do solo): são previsões semelhantes a anterior, porém incorporam-se relações de *feedback*. Para isso é necessário modelar o uso do solo, envolvendo assim uma análise do processo de assentamento das atividades no espaço geográfico (urbano ou regional, conforme o caso). Neste nível se enquadra o planejamento de transportes urbano ou regional.

Segundo Manhein (1979, *apud* (RIBEIRO, 2012)), os modelos de demanda baseados em redes de transportes são classificados em dois grandes grupos:

- Modelos de demanda sequenciais.
- Modelos de demanda diretos ou simultâneos.

A diferença entre os modelos de demanda diretos e sequenciais está no processo de modelagem. Ambos objetivam identificar o ponto de equilíbrio entre a demanda e a oferta de viagens em uma rede de transportes (RIBEIRO, 2012). O modelo sequencial, também denominado modelo quatro etapas, é utilizado quando se deseja elaborar um plano de médio e longo prazo (CAMPOS, 2013). O presente trabalho dá enfoque ao modelo quatro etapas de transporte, que é apresentado na Seção 2.2. Nos parágrafos a seguir aborda-se os métodos diretos de previsão de demanda.

Segundo Campos (2013), os modelos diretos de previsão de demanda são úteis para estimar a demanda em planos de curto e médio prazo. Estes modelos compreendem os tipos de estimativa de demanda incondicional e condicional. Na estimativa incondicional a demanda não é vinculada a outras variáveis, utilizam-se apenas séries históricas, normalmente períodos em anos, da demanda. Para esta estimativa utiliza-se projeção linear, geométrica, linha de tendência ou curva logística. Por outro lado, na estimativa condicional a demanda é vinculada a fatores/variáveis que podem ter influência sobre o comportamento dessa. Logo, procura-se definir uma função através de regressões que possibilite estimar a demanda a partir destas variáveis. Quando a demanda relaciona-se somente com uma variável explicativa utiliza-se regressão linear simples e quando se relaciona com mais de uma variável explicativa usa-se regressão múltipla. De maneira geral os fatores determinantes da demanda estão relacionados com as características socioeconômicas dos usuários (população, renda, emprego, PIB, etc.), o custo de uso

do sistema (custo do transporte, tarifa, etc.) e os atributos relacionados com o nível de serviço do sistema.

Conforme DENIT, 2006; Wonnacott (1985, *apud* (CAMPOS, 2013), quando utiliza-se do método de regressão para modelar a demanda, a validade estatística da análise pode ser verificada através de testes estatístico padrões como coeficiente de determinação R^2 , erro padrão da estimativa p e teste t . O coeficiente de determinação R^2 basicamente indica quanto o modelo foi capaz de explicar os dados coletados. Quanto mais próximo de 1 o valor do R^2 mais explicativo é o modelo, melhor ele se ajusta à amostra. O erro padrão da estimativa p indica o grau de variação dos dados em relação à linha de regressão obtida. E, o teste t indica a significância do coeficiente de regressão de cada variável independente na equação de regressão. Geralmente, utiliza-se um nível de significância de 95%.

2.1.3 Processo de planejamento de transportes

De acordo com Ortuzar e Willumsen (2011), os modelos de planejamento de transporte por conta própria não resolvem problemas de transporte. Para serem úteis, eles devem ser utilizados dentro de um processo de decisão adaptado ao estilo de tomada de decisão escolhido. Além disso, segundo Campos (2013), o processo de planejamento de transporte deve estar incluso em um plano de desenvolvimento da região de estudo. O processo deve se embasar em uma visão sistêmica que compreenda o desenvolvimento e as características da região, como forma de ocupação, situação econômica atual e futura, e sua inter-relação com outras regiões. Ainda, conforme Bruton (1979), verificou-se a necessidade de assumir adicionalmente que:

1. Relacionamentos decisivos existem entre todos os modos de transportes e que o papel futuro de um particular modo não pode ser determinado sem se considerar todos os outros modos.
2. O sistema de transportes influencia no desenvolvimento de uma área tão bem quanto serve a esta área.
3. Áreas de urbanizações contínuas requerem uma ampla consideração regional da situação de transporte.
4. O estudo de transportes é uma parte integrante do processo geral do planejamento e não pode ser considerado adequadamente de forma isolada.
5. O processo de planejamento dos transportes é contínuo e requer constante atualização, confirmação e aperfeiçoamento.

Segundo (BRUTON, 1979), estudos de transporte, de forma geral, tem a mesma estrutura básica:

1. Uma etapa de pesquisas e análise que estabeleça a demanda presente por movimento, seu grau de atendimento, as relações entre essa demanda por movimentos e o ambiente urbano.
2. Uma etapa de previsão e de formulação do plano que projete, para alguma data futura, a provável demanda por viagens, baseada nos dados coletados e nas relações estabelecidas na etapa de pesquisas e análise, e que formule proposições que venham atender a essa demanda.
3. Uma etapa de avaliação que verifique se as proposições de transportes elaboradas satisfazem a demanda por viagens, prevista com segurança, capacidade e níveis de serviço adequados e que proporcione o máximo de benefícios para a comunidade pelo mínimo de custos.

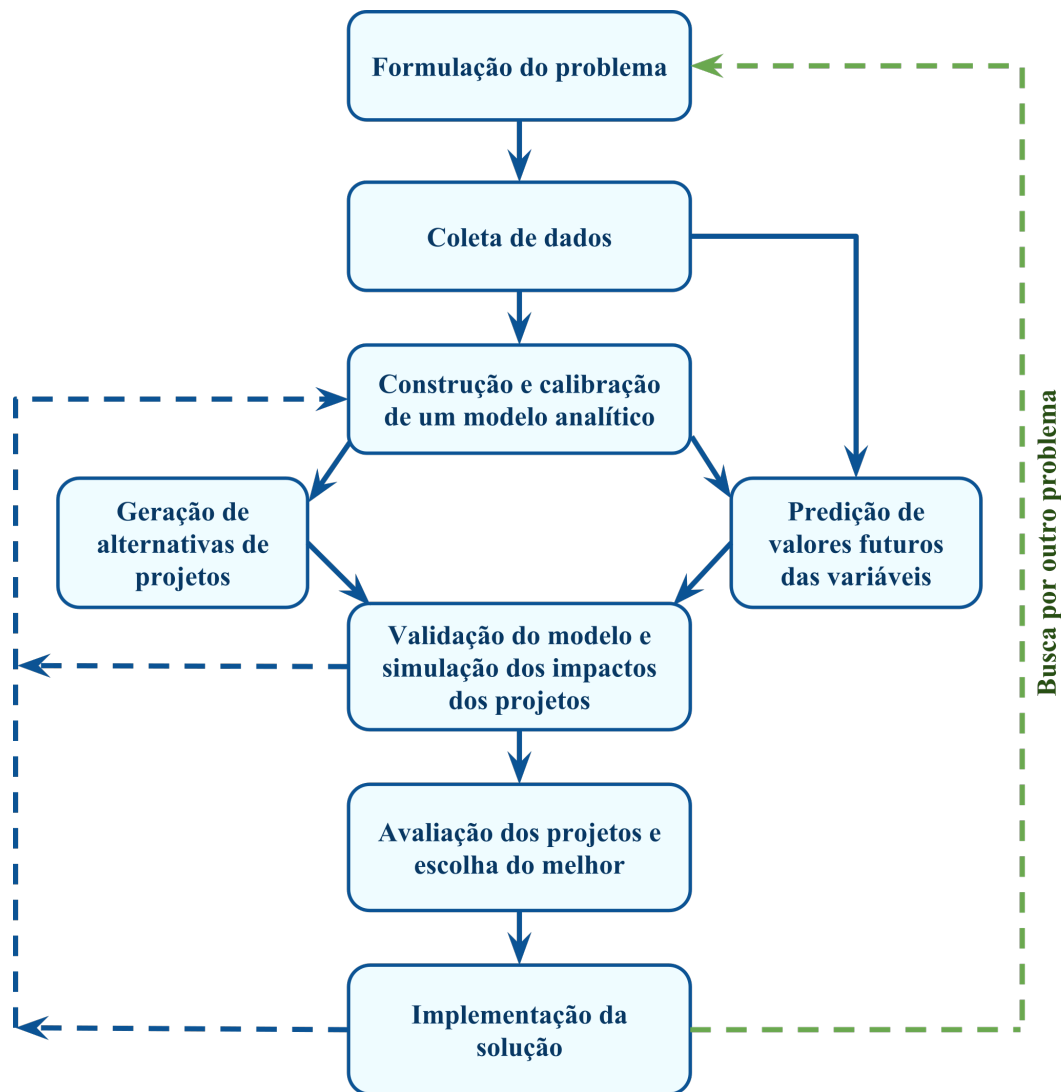
Usualmente, conforme Campos (2013), um plano de transporte envolve as seguintes etapas:

1. Definição dos objetivos e prazos.
2. Diagnóstico dos sistemas de transportes.
3. Escolha e coleta de dados.
4. Escolha dos modelos de demanda a serem utilizados para avaliação da demanda futura.
5. Avaliação da demanda.
6. Definição das alternativas de ofertas de transportes.
7. Avaliação das alternativas (custos e impactos).
8. Escolha da alternativa.
9. Desenvolvimento do plano de transporte acompanhado de um programa de financiamento.
10. Implementação das alternativas de acordo com um cronograma de desembolso de recursos.
11. Atualização dos procedimentos.

Das etapas do planejamento de transportes enumeradas por Campos (2013), os passos de número dois a cinco são os principais objetos deste trabalho. A Figura 2.2 representa um fluxograma que resume o fluxo das etapas do processo de planejamento. Vê-se que a partir da validação do modelo e da definição da solução deve-se voltar e

verificar quais os impactos que as soluções propostas podem trazer à demanda com a implementação das mesmas. E, após a implementação da solução do problema procura-se um outro problema para solucionar.

Figura 2.2: Fluxograma das etapas do processo de planejamento de transportes.



Fonte: Adaptado de (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2011)

Em relação a etapa de escolha e coleta de dados, inicialmente deve-se decidir quais serão as informações a serem pesquisadas. Esta decisão é de competência da equipe de técnicos/planejadores que escolherão de acordo com o problema que desejam analisar ou com o plano que será desenvolvido (CAMPOS, 2013). Os diferentes tipos de pesquisa para coletar os dados consomem tempo e exigem expressivos recursos humanos e financeiros. Desta forma, necessita-se de uma cuidadosa programação na fase de coleta de dados, sendo prática corrente analisar-se cada elemento no processo, alocar-se um tempo estimado necessário para completar cada etapa e, a partir daí, preparar um cronograma para garantir que os dados sejam obtidos tão rápida e eficientemente quanto possível (BRUTON, 1979). De acordo com Campos (2013), de modo geral se

fazem levantamentos das condições da via e/ou dos sistemas de transporte, pesquisas de fluxo de tráfego e pesquisas de origem/destino. O objetivo desta etapa é definir o padrão de viagens e de uso do solo na área de estudo e elaborar um diagnóstico sobre o sistema de transporte existente.

Conforme Campos (2013), com o intuito de se fazer uma coleta dos dados de maneira eficiente e econômica define-se uma área de estudo por um limite chamado cordão externo (*cordon line*). Um sistema de zoneamento é usado para agregar as famílias e instalações individuais em pedaços gerenciáveis para fins de modelagem (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2011). Então, a área de estudo – e, muitas vezes, a área externa que gera influência nesta área – é subdividida em sub-áreas chamadas de zonas de tráfego. Essas podem obedecer uma divisão censitária ou administrativa para facilitar a obtenção de dados socioeconômicos. A divisão em zonas de tráfego tem por objetivo quantificar o fluxo e a origem e o destino dos movimentos (externo-externo, externo-interno e interno-interno) entre as zonas. Além disso, cada zona de tráfego deve ter um ponto definido como o centroide da zona. Este ponto será considerado como ponto de origem e destino das viagens em cada zona de tráfego (CAMPOS, 2013). No modelo computacional todos os atributos e propriedades da zona são concentrados no centroide da zona.

Outro aspecto importante na coleta de dados é a escolha do método utilizado para levantamento de dados. Segundo Campos (2013), esta escolha dependerá do objetivo do plano, da horizonte de projeto e do tipo de região. Nas áreas urbanas podem ser realizados os seguintes tipos de levantamento:

- Entrevistas domiciliares (e/ou empresariais e industriais)
- Contagem de tráfego (manuais e automáticas)
- Pesquisa no tráfego (entrevistas diretas na via, cartões-postais)
- Pesquisa de embarque e desembarque em ônibus
- Pesquisa no cordão externo ou na *screen line* (linha que corta a área de estudo, geralmente uma via urbana ou um acidente geográfico)

Segundo Campos (2013), existem duas formas de pesquisa para identificar a movimentação futura de uma população. Essas são:

- Preferência revelada: os dados são obtidos com base em situações reais ou observadas pelo indivíduo. Neste tipo de pesquisa as informações de viagens estão relacionadas com a movimentação real das pessoas.
- Preferência declarada: os dados sobre deslocamentos são obtidos com base em situações hipotéticas (o que os indivíduos escolheriam fazer em determinadas

situações). Permite estabelecer curvas de demanda para sistemas ainda não implementados, ou avaliar a sensibilidade da população diante de alguma estratégia hipotética.

A pesquisa de origem-destino (O-D) serve para determinar a quantidade de deslocamentos realizados entre pontos de uma cidade em virtude da necessidade de se realizar atividades externas a residência. Esta pesquisa deve incluir dados sobre a viagem (horário, frequência, motivo, modo de transporte utilizado, etc.) e sobre as pessoas (renda, idade, sexo, etc.) (CAMPOS, 2013). Segundo Demarchi e Bertocini, (2004, *apud* (CAMPOS, 2013), tradicionalmente, o número de viagens entre diferentes zonas de tráfego é alocado em uma matriz origem-destino (O-D), onde cada elemento representa o número de viagens entre uma zona de origem e um específica de destino. As pesquisas de O-D em áreas urbanas podem ser realizadas por meio de entrevistas domiciliares, nos locais de trabalho e no sistema de transporte (CAMPOS, 2013). As pesquisas de O-D de viagens são realizadas por amostragem na qual os domicílios a serem pesquisados devem ser escolhidos por sorteio, levando em conta que cada um deles deve ter a mesma probabilidade de ser escolhido.

2.1.4 Planejamento de transportes no mundo

Segundo Lopes (2005, *apud* ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1994), as décadas de 1960 e 1970 foram marcadas pelo surgimento de problemas relacionados a transportes como congestionamento, poluição, acidentes e défices de financiamento. Com a continuidade destes problemas, a partir de 1980 as técnicas de planejamento de transportes sofreram mudanças profundas. Durante esta época, foi possível entender que um longo período de planejamento deficiente de transportes, investimentos limitados, ênfase no curto prazo e falta de credibilidade na modelagem de transportes e na tomada de decisões estratégicas não são resolvidos com tentativas tímidas de melhoria da gerência de tráfego. Ademais, dificuldades que anteriormente existiam na modelagem de transportes foram eliminadas com o surgimento da computação de alta capacidade e baixo custo.

De acordo com Azevedo Filho (2012), com o passar do tempo, tem se tornado mais notório que o procedimento tradicional de planejamento de transportes alimenta o ciclo de ampliação e ocupação da capacidade da infraestrutura. Este procedimento ocasiona impactos negativos sobre o meio ambiente. Nos últimos 10 a 20 anos, os problemas começaram a se tornar mais aparentes levando a proposição de novas abordagens na linha do planejamento da mobilidade urbana sustentável. Segundo Azevedo Filho (2012), para contrapor os processos de elaboração de Planos Diretores de Transportes, concebidos desde as décadas de 60 e 70 do século passado, surgiu, mais recentemente, a proposta dos Planos de Mobilidade, os quais são elaborados tendo em vista princípios de sustentabilidade. Manuais foram preparados por instituições governamentais a fim

de estabelecer diretrizes que visam orientar, principalmente as administrações locais, a elaboração destes planos no Brasil e em outros países do mundo. O PlanMob é o exemplo de um manual de referência para elaboração de plano de mobilidade urbana preparado pelo Ministério das Cidades, Brasil (2015).

2.1.5 Planejamento de transportes no Brasil

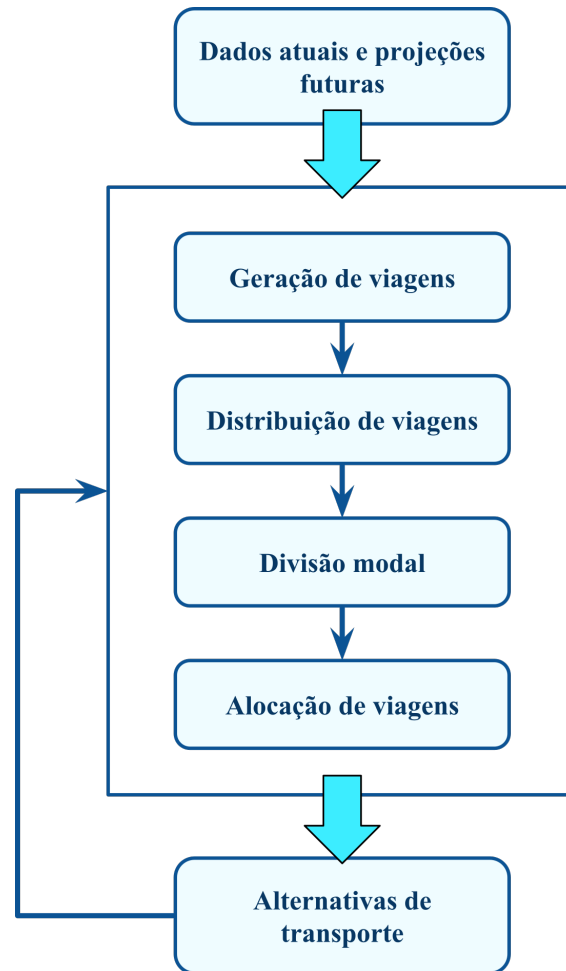
Conforme Rodrigues da Silva; Costa; Macedo (2008, *apud* (Azevedo Filho, 2012)), o desenvolvimento do conceito de sustentabilidade adicionado ao conceito de mobilidade urbana têm sido incentivado, essencialmente, por ações governamentais. No Brasil, em 2012, foi instituída a Lei de Diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, Lei nº 12.587, com o propósito de estimular os municípios, com populações acima de 20 mil habitantes ou os legalmente obrigados à elaborar o plano diretor, a preparar o Plano de Mobilidade Urbana. De acordo com Brasil (2012), os municípios têm até seis anos a partir da entrada em vigor da Lei nº 12.587 para elaborar ou compatibilizar este plano com o plano diretor municipal, existente ou em elaboração. Aqueles que não respeitarem o prazo ficam impedidos de receber recursos orçamentários federais destinados à mobilidade urbana, até que atendam à exigência da Lei nº 12.587.

O Plano de Mobilidade Urbana deverá ter o foco em sistemas de transporte público coletivo ou individual e no planejamento da infraestrutura urbana destinada aos deslocamentos a pé e por bicicleta. De acordo com Azevedo Filho (2012), o progresso da mobilidade sustentável depende da conscientização não apenas dos gestores públicos, mas também da população em geral. Segundo Boareto (2008), é notório que a maioria dos formuladores de políticas urbanas considera o automóvel como desejo natural e destino final da população, com uma visão de cidades sem limites para expansão. Caso, a percepção partilhada por técnicos e gestores de fato seja essa, a elaboração de planos e, principalmente, a efetivação de ações voltadas à mobilidade urbana sustentável podem se tornar muito difíceis (Azevedo Filho, 2012).

2.2 MODELO QUATRO ETAPAS DE TRANSPORTES

Para Lopes (2005), o modelo quatro etapas é um dos mais empregados no planejamento de transportes. Este modelo permite estimar viagens entre diversas zonas de tráfego baseado na consideração de que a realização de uma viagem depende de um processo desenvolvido em quatro etapas bem definidas: geração de viagens, distribuição de viagens, divisão modal e alocação de viagens. De acordo com Campos (2013), o processo de estudo da demanda se desenvolve em uma sequência de análise em que o resultado de uma etapa serve de base para a etapa seguinte, conforme apresentado na Figura 2.3.

Figura 2.3: Estrutura do modelo quatro etapas de transporte.



Fonte: Adaptado de (CAMPOS, 2013)

Após o processo de coleta de dados, inicia-se a aplicação do modelo quatro etapas pela etapa geração de viagens. Nesta etapa estima-se a quantidade total de viagens geradas (produzidas e atraídas) em cada zona de tráfego. Com base no total de viagens geradas estimadas para cada zona de tráfego e em uma matriz origem-destino atual, na etapa da distribuição obtém-se uma matriz origem-destino das viagens futuras. Em seguida, para cada conjunto de viagens realizadas entre pares de zonas de tráfego estima-se a quantidade de viagens nos vários modos de transporte, etapa da divisão modal. Por fim, na etapa de alocação faz-se a disposição das viagens nas vias por modo de transporte. Com o resultado da etapa de alocação, estuda-se alternativas de transportes a serem propostas para atender à demanda futura.

2.2.1 Geração de viagens

A etapa de geração de viagens objetiva estimar o número total de viagens produzidas ou atraídas para cada zona de tráfego da área de estudo para um dia típico do ano de projeto. De acordo com Campos (2013), o número de viagens geradas em cada

zona de tráfego está vinculado as atividades desenvolvidas nessa e as características socioeconômicas da população. Deve-se cuidar para que o resultado desta etapa seja o mais preciso possível, pois esse serve de ponto de partida de todo o modelo sequencial. Geralmente, viagens produzidas em uma zona de tráfego são as viagens que tem como origem a zona de tráfego e viagens atraídas são as que tem como destino. Contudo, em áreas urbanas no aspecto de viagens diárias pode-se considerar que viagens produzidas são aquelas com origem ou destino em residências (viagens com base residencial) e que viagens atraídas são aquelas que não têm nem origem e nem destino em residências (viagens com base não residencial).

Para Ortuzar e Willumsen (2011), as viagens podem ser caracterizadas por tipo de propósito (viagens ao trabalho, à escola ou à faculdade, às compras, recreacionais ou lazer, etc.), por período do dia (período de pico da manhã – trabalho e escola–, de pico da tarde e fora do pico), por tipo de pessoa (nível de renda, propriedade de veículos, tamanho e estrutura do agregado familiar, etc.) e por tipo de carga (comércio interno, comércio externo, distribuição urbana, etc.).

Segundo Ortuzar e Willumsen (2011), alguns fatores que afetam a geração de viagens, dividida em grupos de produção e atração de pessoas e cargas, são:

- Produção de viagem pessoal:
 - renda;
 - propriedade de veículo;
 - tamanho da família;
 - estrutura doméstica;
 - valor da terra;
 - densidade residencial;
 - acessibilidade.
- Atração de viagem pessoal:
 - espaço coberto disponível para serviços industriais, comerciais e outros.
- Produção e atração de carga:
 - número de funcionários;
 - número de vendas;
 - área de cobertura da empresa;
 - área total da empresa.

Segundo TRB (2012), a unidade do número estimado de viagens diárias é a mesma que a unidade de fluxo usada pelo modelo. Geralmente, é uma das seguintes:

- viagens de veículos;
- viagens individuais em modos motorizados (auto e trânsito);
- viagens de pessoa em todos os modos, incluindo modos motorizados e não-motorizados (caminhadas, ciclismo).

Conforme consta em Campos (2013), para a estimativa das viagens geradas faz-se necessário a elaboração de um modelo matemático que represente a demanda de transporte de acordo com a realidade estudada. Os itens a seguir referem-se aos métodos mais usuais para estimativa da geração de viagens.

- Método do fator de crescimento: este método possibilita determinar o número de viagens futuras por zona de tráfego em função de variáveis como população, renda, propriedade e densidade residencial ou comercial. É um modelo que trabalha com dados agregados e um ponto crítico deste método é que a estimativa do fator de crescimento dependerá de escolha das variáveis que melhor o definem.

A Eq. 2.5 representa a fórmula geral para estimar a geração de viagens por este método.

$$T_i = f_i \cdot t_i \quad (2.1)$$

Onde,

T_i = total de viagens futuras produzidas ou atraídas pela zona de tráfego i ;

f_i = fator de crescimento de produção ou atração para a zona de tráfego i ;

t_i = total de viagens no ano-base produzidas ou atraídas pela zona de tráfego i .

O fator de crescimento de produção ou atração para a zona de tráfego i pode ser definido pela relação de variáveis socioeconômicas da área de estudo. No caso da produção de viagens pode-se calcular o fator de crescimento através da Eq. 2.2 tendo como base em características como população, número de domicílios e renda. O cálculo do fator de crescimento da atração se procede da mesma maneira, porém considerando outra característica socioeconômica, como por exemplo número de empregos na zona.

$$f_i = \frac{Pop_i^f \cdot Dom_i^f \cdot Ren_i^f}{Pop_i^a \cdot Dom_i^a \cdot Ren_i^a} \quad (2.2)$$

Onde,

Pop_i = população da zona de tráfego i ;

Dom_i = número de domicílios na zona de tráfego i ;

Ren_i = valor médio da renda do responsáveis pelo domicílios na zona de tráfego i ;

a, f = se referem, respectivamente, a valores atuais e futuros.

- Método das taxas de viagens: este método possibilita determinar o número de viagens futuras por tipo de ocupação do solo, onde para cada tipo de atividade defini-se uma taxa de produção e/ou atração de viagens. De acordo com as possibilidades de pesquisa podem-se obter taxas cobrindo um maior número de atividades desagregadas. Como exemplo tem-se uma tabela com as taxas de viagens definidas para a área central da cidade de Pittsburgh extraída de Papacostas (1987 *apud* (CAMPOS, 2013)).

Tabela 2.1: Taxas de geração de viagens para diferentes categorias de solo (*).

Uso do solo	taxa
Residencial	2,4
Comercial / lojas	8,1
Comercial / serviço	5,2
Comercial / atacado	1,2
Indústria	1,0
Transportes	4,0
Serviço público	3,4

Fonte: Papacostas (1987 *apud* (CAMPOS, 2013)) (*) viagens por 1000 m^2

Assim, o número de viagens geradas em uma zona de tráfego é calculado pela multiplicação da área do tipo de uso do solo por sua respectiva taxa de produção e/ou atração de viagens.

Conforme Campos (2013), a projeção de área ocupada por tipo de uso do solo para o ano de projeto é realizada através de métodos estatísticos exógenos ao modelo.

- Método de regressão: este método objetiva construir uma função linear ou não entre o número de viagens por zona (variável dependente) e características da zona de tráfego (variáveis independentes). Ele possibilita a utilização de dados agregados ao nível da zona de tráfego. Exemplos de variáveis que podem ser utilizadas na produção de viagens são: renda, propriedade de veículos, número de residência, número de pessoas empregadas, população ou densidade populacional, número de pessoas em idade escolar, etc. E, na atração de viagens são: área destinada à indústria e comércio, número de empregos, matrículas escolares, acessibilidade, etc.

A forma mais usual deste método compreende uma regressão múltipla, que equivale a uma função linear conforme a expressa na Eq. 2.3.

$$y = \alpha_0 + \alpha_1.x_1 + \alpha_2.x_2 + \dots + \alpha_n.x_n \quad (2.3)$$

Onde, y = variável dependente (número de viagens); x = variáveis independentes (fatores socioeconômicos e de uso do solo); α = constantes da regressão linear.

Conforme consta em Campos (2013), este método possui as seguintes características:

- os coeficientes são encontrados por calibração utilizando os dados socioeconômicos do ano-base de todas as zonas de tráfego;
- algumas variáveis explicam melhor as viagens produzidas e outras as atraídas;
- a variável dependente (y) pode estimar as viagens produzidas (P'_i) ou atraídas (A'_i) na zona i , se for um modelo que utiliza dados agregados. Ou pode estimar taxas de produção e de atração por tipo de residência, se usa dados desagregados;
- usualmente quatro variáveis independentes são suficientes;
- cada termo da equação de regressão pode ser interpretado como uma contribuição da variável independente para a dependente.

Para escolha das variáveis independentes, segundo Campos (2013), deve-se considerar os seguintes critérios:

- devem estar linearmente relacionadas com a variável dependente;
- altamente correlacionada com a variável dependente;
- não devem estar correlacionadas com outra variável independente;
- devem ser facilmente projetadas para o futuro.

De acordo com Campos (2013), as variáveis socioeconômicas que podem ser consideradas na produção de viagens nos modelos agregados são:

- renda;
- propriedade de veículos;
- número de residências (ou área de ocupação do solo);
- número de pessoas empregadas;
- população ou densidade populacional;
- número de pessoas em idade escolar.

E, as variáveis que podem ser consideradas na atração de viagens são:

- área destinada à indústria, comércio e outros;
- número de empregos;
- matrículas escolares;
- acessibilidade.

Depois de estimadas as viagens geradas na área de estudo por qualquer um dos modelos citados anteriormente, o número total de viagens atraídas pode ser diferente do total de viagens produzidas. Entretanto, o número total de viagens produzidas em uma área de estudo deve ser igual ao número total de viagens atraídas nessa. Então, considera-se a produção como sendo o valor mais confiável e realiza-se uma correção considerando um fator de ajuste f . Assim, multiplica-se os valores de atração pelo fator de ajuste da matriz final que pode ser calculado pela Eq. 2.4.

$$f = \frac{\sum_{i=1}^n P'_i}{\sum_{i=1}^n A'_i} \quad (2.4)$$

Onde,

P'_i = total de viagens futuras produzidas por zona de tráfego;

A'_i = total de viagens futuras atraídas por zona de tráfego.

2.2.2 Distribuição de viagens

A etapa de distribuição de viagens objetiva estimar o número de viagens entre pares de zonas de tráfego durante um período de tempo específico, resultando na matriz origem-destino (O-D) de viagens futuras. De acordo com Ortuzar e Willumsen (2011), esta matriz é resultado da aplicação de um método de distribuição de viagens que utiliza como informações a matriz de referência com dados do ano-base e a estimativa do total de viagens produzidas e atraídas por zona de tráfego, obtida na etapa de geração. Segundo Novaes (1986), a matriz de referência é obtida através de entrevistas domiciliares O-D ou outro tipo de levantamento direto ou indireto. Na Tabela 2.2 está representada a forma geral de matriz de viagens. A área de estudo é dividida em n zonas de tráfego. Cada célula t_{ij} da tabela representa o número de viagens que tem como origem uma zona i e como destino uma zona j . Além disso, P_i e A_j referem-se, respectivamente, ao total de viagens produzidas e atraídas por zona de tráfego.

Tabela 2.2: Forma geral de matriz de viagens.

Origens (<i>i</i>)	Destinos (<i>j</i>)						Produção
	1	2	3	...	n-1	n	
1	t_{11}	t_{12}	t_{13}	$t_{1...}$	$t_{1(n-1)}$	t_{1n}	P_1
2	t_{21}	t_{22}	t_{23}	$t_{2...}$	$t_{2(n-1)}$	t_{2n}	P_2
3	t_{31}	t_{32}	t_{33}	$t_{3...}$	$t_{3(n-1)}$	t_{3n}	P_3
...	$t_{...1}$	$t_{...2}$	$t_{...3}$	$t_{.....}$	$t_{...(n-1)}$	$t_{...n}$	$P_{...}$
n-1	$t_{(n-1)1}$	$t_{(n-1)2}$	$t_{(n-1)3}$	$t_{(n-1)...}$	$t_{(n-1)(n-1)}$	$t_{(n-1)n}$	P_{n-1}
n	t_{n1}	t_{n2}	t_{n3}	$t_{n...}$	$t_{n(n-1)}$	t_{nn}	P_n
Atração	A_1	A_2	A_3	$A_{...}$	A_{n-1}	A_n	$\sum_{j=1}^n A_j = \sum_{i=1}^n P_i$

Fonte: Adaptado de Ortuzar e Willumsen (2011)

De maneira geral a distribuição de viagens é realizada com base na potencialidade das zonas de origem de gerar viagens, na atratividade das zonas de destino e na distância, tempo ou custo de transporte entre cada par de zona de tráfego (CAMPOS, 2013). Conforme consta em Bruton (1979), durante as últimas duas décadas, diversos procedimentos matemáticos foram desenvolvidos e usados com o propósito de realizar a distribuição de viagens. Um dos grupos principais destes procedimentos é o dos métodos de fator de crescimento.

Os métodos de fator de crescimento são aqueles em que utiliza-se um fator multiplicador aplicado a matriz do ano-base para obter a estimativa de viagens entre cada par O-D e tem a seguinte forma geral:

$$t'_{ij} = t_{ij} \cdot f_{ij} \quad (2.5)$$

Onde,

t'_{ij} = número de viagens futuras entre as zonas de origem i e de destino j ;

t_{ij} = número de viagens atuais entre as zonas de origem i e de destino j ;

f_{ij} = fator de crescimento.

Dentre os métodos de fator de crescimento destacam-se os pontuados a seguir.

- Método do fator de crescimento uniforme: este método considera um fator de crescimento único para todas as zonas de tráfego que pode ser obtido de duas formas:

1. Utilizando um fator de crescimento com base em estudo estatísticos ou curvas de crescimento.

2. Utilizando um fator de crescimento obtido da relação entre o número de viagens produzidas atualmente e o número da estimativa de viagens futuras produzidas para todas as zonas de tráfego. Esta relação é expressa pela Eq. 2.6.

$$f_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n P'_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2.6)$$

Onde,

f_{ij} = fator de crescimento;

P'_i = número da estimativa de viagens futuras produzidas na zona i ;

P_i = número de viagens produzidas atualmente na zona i .

Segundo Campos (2013), este método só deve ser usado para um horizonte de projeto de 1 a 3 anos e em regiões bastante desenvolvidas e densamente ocupadas.

- Método do fator médio de crescimento: este método utiliza um fator de crescimento para cada par de origem e destino determinado pela média dos fatores de crescimento da zona de origem (i) e da zona de destino (j), conforme a Eq. 2.7.

$$f_{ij} = \frac{f_i + f_j}{2} \quad (2.7)$$

Sendo,

$$f_i = \frac{P'_i}{P_i} \quad (2.8)$$

$$f_j = \frac{P'_j}{P_j} \quad (2.9)$$

Onde,

f_{ij} = fator de crescimento;

P'_{iouj} = número da estimativa de viagens futuras produzidas na zona i ou j ;

P_{iouj} = número de viagens produzidas atualmente na zona i ou j .

Neste método aplica-se um processo iterativo até que sejam obtidos valores equivalentes aos estimados. Segundo Campos (2013), pode-se admitir um erro de 5 a 10% entre o valor resultante e o estimado de viagens.

- Método do fator de crescimento duplo (*Furness*): este método requer uma série de iterações até que a soma dos valores por linha convirja para o total de produção

de viagens de cada zona e a soma dos valores por coluna para o total de atração. Logo, para fazer a distribuição de viagens por este método considera-se tanto o fator de crescimento da produção quanto o da atração, como pode ser observado na Eq. 2.10. Os fatores de balanceamento são calculados pelas Eq. 2.11 e Eq. 2.12. A Eq. 2.10 representa a fórmula geral para estimar a distribuição de viagens por este método.

$$T_{ij} = t_{ij} \cdot a_i \cdot b_j \quad (2.10)$$

Onde,

T_{ij} = número no ano-base de viagens produzidas pela zona i e atraídas pela zona j ;

t_{ij} = número calculado de viagens produzidas pela zona i e atraídas pela zona j ;

a_i = fator de balanceamento da linha i ;

b_i = fator de balanceamento da coluna j .

$$a_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n t_{ij}^k} \quad (2.11)$$

$$b_j = \frac{A_j}{\sum_{j=1}^n t_{ij}^k} \quad (2.12)$$

Onde,

P_i = viagens atuais produzidas pela zona i na primeira iteração e a partir da segunda iteração viagens produzidas calculadas para a zona i ;

A_j = viagens atuais atraídas pela zona j na primeira iteração e a partir da segunda iteração viagens atraídas calculadas para a zona j ;

n = número total de zonas;

k = refere-se a iteração.

O procedimento geral deste método de *Furness* envolve seis passos. São eles:

1. Faz-se a_i igual a 1,0.
2. Calcula-se o fator de crescimento por coluna (b_j).
3. Calcula-se a matriz de viagens utilizando a Eq. 2.10.
4. Calcula-se o total por linha e o fator de balanceamento a_i .
5. Recalcula-se a matriz multiplicando os valores obtidos em 3 por a_i .
6. Se os valores encontrados para P_i e A_j estão próximos (5%) dos valores de produção e atração futuros então pare, caso contrário volte a 2.

2.2.3 Divisão modal

A etapa de divisão modal tem como objetivo estimar a demanda por modos de transporte para suprir os deslocamentos estimados na etapa de distribuição de viagens. Assim, a matriz origem-destino (O-D) resultante da etapa de distribuição de viagens é dividida em um número de matrizes correspondentes aos modos de transporte considerados. Características socioeconômicas (renda, propriedade de veículos) e características dos serviços dos modos de transporte são fatores que influenciam a escolha do usuário por determinado modo de transporte (custo e tempo de viagem, tempo de espera). A divisão por modos de transporte pode ser feita essencialmente por dois métodos, os métodos determinísticos e probabilísticos. O primeiro tipo objetiva determinar a proporção de viagens por modo de transporte utilizando métodos quantitativos simples como regressão linear, classificação cruzada ou curvas de desvio. Já o segundo tipo buscar relacionar a proporção de viagens por modo de transporte com a probabilidade de escolha de cada um. Conforme Campos (2013), dentro dos modelos probabilísticos os modelos logit multinomial e logit binomial são os mais utilizados e, por isso, são abordados nos itens a seguir.

- Modelo logit binomial: conforme Campos (2013), neste modelo se avaliam duas alternativas de transporte de acordo com as utilidades relativas destes modos. Considerando a distribuição de viagens entre dois modos A e B , o modelo tem a seguinte forma:

$$p(A) = \frac{1}{1 + e^{U_B - U_A}} \quad (2.13)$$

Onde,

$p(A)$ = probabilidade de escolha do modo A ;

U_A = utilidade do modo A ;

U_B = utilidade do modo B .

Além disso,

$$p(B) = 1 - p(A) \quad (2.14)$$

Onde,

$p(B)$ = probabilidade de escolha do modo B .

Para a calibração do modelo binomial pode-se considerar diferentes atributos para cada modo de transporte, como tempo de viagem, tempo de acesso ou espera, custo da viagem, etc., e utilizar o método de regressão para estimar a diferença de utilidade. Para tanto deve-se considerar a probabilidade de utilização do modo A , expressa na Eq. 2.13, e considerar também as seguintes relações:

1. $U_B - U_A = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot (x_i^B - x_i^A)$
2. $\frac{1}{p(A)} - 1 = e^{U_B - U_A}$
3. $\frac{p(B)}{p(A)} = e^{U_B - U_A}$
4. $\ln\left(\frac{p(B)}{p(A)}\right) = U_B - U_A$
5. $\ln\left(\frac{p(B)}{p(A)}\right) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot (x_i^B - x_i^A)$

Onde,

α_i = constantes da regressão linear múltipla;

n = número de zonas de tráfego;

x_i^A = atributos do modo de transporte A ;

x_i^B = atributos do modo de transporte B .

A expressão 5 pode ser obtida através do método de regressão linear cuja variável dependente é o logaritmo natural da relação entre os percentual de utilização dos modos de transporte $\left(\frac{p(B)}{p(A)}\right)$ e as variáveis independentes correspondem à diferença nos valores dos atributos do dois modos de transporte $(x_i^B - x_i^A)$.

- Modelo logit multinomial: conforme Novaes (1986), quando o número de modos de transporte é maior do que dois, o modelo logit resultante é do tipo multinomial, não sendo passível de linearização. Este modelo determina a proporção de viagens que caberá a cada modo específico k de acordo com a Eq. 2.15.

$$p(k) = \frac{e^{U_k}}{\sum_x e^{U_k}} \quad (2.15)$$

Onde,

$p(k)$ = probabilidade de escolha do modo k ;

k = um modo de transporte;

x = todos os modos concorrentes, $x = 1 \dots k$

U_k = utilidade do modo k .

2.2.4 Alocação de fluxo

Na etapa de alocação de fluxo se procede a atribuição das matrizes de viagens obtidas nos diversos modos às redes correspondentes. Os modelos de alocação são utilizados para fornecer estimativas de fluxos de tráfego em vias, com o principal objetivo de fazer uma verificação do equilíbrio entre a oferta e a demanda para cada sistema. Segundo Campos (2013), grande parte dos estudos de alocação estão relacionados com

o fluxo no sistema rodoviário. Isso porque a facilidade e o aumento da utilização do transporte individual ocasionaram constantes congestionamentos nos grandes centros urbanos.

O método de alocação tudo ou nada é um dos mais simples comparado a outros métodos existentes, entretanto permite identificar os segmentos que estão mais carregados e que, possivelmente, são gargalos no sistema. Conforme Campos (2013), este método se baseia no conceito de que definida a melhor rota (caminho-mínimo) entre uma origem e um destino todo fluxo passaria por esta rota, independentemente da capacidade dessa. Conforme consta em Bruton (1979), caminho-mínimo, para quaisquer método de alocação, é definido como o caminho de menor impedância entre uma origem e um destino em uma rede de transporte. Embora a impedância de viagem possa ser medida em termos de distância, custo, tempo ou alguma combinação desses fatores, a medida geralmente usada é o tempo.

Segundo Novaes (1986), embora o método de atribuição tudo ou nada seja simples de entender e de se aplicar, existem algumas desvantagens associadas ao seu uso. Pequenas diferenças nos tempos de viagem nas diferentes rotas entre a mesma origem e destino podem provocar caminhos irrealísticos. Novaes (1986) relata que Buchanan e Partners verificaram que, no procedimento de atribuição tudo ou nada usado em Oxford, as diferenças em termos de tempo de viagem eram tão pequenas que os motoristas dificilmente poderiam ter conhecimento delas. Neste caso, como a maioria dos motoristas não tinham conhecimento da rota de caminho-mínimo, o modelo poderia sobrecarregar uma via e amenizar o fluxo nas outras, diferente do que pode estar acontecendo na realidade.

2.3 OS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E O PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES

Atualmente, é muito provável que um projeto na área de planejamento de transportes utilize Sistema de Informação Geográfica (SIG) como base para organização, armazenamento e processamento dos dados, assim como para a representação dos resultados. Segundo Ferreira (2000, *apud* (SANTOS, 2004)), o uso do SIG no processo de planejamento tem como objetivo estruturar as informações e facilitando a tomada de decisões. Conforme consta em Lewis (1990, *apud* (Ayala Filho, 2016)), SIG são sistemas de gerenciamento de banco de dados computacionais que possibilitam capturar, armazenar, recuperar, analisar e visualizar dados espaciais. De acordo com Heikkila (1998, *apud* (Ayala Filho, 2016)), os SIG possuem em sua constituição uma função de mapeamento com um gerenciador de base de dados com informações geográficas. Desta maneira, selecionando um objeto de uma determinada camada é possível visualizar os valores de seus atributos e selecionando uma linha da base de dados de uma camada é possível apontá-la no mapa.

Os programas SIG possibilitam a importação ou criação de camadas no arquivo

de trabalho. As camadas são agrupamentos de informações temáticas armazenadas de forma independente uma da outra, porém com a possibilidade de se estabelecer relações entre elas. Se utilizam com mais frequência as camadas raster e vetorial. Nas camadas raster as propriedades do espaço são compartimentadas em células regulares, geralmente quadradas. Quanto maior a dimensão destas células (resolução) menor é a precisão na representação do espaço geográfico. Já nas camadas vetoriais o foco das representações é a precisão da localização dos elementos no espaço. Sendo que as propriedades espaciais são reproduzidas por ponto, linha e polígono. ¹

2.3.1 Modelagem da infraestrutura

Sistemas de transporte são comumente representados usando redes, como uma analogia para a sua estrutura e fluxos (Rodrigue, J.-P.; Comtois, C.; Slack, B., 2017). A representação de uma rede de transporte em um modelo computacional pode ser realizada em diferentes níveis de detalhe e requer a especificação de sua estrutura, suas propriedades ou atributos e a relação entre estas propriedades e fluxos de tráfego. Normalmente, a rede é modelada como um gráfico direcionado (grafo). O grafo nada mais é do que um sistema de nós e links direcionados que os conectam. Os nós, na maioria das vezes, são usados para representar junções e os links para representar trechos homogêneos de rotas entre junções. Os links são caracterizados por uma série de atributos, como comprimento, velocidade, número de pistas, etc., e normalmente são unidirecionais. Por mais que um link seja especificado como bidirecional na entrada do programa utilizado para modelagem ele será convertido em dois links unidirecionais na representação interna do programa. Além disso, há um subconjunto dos nós (pertencente a mesma zona e mais próximo do centroide) associado com os centroides das zonas e um subconjunto de links para conectar estes nós ao centroide (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2011).

Como uma característica geoespacial, uma rota é o caminho percorrido entre dois nós. Essa é formada pela sucessão de links entre o nó inicial e o final. E, por isso, possui a mesma geometria que os links que a compõem. Os algoritmos de roteamento de rede usam impedâncias de ligação como distância, tempo de viagem e custo de viagem para calcular caminhos mínimos através de uma rede. Em um programa SIG é possível obter a medida de comprimento de cada link e isso pode servir como uma impedância padrão. No entanto, as opções de rotas são mais tipicamente baseadas na minimização dos tempos de viagem ou em alguma relação entre os tempos de viagem e os custos. Além disso, as medidas do tempo de viagem são funções não só de distância, mas também de tipo de instalação. Portanto, as medidas de impedância adicionais geralmente são incluídas no banco de dados de recursos de linha (Spear, B. D., 2008).

¹ <<http://www.andersonmedeiros.com/conceitos-dados-geograficos/>>

2.3.2 O programa Quantum GIS e seu *plugin* AequilibraE para modelagem de transporte

O Quantum GIS (QGIS) é um *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) gratuito e de código aberto (*open source*) licenciado sob a Licença Pública Geral GNU (GPL). Um *software open source* é um *software* com seu código fonte disponibilizado ao público e com uma licença de código aberto. Com esta licença o direito autoral fornece a qualquer um e para qualquer finalidade o direito de estudar, modificar e distribuir o *software* de graça. O QGIS é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) e funciona nos sistemas operacionais: Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android. Ele disponibiliza um vasto conjunto de funcionalidades e suporta inúmeros formatos de vectores, rasters, bases de dados e geo-serviços.²

O AequilibraE é o primeiro *plugin* do QGIS para modelagem e planejamento de transporte em escala urbana e regional e que visa ser um *software* de código aberto (*open source*). O *plugin* é um projeto do engenheiro civil Pedro Camargo, que possui o título de mestre em planejamento de transportes pela Universidade de São Paulo no Brasil e doutor em ciências de transporte pela Universidade da Califórnia Irvine nos Estados Unidos da América. AequilibraE vem do latim e traduzido para o português significa equilíbrio, fazendo jus a sua funcionalidade.³

Segundo Pedro⁴, um dos objetivos no desenvolvimento do AequilibraE foi preencher a falta de *softwares* livres para desenvolver modelos de transporte. Sendo assim, o *plugin* busca combinar algoritmos de preparação de rede, algoritmos de calibração de distribuição de viagem e alocação de tráfego.

O *plugin* possui ferramentas de modelagem de transporte que são focadas no modelo quatro etapas, sendo elas: preparação da rede de transporte, calibração e aplicação do modelo gravitacional de distribuição de viagens e alocação de tráfego. Possui também ferramentas GIS que permitem a personalização de ferramentas e operações GIS tradicionais para atender às necessidades de modelagem de transporte.⁵

² <<http://qgis.pt/>>

³ <<https://www.linkedin.com/in/pedrocamargo/>>

⁴ <https://ncsmart.asu.edu/wp-content/uploads/2015/11/ASU_transport_seminar_PCamargo_11_13_2015.pdf>

⁵ <https://2015.foss4g-na.org/sites/default/files/slides/AequilibraE-FOSS4G-NA-2015_PCamargo.pdf>

3 ÁREA DE ESTUDO

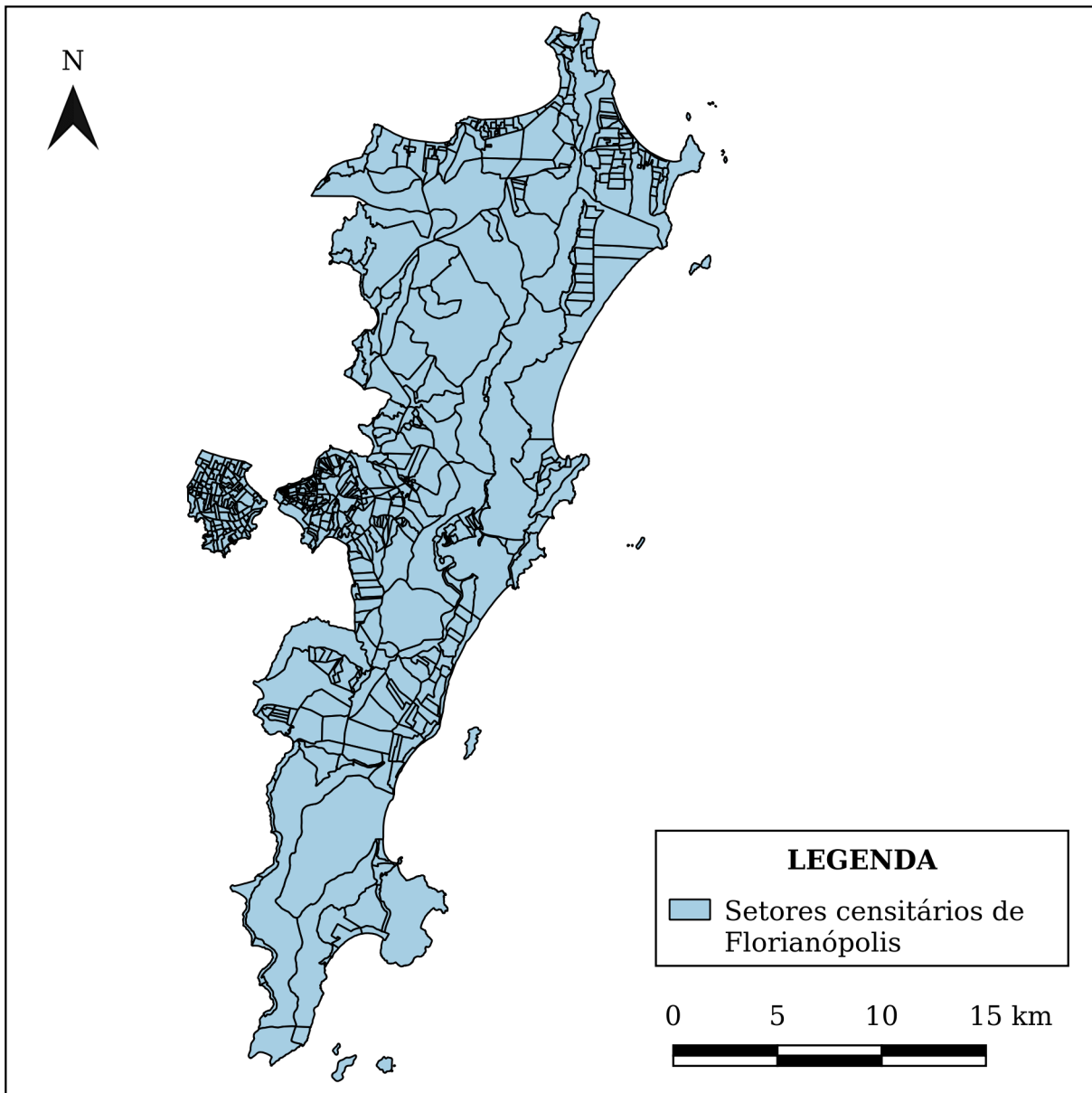
A área de estudo (Figura 3.1) proposta por este trabalho compreende o município de Florianópolis no estado de Santa Catarina. Florianópolis situa-se na região sul do Brasil, sendo a capital do estado de Santa Catarina. Em termos territoriais o município é composto por uma parte continental do estado, pela ilha de Santa Catarina e por algumas pequenas ilhas circundantes. O município está dividido administrativamente em 12 distritos, 89 bairros e 651 setores censitários (Figura 3.2). Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010), a área da unidade territorial do município em 2016 era de 675.409 quilômetros quadrados.

Figura 3.1: Representação da área de estudo.



Fonte: Elaboração própria (Fonte dados: IBGE)

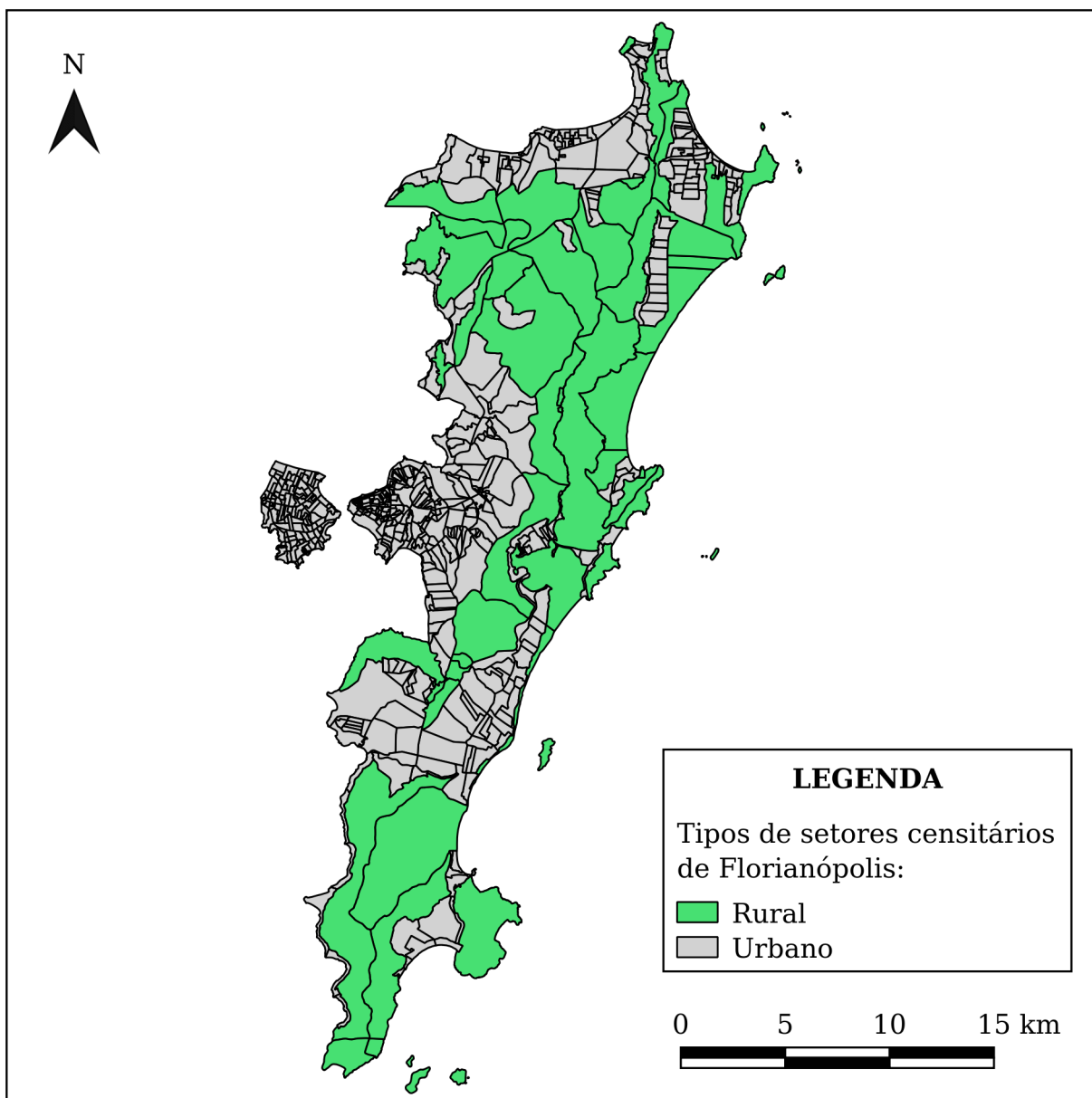
Figura 3.2: Representação da divisão censitária de Florianópolis.



Fonte: Elaboração própria (Fonte dados: IBGE)

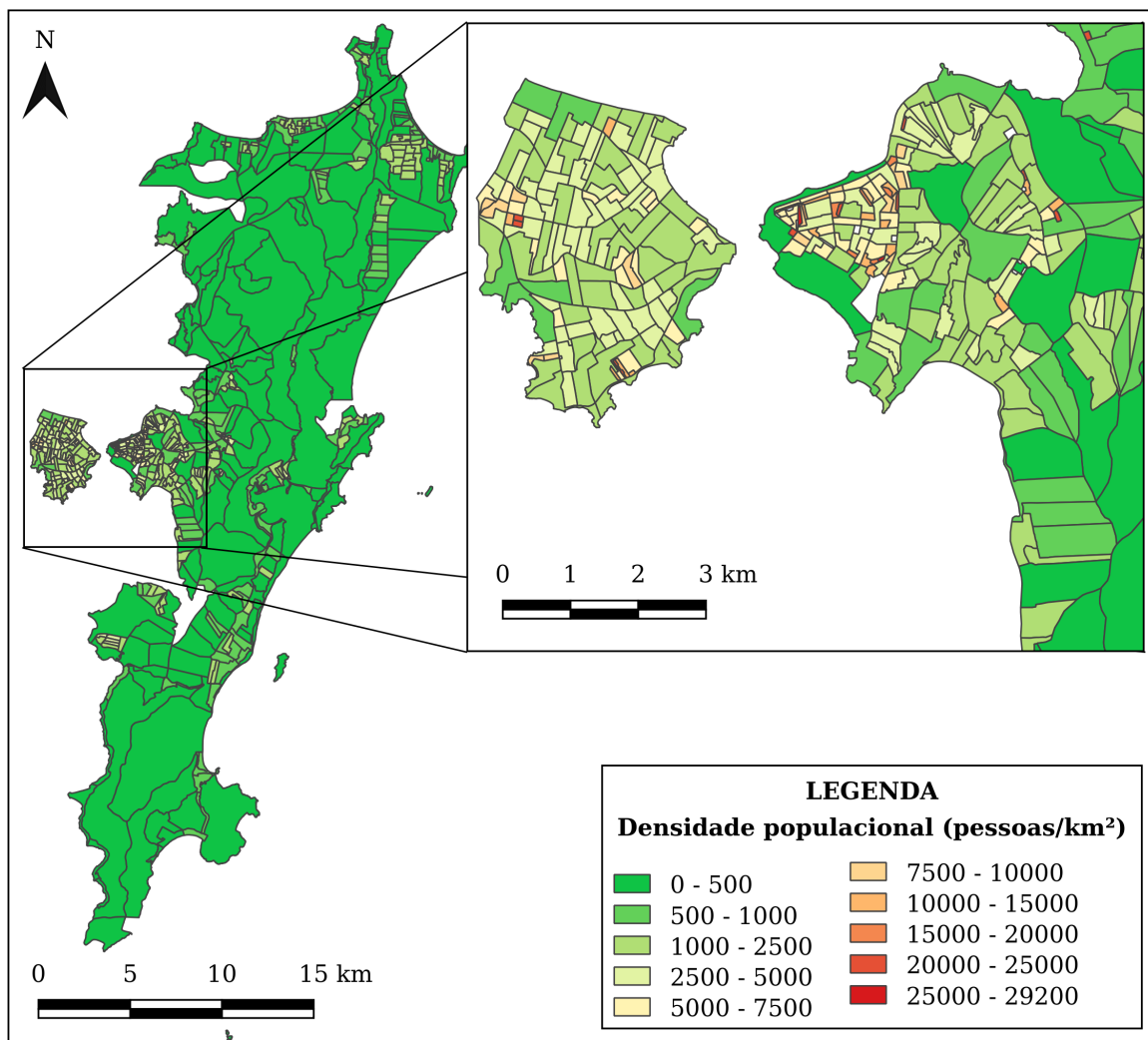
A ocupação de Florianópolis tende a apresentar manchas urbanas descontínuas, como pode ser observado na Figura 3.3. Este espaçamento se dá pelo crescimento urbano irregular dependente das condições geográficas locais, parte no continente e parte na ilha, repleta de morros, lagoas e dunas. Como pode ser observado na Figura 3.4 as áreas com maior densidade populacional são os entornos do centro e a parte continental. Outro local que é mais ocupado, comparado as demais regiões restantes, é o norte da ilha.

Figura 3.3: Mapa da divisão censitária de Florianópolis classificada por tipo rural e urbano.



Fonte: Elaboração própria (Fonte dados: IBGE)

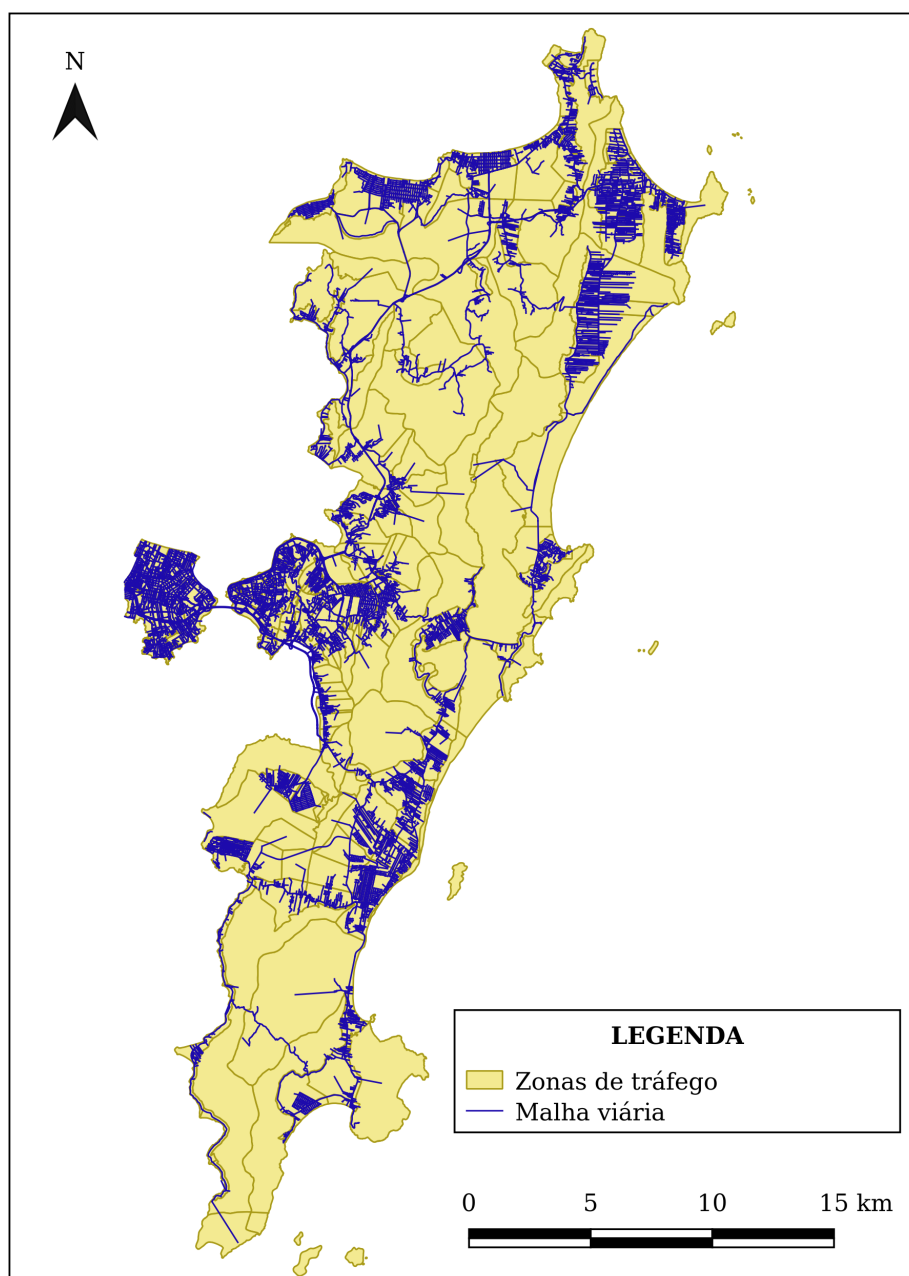
Figura 3.4: Representação da densidade populacional de Florianópolis.



Fonte: Elaboração própria (Fonte dados: IBGE)

Um estudo de Medeiros (2006) aponta Florianópolis como tendo a pior malha viária (Figura 3.5) entre 21 capitais brasileiras estudadas e a segunda pior malha do mundo em um universo de 164 núcleos urbanos. Um dos principais critérios analisados foi a conectividade para cada uma das vias das cidades em estudo, isto é, a representação numérica do quão acessível é determinada rua ou avenida em relação às demais.

Figura 3.5: Representação da malha viária de Florianópolis.



Fonte: Elaboração própria (Fonte dados: IBGE e OpenStreetMap)

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (2010), em 2010, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de Florianópolis era igual a 0,847, dentro da faixa de desenvolvimento humano muito alto (IDHM entre 0,800 e 1). Com este índice o município ocupa a terceira posição do *ranking*

IDHM entre os 5.565 municípios brasileiros, perdendo apenas para dois municípios de São Paulo. O IDHM é composto por três indicadores: longevidade, educação e renda. Este índice pode ser considerado um dos fatores atrativos para se morar no município, contribuindo para o aumento da população de Florianópolis.

Segundo o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (2013), entre 2000 e 2010, a população de Florianópolis cresceu a uma taxa média anual de 2,09%, enquanto, no mesmo período, o crescimento no Brasil foi de 1,17%. Nesta década, a taxa de urbanização do município passou de 96,93% para 96,21%. Conforme dados do último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010), em 2010, a população do município de Florianópolis era de 421.240 pessoas. Naquele ano, Florianópolis era o quadragésimo sétimo município com maior população do Brasil e o segundo de Santa Catarina, atrás apenas de Joinville.

A economia de Florianópolis é voltada para o comércio, turismo, serviços, construção civil, indústria de transformação, tecnologia da informação e vestuário. Tais atividades geram deslocamentos diários entre casa e trabalho tanto dos moradores do próprio município quanto dos moradores dos municípios vizinhos. O município possui polos geradores de tráfego como o Aeroporto Internacional Hercílio Luz (FLN), algumas universidades, entre as quais a sede da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – fundada em 1960, sendo que constantemente sofre ampliação – e a sede da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) – fundada em 1965 –, sedes de órgãos responsáveis pela administração e segurança pública do estado, conjuntos empresariais e alguns shoppings centers.

Para efeito deste estudo definiu-se o cordão externo da área de estudo conforme o limite administrativo do município de Florianópolis. As zonas de tráfego foram delimitadas de acordo com a divisão censitária e os centroides foram definidos como sendo o centro geométrico da área de cada zona. Tem-se o conhecimento de que esta não é a melhor forma de definir a posição de um centroide e uma boa forma seria, por exemplo, dentro da zona de tráfego definir uma área de maior densidade populacional e alocar um ponto dentro desta área para representar o centroide. Porém, como a densidade populacional obtida para esta trabalho está em nível de setor censitário optou-se pela utilização do centro geométrico da área de cada zona. Considerou-se também apenas as viagens realizadas entre as zonas de tráfego internas ao cordão externo. O problema desta consideração é que a influência dos geradores de tráfego externos está sendo desconsiderada e esses, na prática, podem estar gerando fluxos significativos de tráfego para a área em estudo. Porém, dado o objetivo deste trabalho optou-se por manter tal consideração. A Tabela 3.1 apresenta um resumo da delimitação da área de estudo e a Tabela 3.2 expõe a quantidade de zonas de tráfego por bairro do município.

Tabela 3.1: Tabela resumo da delimitação da área de estudo.

Cordão externo	limite administrativo do município
Zonas de tráfego	divisão censitária
Centroides	centro geométrico da área da zona de tráfego
Quantidade de zonas de tráfego e de centroides	651
Viagens consideradas	internas a zona de tráfego

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3.2: Tabela do número de zonas de tráfego por bairro de Florianópolis.

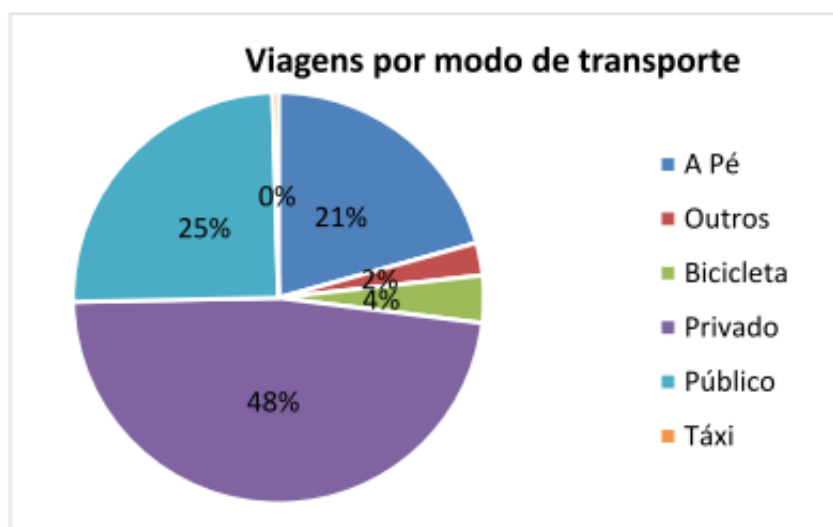
Bairro	Nº zonas	Bairro	Nº zonas	Bairro	Nº zonas
Centro	88	Inglese Sul	6	Sambaqui	2
Trindade	29	Saco Grande	6	Santo Antônio	2
Itacorubi	27	Vargem Grande	6	Autódromo	1
Capoeiras	26	Campeche Leste	5	Barra do Sambaqui	1
Agronômica	21	Carianos	5	Base Aérea	1
Coqueiros	21	Inglese Norte	5	Cacupé	1
Canasvieiras	19	Jurerê Oeste	5	Caiacanga	1
Saco dos Limões	18	Rio Tavares Central	5	Caieira	1
Jardim Atlântico	17	Campeche Central	4	Campus	1
Córrego Grande	16	Campeche Norte	4	Canto da Lagoa	1
Capivari	13	Campeche Sul	4	Canto do Lamim	1
Monte Cristo	13	José Mendes	4	Canto dos Araçás	1
Costeira do Pirajubaé	11	Porto da Lagoa	4	Costeira do Ribeirão	1
Estreito	11	Praia Brava	4	Dunas da Lagoa	1
Jurerê Leste	11	Ressacada	4	Forte	1
Rio Vermelho	11	Armação	3	Jurerê	1
Abraão	10	Bom Abrigo	3	Lagoinha do Norte	1
Inglese Centro	10	Itaguaçu	3	Moenda	1
Canto	9	Lagoa Pequena	3	Morro das Pedras	1
Lagoa	9	Pântano do Sul	3	Morro do Peralta	1
Balneário	8	Rio Tavares do Norte	3	Pedregal	1
Monte Verde	8	Santa Mônica	3	Praia Mole	1
Tapera da Base	8	Vargem do Bom Jesus	3	Ratones	1
Barra da Lagoa	7	Açores	2	Recanto dos Açores	1
João Paulo	7	Alto Ribeirão	2	Retiro	1
Pantanal	7	Alto Ribeirão Leste	2	Rio das Pacas	1
Ponta das Canas	7	Cachoeira do Bom Jesus Leste	2	Tapera	1
Santinho	7	Daniela	2	Vargem de Fora	1
Cachoeira do Bom Jesus	6	Pedrita	2	Vargem Pequena	1
Coloninha	6	Ribeirão da Ilha	2		

Fonte: Elaboração própria

Para a realização deste trabalho será utilizada a matriz resultante das pesquisas domiciliares de origem-destino (O-D) do Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis (PLAMUS) elaborado por uma consultoria contratada pelo Governo do Estado de Santa Catarina. Este plano abrange o estudo de 13 municípios da Grande Florianópolis. Porém, os dados extraídos foram restringidos ao município de Florianópolis, ou seja, foram utilizadas apenas as viagens que tem tanto a origem quanto o destino neste município. A pesquisa de O-D foi realizada pelo método de entrevista domiciliar no período de 10 de abril a 12 de julho de 2014, sendo suspensa em dias atípicos (dias envolvendo greve de ônibus, jogos do Brasil na copa do mundo e feriados) – pois a rotina das pessoas é alterada. Para o município de Florianópolis a pesquisa foi realizada em uma amostra de 3004 domicílios, sorteados com base em uma lista de endereços disponível no portal do IBGE. Os entrevistadores utilizaram *tablets* para realizar a pesquisa, com o questionário em um aplicativo criado especificamente para o PLAMUS. Dentre as informações por eles coletadas destacam-se: bairro de origem e de destino das viagens, os horários de chegada e saída, motivo da viagem e modos de transporte utilizados para a realização da viagem (Governo de Santa Catarina, 2014).

Segundo Governo de Santa Catarina (2014), o principal meio de deslocamento utilizado na região metropolitana de Florianópolis é o automóvel, meio de transporte privado individual, como pode ser observado na Figura 3.6. Em segundo lugar tem-se o uso de ônibus, único meio de transporte público no município. Desde 2014, o transporte coletivo por ônibus é operado pelo Consórcio Fênix com um Sistema Integrado de Transporte (SIM). A integração em tal sistema funciona de maneira que os usuários que utilizam o cartão magnético em uma determinada linha de ônibus podem embarcar em outra linha sem pagar a passagem.

Figura 3.6: Gráfico representando a divisão modal para a região da Grande Florianópolis.

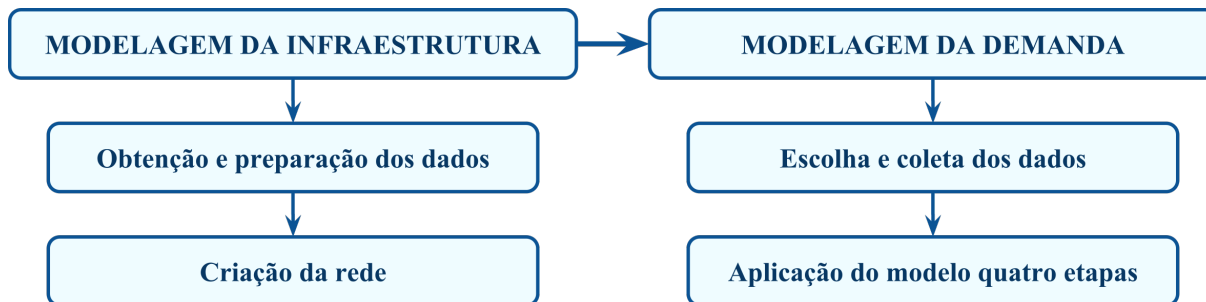


Fonte: Governo de Santa Catarina (2014)

4 MÉTODO

Este capítulo refere-se ao método adotado para a execução deste trabalho. Ele pode ser resumido pelo fluxograma da Figura 4.1.

Figura 4.1: Método de realização do trabalho.

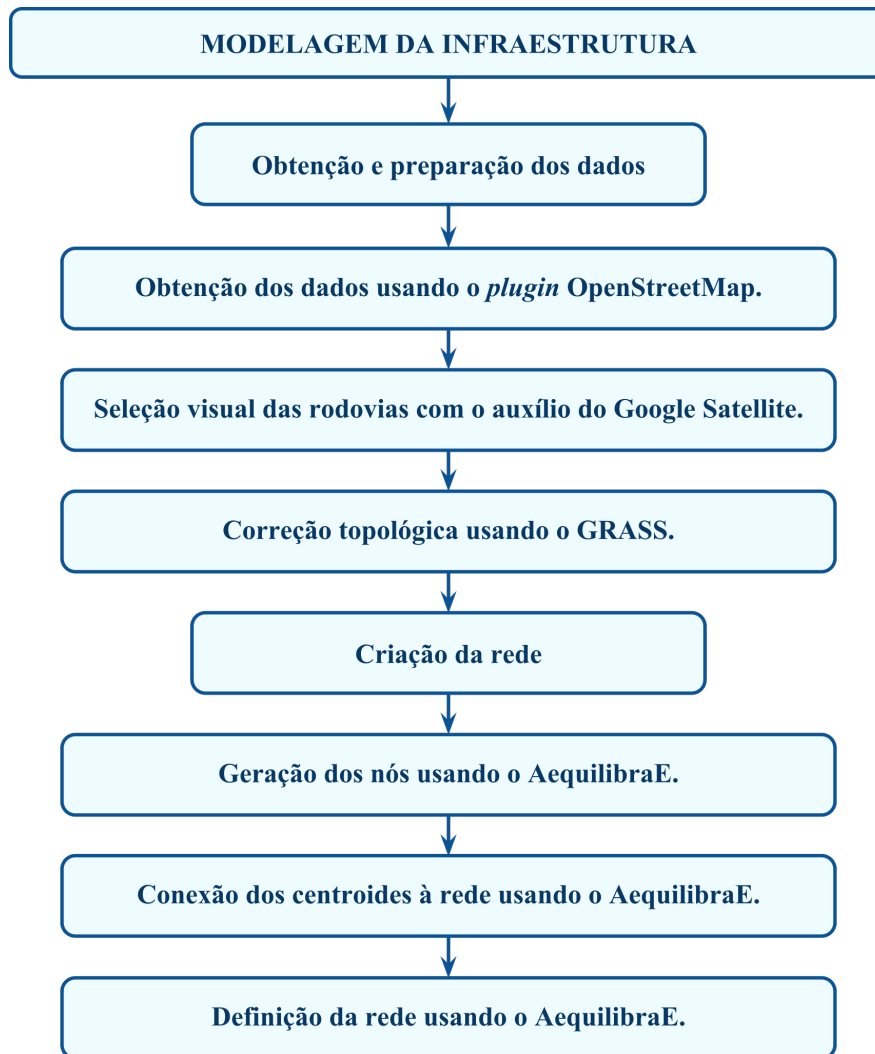


Fonte: Elaboração própria

4.1 MODELAGEM DA INFRAESTRUTURA

A modelagem da infraestrutura é representada por um modelo de grafo orientado criado com o auxílio do programa Quantum GIS. O método para a modelagem da infraestrutura se divide em duas etapas que estão descritas nas subseções 4.1.1 e 4.1.2 e representadas no fluxograma da Figura 4.2.

Figura 4.2: Método de realização da modelagem da infraestrutura.



Fonte: Elaboração própria

4.1.1 Obtenção e preparação dos dados

Da base georreferenciada do *plugin* OpenStreetMap (OSM) são obtidas as informações a respeito da infraestrutura viária de Florianópolis. Deve-se acessar o *plugin* e baixar os dados do OSM para a área de estudo. O arquivo com os dados do OSM contém um conjunto de camadas vetoriais georreferenciadas relacionadas a malha viária e a rotas de ônibus, por exemplo. Deve-se importar para o projeto apenas a camada vetorial com o nome "lines" que representa o sistema viário.

Um dos campos da tabela de atributos da camada vetorial que representa o sistema viário é o tipo de via. As vias de interesse deste estudo são as rodovias. Então, com o auxílio do *plugin* Google Satellite deve-se realizar uma análise visual na malha viária de maneira a excluir quaisquer segmento de linha que não seja uma rodovia. Deve-se excluir, por exemplo, linhas referentes a ciclovias e pistas de caminhada.

Após a preparação dos dados de infraestrutura, usando o *plugin* GRASS faz-se

uma correção topológica do sistema rodoviário. Para isso, são utilizadas as seguintes ferramentas:

- *v.clean.rmline* - ferramenta usada para remover todas as linhas de comprimento igual a zero.
- *v.clean.break* - ferramenta usada para quebrar linhas em cada interseção de vetor.
- *v.clean.snap* - ferramenta usada para aderir linhas ao vértice no limiar (ponto que constitui um limite) com valor limite para limiar de 10 metros.
- *v.out.ogr* - ferramenta usada para exportar a camada de mapa vetorial resultante para *shapefile*. Essa é a extensão dos arquivos vetoriais deste trabalho.

Para a criação do grafo na etapa da alocação, é necessário determinar o tempo de percurso (impedância) e a direção de cada link. Para calcular o tempo, deve-se inicialmente definir o comprimento e a velocidade de circulação dos veículo de cada link. Na tabela de atributos da camada do sistema rodoviário são criados dois novos campo referentes ao comprimento e a velocidade de cada link. Para o cálculo do comprimento usa-se a calculadora de campo da tabela de atributos com a função "\$length" que retorna o comprimento de linhas em metros. Dividi-se este valor por mil para obter o comprimento em quilômetros. Para a determinação da velocidade adota-se a velocidade máxima permitida pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB) de acordo com o tipo de via. Utiliza-se um *script* programado em *Python*, no próprio QGIS, para preencher automaticamente este novo campo conforme o campo tipo de vias. Por fim, com o auxílio da calculadora de campo da tabela de atributos calcula-se o tempo de percurso em minutos dividindo o comprimento pela velocidade e multiplicando o resultado por 60. O CTB estabelece os seguintes limites para vias urbanas¹:

- 80 km/h nas vias de trânsito rápido;
- 60 km/h nas vias arteriais;
- 40 km/h nas vias coletoras;
- 30 km/h nas vias locais

A determinação da direção de cada link se dá com base no campo "outros" da tabela de atributos da camada do sistema rodoviário (obtida no OpenStreetMap). Cria-se um novo campo referente a direção que é preenchido com os valores 0 (bidirecional) ou 1 (sentido único). Para isso, verifica-se no campo "outros" se o link é mão-única (*one way*) ou não. Caso sim preencha com 1, caso não com 0. A verificação do sentido pode ser realizada com o auxílio do *LibreOffice Calc*.

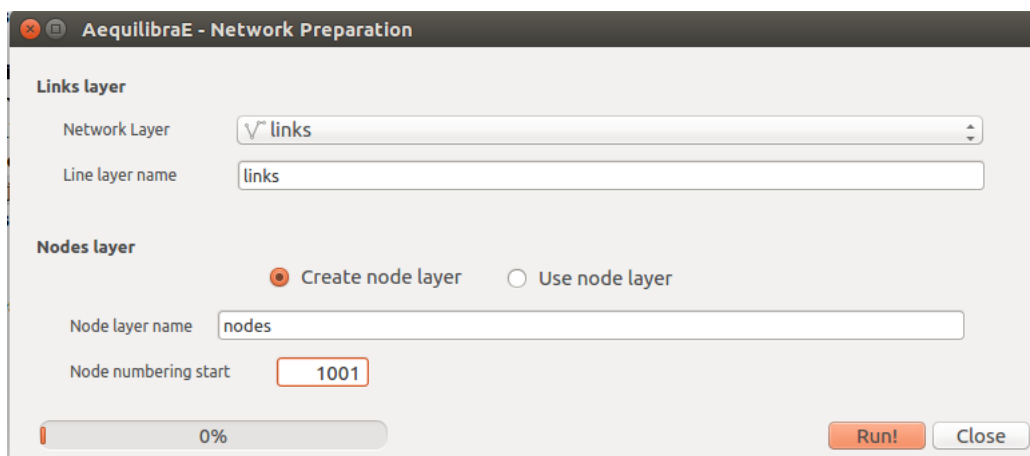
¹ < <http://portaldotransito.com.br/noticias/voce-sabe-como-e-determinada-a-velocidade-maxima-das-ro> >

4.1.2 Criação da rede

Para preparar e construir a rede de transporte é utilizada a ferramenta de manipulação de rede do *plugin* AequilibraE conforme os passos a seguir:

- No QGIS acessar o menu AequilibraE e executar o caminho: manipulação da rede/preparar a rede. Este passo serve para criação de camadas vetoriais dos links e dos nós. Deve-se preparar a rede conforme a Figura 4.3.

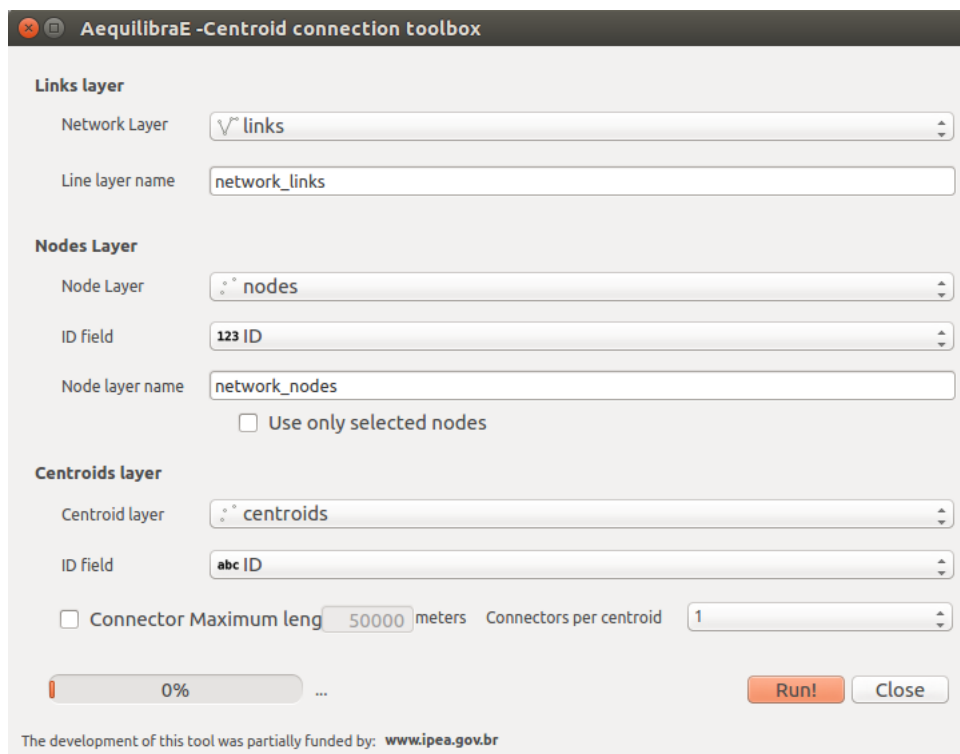
Figura 4.3: Representação da preparação da rede no AequilibraE.



Fonte: Elaboração própria

- No QGIS acessar o menu AequilibraE e executar o caminho: manipulação da rede/conectar os centroides. Este passo serve para conectar o centroide de cada zona ao nó da rede mais próximo dele. Deve-se conectar os centroides conforme a Figura 4.4.

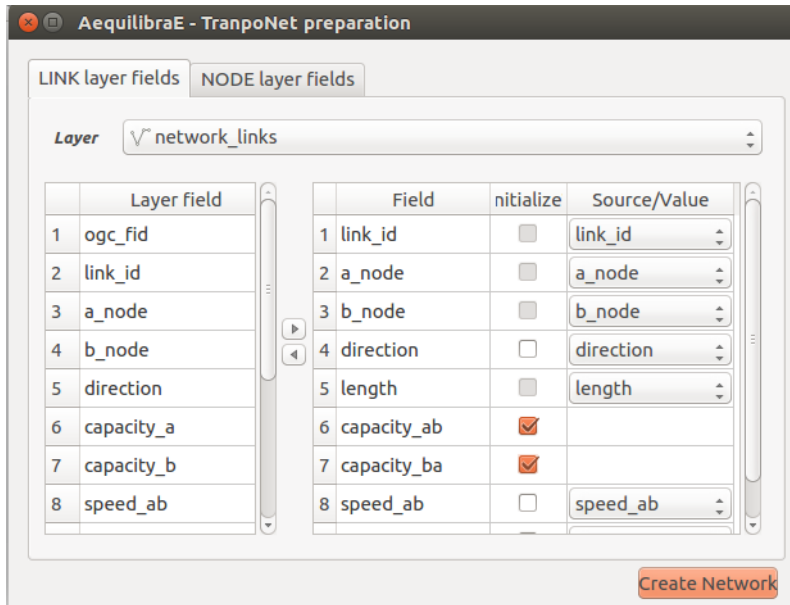
Figura 4.4: Representação da conexão dos centroides no AequilibraE.



Fonte: Elaboração própria

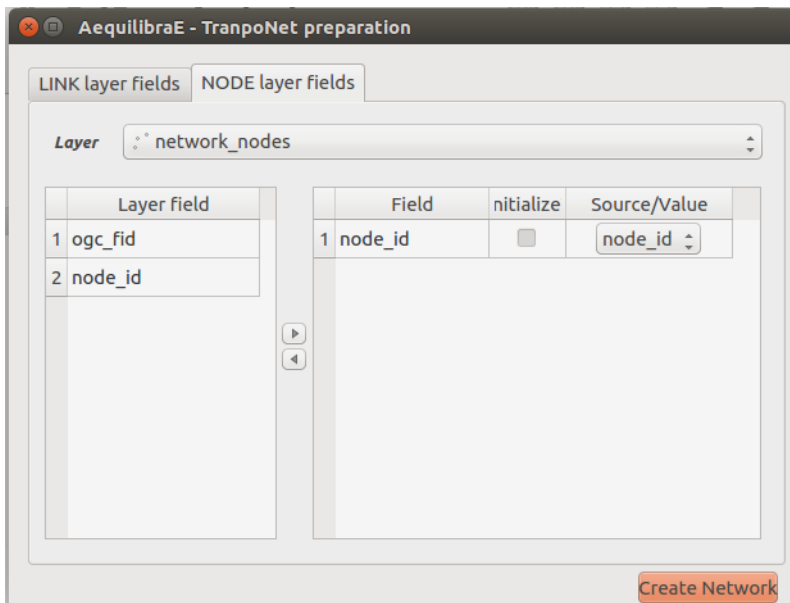
- No QGIS acessar o menu AequilibraE e executar o caminho: manipulação da rede/criar a rede de transporte. Este passo serve para criar as camadas vetoriais da rede que servem de base para criação do grafo. Criar a rede conforme as figuras 4.5 e 4.6. Após isso, abrir o arquivo gerado, conforme a Figura 4.7, e salvar as camadas como camadas de dados vetoriais. Uma das camadas são os links e a outra os nós da rede. Logo, a rede está montada para receber a alocação de tráfego.

Figura 4.5: Representação da criação da rede no AequilibraE.



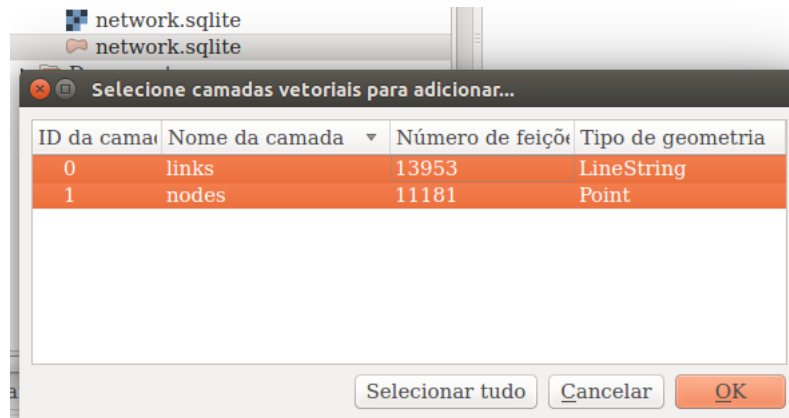
Fonte: Elaboração própria

Figura 4.6: Representação da criação da rede no AequilibraE.



Fonte: Elaboração própria

Figura 4.7: Representação de como abrir o arquivo da rede gerado pelo AequilibraE.

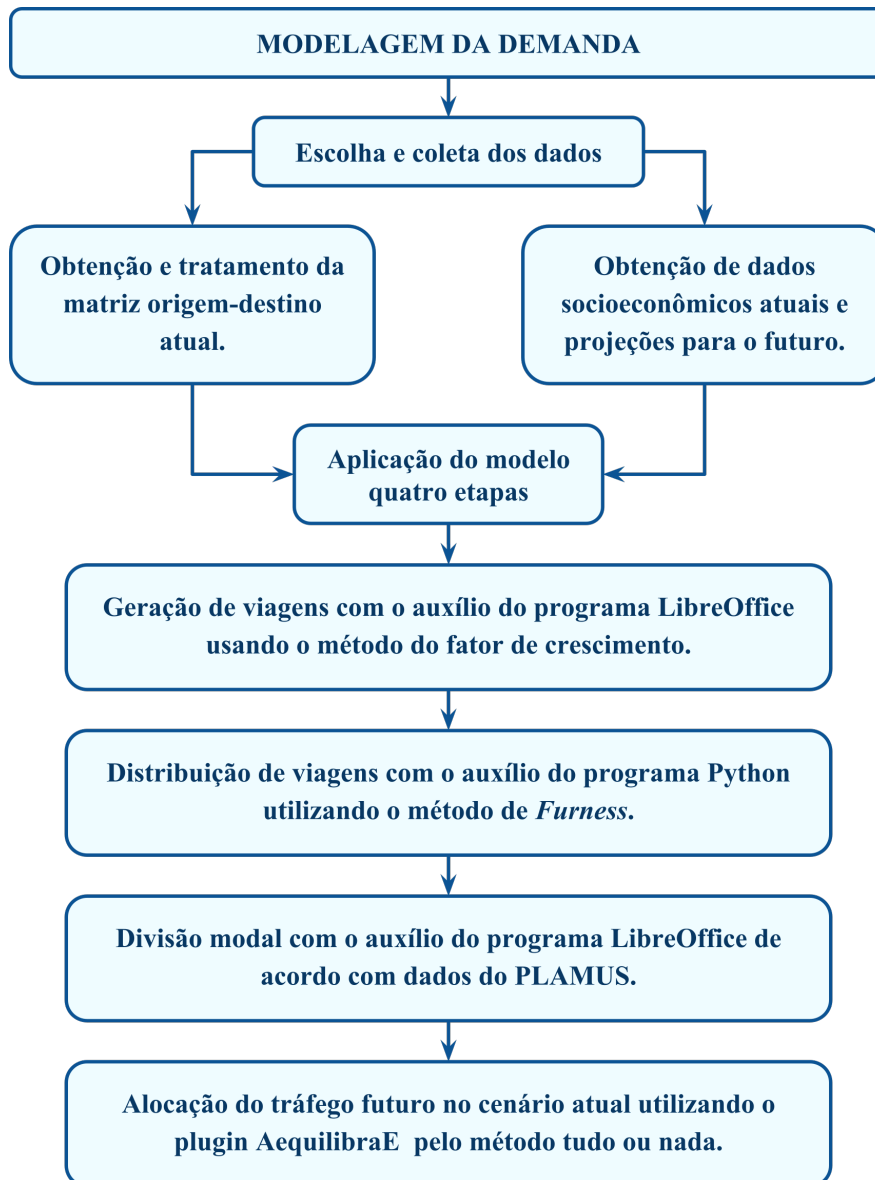


Fonte: Elaboração própria

4.2 MODELAGEM DA DEMANDA

A modelagem da demanda é realizada com o uso do modelo quatro etapas. Para executar tal modelo é necessário a obtenção de dados atuais de demanda por transporte e a projeção destes dados para o futuro. O método para a modelagem da demanda se divide em algumas etapas que estão descritas nas subseções 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6 e 4.2.7 e representadas no fluxograma da Figura 4.8.

Figura 4.8: Método de realização da modelagem da demanda.



Fonte: Elaboração própria

4.2.1 Matriz origem-destino atual

A matriz origem-destino utilizada para o cenário base é a matriz resultante das pesquisas domiciliares de origem-destino do Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis (PLAMUS), porém com processamento específico afim de conhecer a produção e atração atual de cada zona de tráfego da área de estudo. Neste trabalho é considerada a definição mais frequente de viagens produzidas e atraídas, na qual viagens produzidas em uma zona de tráfego são as viagens que tem como origem a zona de tráfego e viagens atraídas são as que tem como destino.

4.2.2 Dados socioeconômicos atuais

Os dados socioeconômicos atuais são obtidos através dos portais eletrônicos das instituições públicas brasileiras responsáveis por realizar pesquisas estatísticas. No portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) obtém-se dados relativos a população, número de domicílios e renda média dos responsáveis pelos domicílios a partir do censo demográfico. Considera-se que estas variáveis socioeconômicas estão relacionadas a produção de viagens. Por sua vez, a variável socioeconômica relacionada com a atração de viagens é o número de empregos formais no município de Florianópolis. Obtém-se este dado no portal do Ministério do Trabalho.

4.2.3 Projeção dos dados socioeconômicos

Os dados socioeconômicos precisam ser projetados para o futuro para serem utilizados na etapa de geração de viagens. No portal do IBGE obtém-se dados relativos a população, número de domicílios e renda média dos responsáveis pelos domicílios a partir dos censos demográficos de 2000 e de 2010. Estas variáveis estão organizadas em nível territorial de setor censitário, divisão da área de estudo em questão. Assim, deve-se projetar linearmente os dados destas variáveis para o ano base (2014) e para o futuro em um horizonte de projeto de 10 anos (2024), plano de médio a longo prazo.

No portal do Ministério do Trabalho obtém-se o número de empregos formais no município de Florianópolis nos anos de 2015 e de 2016. Estas variáveis estão organizadas em nível territorial de município. Então, ponderações devem ser realizadas com a finalidade de distribuir o valor desta variável em nível de setor censitário. Depois de realizada a distribuição, deve-se projetar linearmente os dados desta variável para o ano base (2014) e para o futuro (2024).

4.2.4 Geração de viagens

Após a coleta e o processamento dos dados, inicia-se a aplicação do modelo quatro etapas. A etapa da geração de geração de viagens é realizada com o auxílio do programa *LibreOffice Calc*. Os métodos de geração que podem ser empregados quando se tem dados agregados são o método de regressão e o método do fator de crescimento, descritos na Seção 2.2.1. O método de regressão é mais usual, porém deve-se avaliar a qualidade do ajuste deste método através do coeficiente de determinação R^2 . Basicamente, este coeficiente indica quanto o modelo foi capaz de explicar os dados coletados. Quanto mais próximo de 1 é o valor do R^2 mais bem representado está o modelo.

4.2.5 Distribuição de viagens

A etapa da distribuição de viagens é realizada com o auxílio de um *script* programado em *Python*. Nesta etapa podem ser empregados tanto o método do fator médio

de crescimento quanto o método de *Furness*, descritos na Seção 2.2.2. Opta-se por utilizar o método de *Furness*, pois diferente do método do fator médio de crescimento que considera apenas o fator de crescimento da produção, ele leva em consideração tanto o fator de crescimento da produção quanto o da atração.

4.2.6 Divisão modal

A etapa da divisão modal é realizada com o auxílio do programa *LibreOffice Calc* a partir da informação a respeito da porcentagem de utilização do automóvel presente no relatório 8.5 do PLAMUS (Governo de Santa Catarina (2014)) e da informação da taxa de ocupação dos automóveis particulares no Brasil que oscila em torno de 1,5 pessoa por carro².

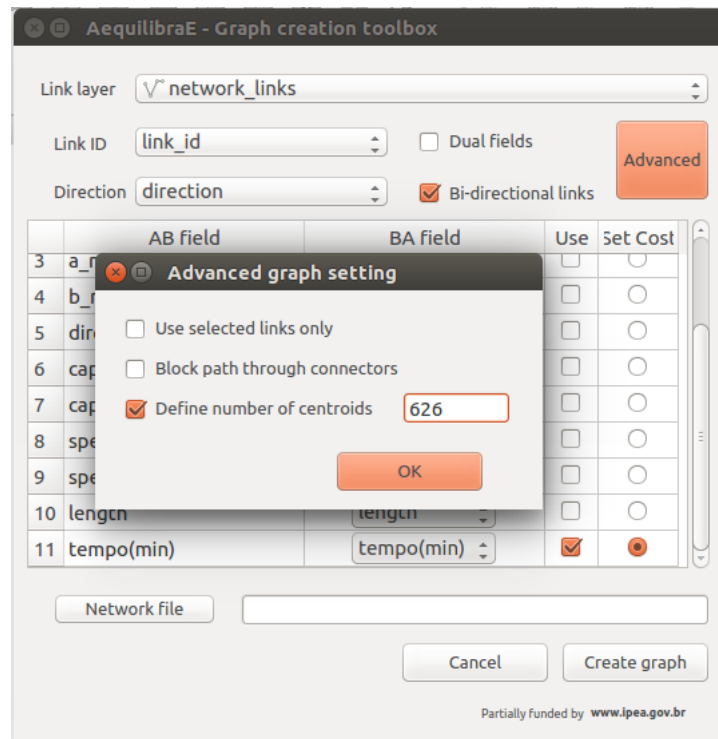
4.2.7 Alocação do tráfego futuro no cenário atual

A etapa da alocação do tráfego futuro no cenário atual é executada no *plugin* *AequilibraE* usando como base a na rede de transporte gerada na modelagem da infraestrutura é aplicado o método tudo ou nada. A seguir encontram-se os passos necessários para realizar a alocação utilizando o *AequilibraE*.

1. A etapa de alocação de tráfego no *plugin* *AequilibraE* requer a criação do grafo. Para isso, deve-se acessar o menu *AequilibraE* e executar o caminho: caminhos e alocação/criar o grafo. Esse é criado conforme a Figura 4.9.

²<<http://www.mobilize.org.br/noticias/9471/seja-racional-va-de-carona.html>>

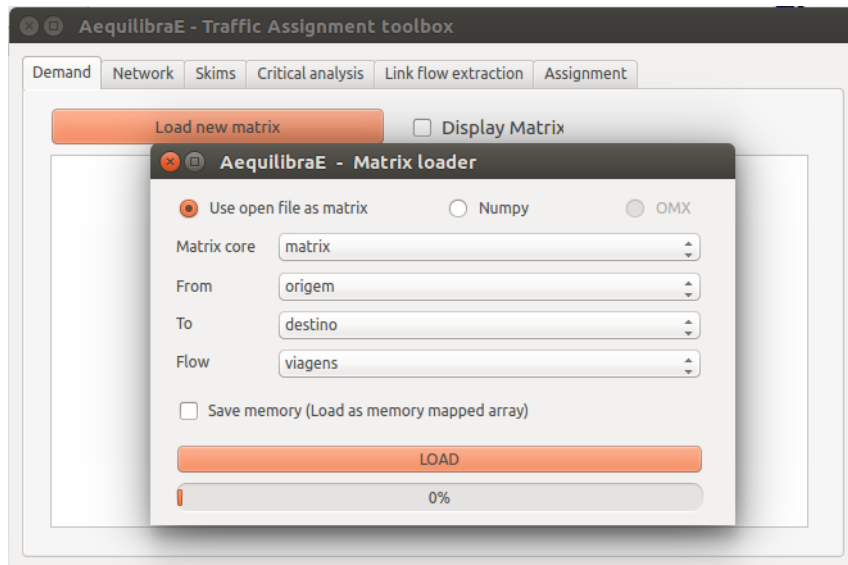
Figura 4.9: Representação da criação do grafo no AequilibraE.



Fonte: Elaboração própria

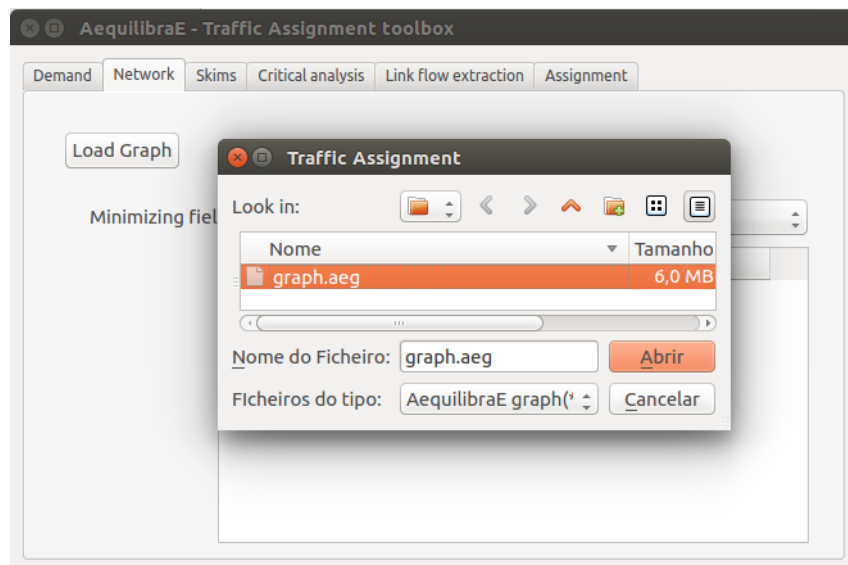
2. Para realizar a alocação tudo ou nada deve-se acessar o menu AequilibraE e executar o caminho: caminhos e alocação/alocação de tráfego. Uma *toolbox* é aberta e deve-se proceder de acordo com os passos das figuras 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13. Primeiro carrega-se a matriz O-D estimada para o modo de transporte automóvel (Figura 4.10). Em seguida, carrega-se o grafo (Figura 4.11). Depois, escolhe-se o atributo de custo mínimo, neste caso o tempo (Figura 4.12). E, por fim, executa-se o método de alocação (Figura 4.13).

Figura 4.10: Representação do carregamento da matriz O-D para execução do tudo ou nada no AequilibraE.



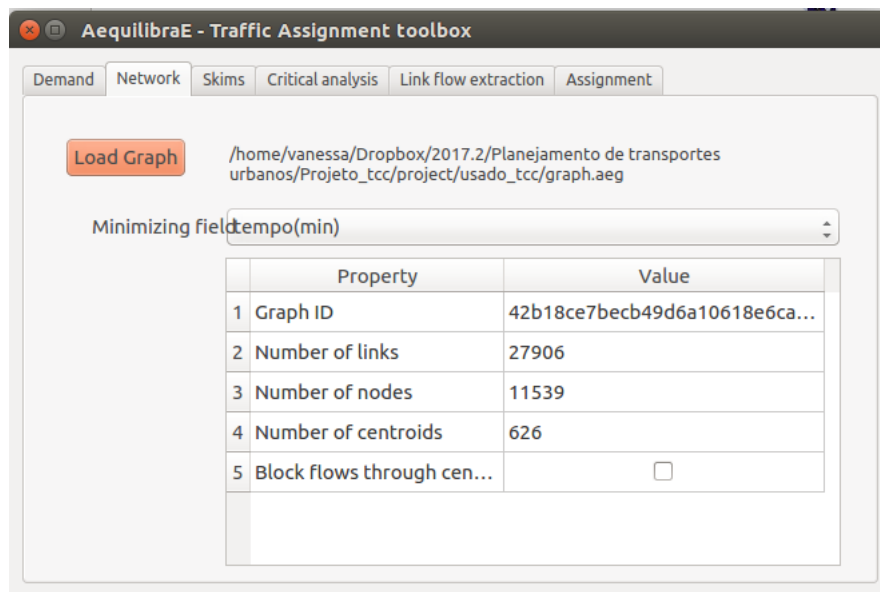
Fonte: Elaboração própria

Figura 4.11: Representação do carregamento do grafo para execução do tudo ou nada no AequilibraE.



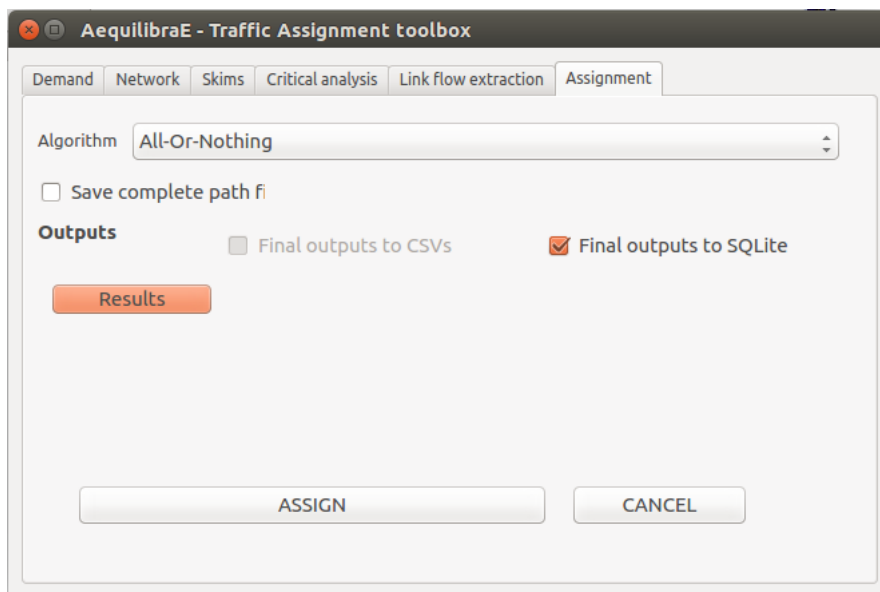
Fonte: Elaboração própria

Figura 4.12: Representação da escolha do atributo de custo mínimo para execução do tudo ou nada no AequilibraE.



Fonte: Elaboração própria

Figura 4.13: Representação de como salvar os resultados de alocação tudo ou nada no AequilibraE.



Fonte: Elaboração própria

3. O resultado está disposto em uma tabela como mostra a Figura 4.14.

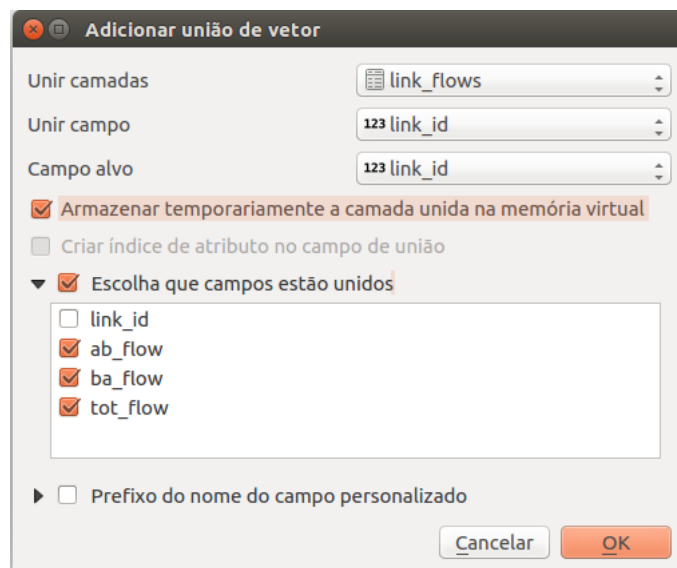
Figura 4.14: Representação do resultado de alocação tudo ou nada no AequilibraE.

	link_id	ab_flow	ba_flow	tot_flow
1	0	0	0	0
2	1	1909	1395	3304
3	2	934	298	1232
4	3	1963	5470	7433
5	4	550	822	1372
6	5	5499	20405	25904
7	6	1170	1279	2449
8	7	266	369	635
9	8	1909	1395	3304
10	9	1049	0	1049
11	10	0	0	0
12	11	2477	362	2839
13	12	2477	362	2839

Fonte: Elaboração própria

4. Uma opção de utilização deste resultado é unir seus atributos a camada vetorial de links da rede, conforme mostra a Figura 4.15, e alterar a propriedade de estilos da camada de modo a visualizar os fluxos totais nos links.

Figura 4.15: Representação da união da camada links com o resultado da alocação.



Fonte: Elaboração própria

5 APLICAÇÃO DO MÉTODO

Neste capítulo são apresentadas as aplicações dos passos descritos no Capítulo 4 para aplicar o modelo quatro etapas na área de estudo.

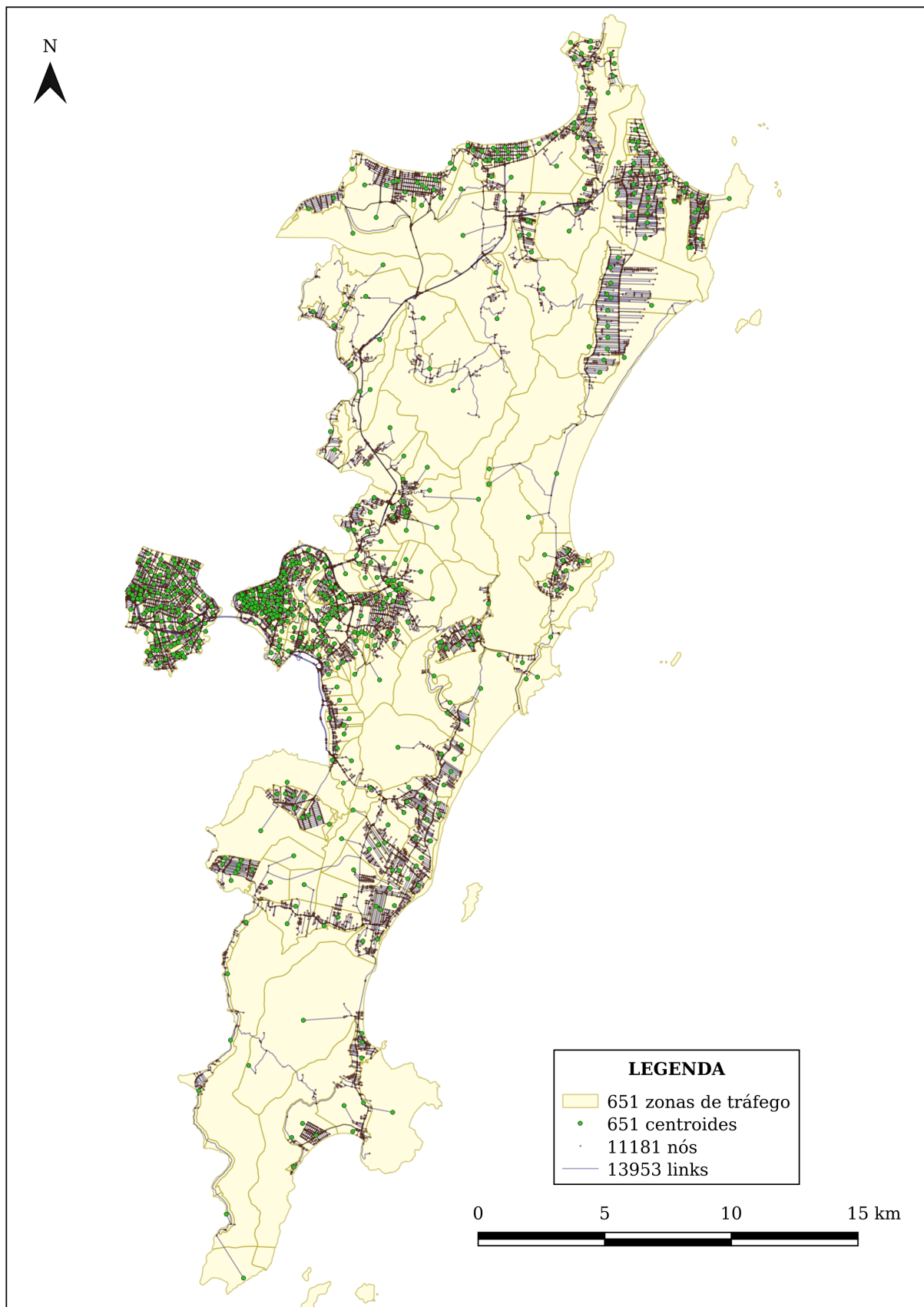
5.1 MODELAGEM DA INFRAESTRUTURA

A modelagem da infraestrutura representa a oferta de transporte. Neste trabalho a modelagem da infraestrutura do município de Florianópolis foi realizada com o uso do *software* Quantum GIS (QGIS). A versão do QGIS utilizada foi a 2.18.12. Além das operações básicas da ferramenta, os seguintes complementos foram utilizados:

- *AequilibraE* (versão 0.3.5.8): pacote de ferramentas utilizado para a preparação da rede de transporte rodoviário e para a alocação de viagens.
- *GRASS (Geographic Resources Analysis Support System)* (versão 2.0): pacote de ferramentas utilizado para correção topológica da infraestrutura.
- *OpenLayers Plugin* (versão 1.4.5): dentre os *plugins* disponíveis neste complemento utilizou-se o *plugin* *OpenStreetMap* para obtenção da malha viária.

Seguindo os passos descritos nas subseções 4.1.1 e 4.1.2 do método de modelagem da infraestrutura obteve-se a rede rodoviária exposta na (Figura 5.1).

Figura 5.1: Mapa da rede rodoviária de Florianópolis modelada no QGIS.



Fonte: Elaboração própria

5.2 MODELAGEM DA DEMANDA

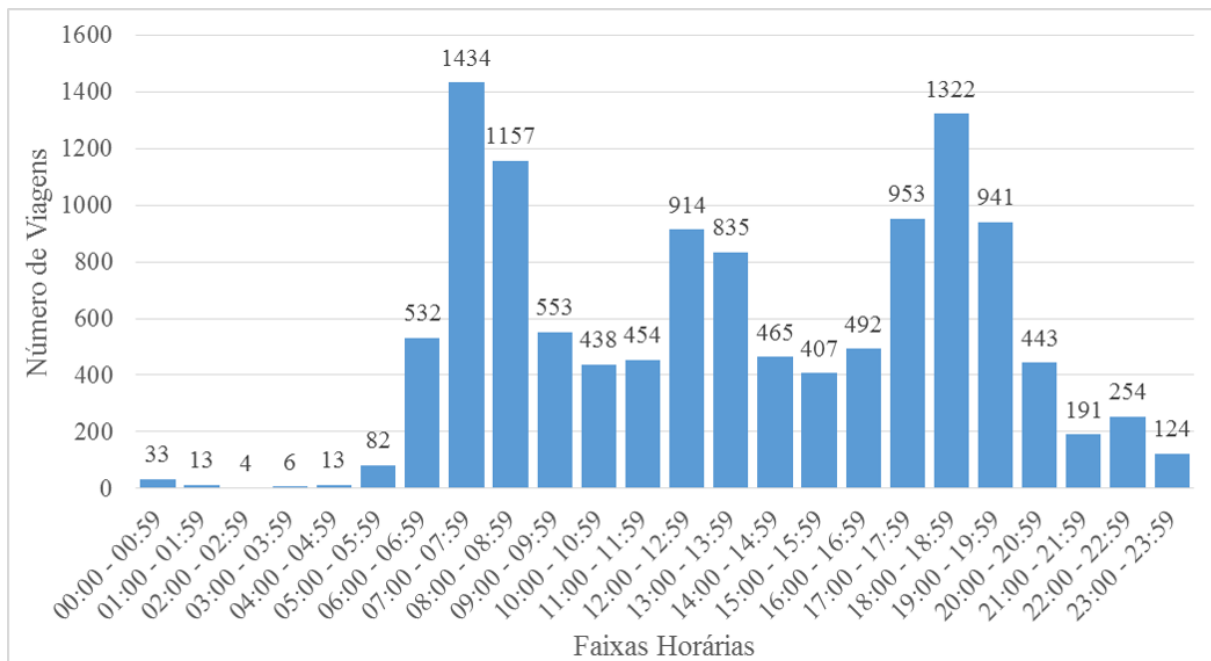
Os deslocamentos das pessoas e de cargas de um ponto para outro representam a demanda por transporte. Para realizar a estimativa da demanda utilizou-se o modelo quatro etapas de transporte. Para a aplicação do modelo quatro etapas, fez-se necessário a obtenção da matriz origem-destino atual e um levantamento de dados socioeconômicos da área de estudo. Apesar do trabalho ser baseado em uma área de estudo real quanto ao espaço, algumas considerações são assumidas em relação aos dados de demanda.

5.2.1 Matriz origem-destino atual

Utilizou-se a matriz origem-destino resultante das pesquisas domiciliares do Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis (PLAMUS) elaborado pelo Governo de Santa Catarina disposta em um planilha eletrônica. Como o PLAMUS abrange 13 municípios da Grande Florianópolis, foram filtrados os dados de viagens com origem e destino no município de Florianópolis. Dentre as informações apresentadas na planilha tem-se: código de identificação do morador, bairro de origem e de destino das viagens, os horários de chegada e saída, motivo da viagem e modos de transporte utilizados para a realização da viagem. Sendo que cada linha da tabela representa uma viagem.

Inicialmente, excluiu-se da planilha as viagens que não possuíam um modo de transporte a ser alocado na rede rodoviária, por exemplo, as viagens realizadas à pé e de bicicleta. Depois disso, com os horários de saída e chegada de cada viagem criou-se um gráfico (Figura 5.2) com o número de viagens por hora para obtenção da hora de pico. Na criação deste gráfico foram consideradas todas as viagens com interseção em determinado intervalo horário. Analisando o gráfico observou-se que a faixa horária que tem o maior número de viagens é entre 7 e 8 horas da manhã. Assim, o intervalo de tempo utilizado para estimar a demanda será esse.

Figura 5.2: Gráfico do número de viagens por hora realizadas entre os bairros de Florianópolis.



Fonte: (Governo de Santa Catarina, 2014)

Conhecendo a hora de pico, na planilha filtrou-se apenas as viagens que tinham horários com interseção entre 7 e 8 horas da manhã. Após isso, realizou-se a expansão da matriz de acordo com os fatores de expansão de viagens dados pelo PLAMUS. Esses fatores variavam de acordo com o motivo da viagem e o modo de transporte. Por fim, obteve-se uma primeira versão da matriz O-D com origens e destinos em nível espacial de bairro. Devido a divisão da área de estudo deste trabalho obedecer a divisão censitária, fez-se necessário ajustar a matriz O-D com origens e destinos em nível espacial de bairro para uma matriz O-D com origens e destinos em nível espacial de setores censitários. Em um primeiro momento, pensou-se em distribuir as viagens de um bairro de origem para um bairro de destino considerando todas as possíveis ligações de cada setor censitário do bairro de origem para cada setor censitário do bairro de destino de acordo com a população destes. Porém, zonas de tráfego com densidade populacional baixa ou nula estavam sendo considerados nesta distribuição, possivelmente apresentando um número de viagens para estas zonas diferente do real. Com o intuito de reduzir a dimensão da matriz O-D e de desconsiderar as áreas pouco povoadas – geram poucas ou nenhuma viagem –, realizou-se a seguinte consideração:

- Dentro de um bairro a produção e a atração de viagens está diretamente relacionada às áreas com maiores densidades populacionais, pois estas áreas tendem a produzir mais viagens e provavelmente existem empresas e comércios próximos a elas que caracterizam a atração.

- As possíveis origens e destinos dentro de um bairro são os setores censitários com densidade populacional superior ao 80º percentil entre todos os setores deste bairro.

Agora, para distribuir as viagens que ocorrem entre um bairro A e um bairro B para viagens entre setores (zonas) i do bairro A e setores (zonas) j do bairro B realizou-se a ponderação expressa pela Eq. 5.1. Esta expressão foi montada considerando que zonas i do bairro A com maior densidade populacional geram mais viagens e o número de viagens originadas em i e destinadas a j é dividido igualmente pela quantidade de zonas j do bairro B .

$$v_{ij} = V_{AB} \cdot \frac{Pop_{iA}}{M \cdot \sum_{i=1}^N Pop_{iA}} \quad (5.1)$$

Onde,

v_{ij} = número de viagens produzidas pela zona i no bairro A e atraídas pela zona j no bairro B ;

V_{AB} = número viagens totais produzidas pelo bairro A e atraídas pelo bairro B ;

Pop_{iA} = densidade populacional da zona i do bairro A ;

N = número de zonas no bairro A ;

M = número de zonas no bairro B .

Fazendo isso, a Eq. 5.2 deve ser válida.

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M v_{ij} = V_{AB} \quad (5.2)$$

Desse modo, obteve-se uma matriz O-D com origens e destinos em nível espacial de setores censitários.

5.2.2 Dados socioeconômicos atuais

Os dados socioeconômicos são utilizados na primeira etapa do modelo quatro etapas para estimar o número total de viagens produzidas e atraídas por zona de tráfego. Foram utilizados dados dos censos demográficos de 2000 e 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para estimar a produção de viagens. Os dados censitários estão disponíveis para *download* em: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2000) e IBGE (2010). Estes dados estão dispostos em uma planilha onde cada linha representa um setor censitário e seus atributos. Os atributos a serem utilizados neste trabalho foram: número de domicílios, população e renda média por representante dos domicílios. Enquanto que, para estimar a atração de viagens foi utilizado como dado socioeconômico o número de empregos formais no município de Florianópolis nos anos de 2015 e de 2016, extraído do portal do Ministério do Trabalho, Brasil (2016).

Os dados relativos a produção de viagens por já estarem divididos em nível de setor censitário não necessitaram de tratamento para realizar a projeção dos dados socioeconômicos para o ano base e para o ano de projeto. Entretanto, encontrou-se o dado relativo a atração (número de empregos formais) apenas em nível de divisão espacial de município, então algumas considerações tiveram que ser feitas. Para realizar a divisão do número total de empregos por bairro, analisou-se inicialmente se esse possui polos atrativos como universidades, hospitais, shoppings centers, aeroportos, conjuntos empresariais, etc. Esta análise foi feita visualmente através de buscas no Google Maps para cada tipo de polo. Por exemplo, fez-se uma procura por hospitais que resultou na marcação pontual de locais com hospitais. Após isso, realizou-se uma ponderação por pesos de acordo com o grau de atratividade, conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Tabela de pesos para determinação do número de empregos por bairro.

Atratividade	Peso	Descrição da atratividade
Baixa	0,10	nada relevante
Média	0,50	comércio
Alta	1,00	universidade, hospital, aeroporto, shopping center ou conjunto empresarial

Fonte: Elaboração própria

Utilizou-se os pesos para determinar o número total de empregos em cada bairro. Depois disso, dividiu-se igualmente o número de empregos pelo número de setores censitário do bairro. Com isso, obteve-se o número de empregos por setor censitário e assim tornou-se possível realizar a projeção deste dado socioeconômico para o ano base e para o ano de projeto.

5.2.3 Projeções dos dados socioeconômicos

A estimativa futura das variáveis a serem utilizadas no modelo de geração de viagens foi realizada a partir de uma série histórica utilizando projeção linear (Eq. 5.3). Para este trabalho, considerou-se como ano-base o ano de 2014 (ano da pesquisa de origem-destino do PLAMUS) e um horizonte de projeto de 10 anos (2024).

$$D_n = D_0 \cdot (1 + n \cdot a) \quad (5.3)$$

Onde,

D_n = dado socioeconômico no ano de projeto;

D_0 = dado socioeconômico no ano-base;

n = número de anos decorridos após o ano base;

a = taxa de crescimento anual.

Inicialmente obteve-se a taxa de crescimento anual de cada uma das variáveis com base nos anos das informações. Depois, projetou-se os dados para o ano de 2014 (ano-base) e para o ano de 2024 (ano de projeto) para que eles possam ser utilizados na etapa de geração de viagens.

5.2.4 Geração de viagens

Para estimar a produção e atração de viagens futuras havia-se optado pelo método de regressão. Porém, a regressão realizada resultou em um R^2 muito baixo (aproximadamente 0,14). Então, optou-se pela escolha do método do fator de crescimento para a estimativa da geração futura.

O processo para estimar a geração de viagens pelo método do fator de crescimento foi o seguinte:

- Em uma planilha tendo como base a matriz origem-destino atual realizou-se a soma das viagens com origem nas zonas i para obter a produção atual por zona de tráfego e a soma das viagens com destino nas zonas i para obter a atração atual por zona de tráfego.
- Encontrou-se o fator de crescimento de produção e atração para cada zona com base na Eq. 2.2 com as projeções obtidas na Seção 5.2.3. Nesta etapa considerou-se população, número de domicílios e renda média por responsáveis dos domicílios como variáveis relacionadas à produção e número de empregos formais como a variável relacionada à atração.
- Multiplicou-se o fator de crescimento pela produção e atração atual de cada zona afim de obter produção e atração futuras para as zonas.
- Verificou-se a igualdade entre a produção e a atração futura.
- Houve a necessidade do cálculo do fator de ajuste conforme a Eq. 2.4.
- Multiplicou-se o fator de ajuste pelos valores de atração futura de cada zona afim de realizar o ajuste.
- Por fim, obteve-se a produção e a atração futura para cada zona de tráfego.

5.2.5 Distribuição de viagens

O objetivo desta etapa é obter a matriz origem-destino futura. Para isso, programou-se um *script* em *Python* para executar o método de *Furness*. Utilizou-se como base os passos do método, descritos na Seção 2.2.2. Foi considerado um erro de estimativa menor do que 5%, e isso implica que: $0,95 < a_i < 1,05$ e $0,95 < b_j < 1,05$.

Portanto, aplicou-se o método de *Furness* utilizando o *script* e após 4 iterações obteve-se a matriz origem-destino futura, sendo que a_i e b_j encontravam-se dentro do intervalo estabelecido.

5.2.6 Divisão modal

O objetivo desta etapa é obter matrizes origem-destino futuras divididas por modos de transporte. No tratamento da matriz O-D na Seção 5.2.1 filtrou-se apenas as viagens realizadas de ônibus ou por modos privados (automóveis, táxis, etc.). Segundo Governo de Santa Catarina (2014), o principal meio de deslocamento utilizado na região metropolitana de Florianópolis é o automóvel, meio de transporte privado individual, como pode ser observado na Figura 3.6. Considerou-se que a porcentagem de utilização do automóvel em cada zona do estudo é igual para todas as zonas de tráfego e que esta porcentagem é porcentagem de utilização do automóvel da região metropolitana de Florianópolis, informada no relatório do PLAMUS.

Os meios de locomoção presentes na formação da matriz O-D deste estudo correspondem a 73% do uso. Considerando que o uso do automóvel corresponde a 48% do total, a probabilidade de utilização do automóvel dentro da amostra deste estudo (apenas com ônibus e modos privados) é de 65,75%. O complemento é o transporte público com o percentual de utilização igual a 34,25%. Logo, multiplicou-se cada elemento da matriz O-D futura, obtida na etapa da distribuição, por 0,6575 e obteve-se uma nova matriz. A taxa de ocupação dos automóveis particulares no Brasil oscila em torno de 1,5 pessoa por carro. Então, dividiu-se cada elemento desta matriz por 1,5 para se obter o número de veículos circulando entre cada par O-D. Assim, obteve-se a matriz origem-destino futura para o modo automóvel.

5.2.7 Alocação do tráfego futuro no cenário atual

Na etapa de alocação de tráfego objetiva-se atribuir a matriz origem-destino futura para o modo automóvel à rede rodoviária. Com o intuito de utilizar apenas *softwares* livres optou-se pelo uso do *AequilibraE* para realizar a etapa de alocação.

Com as ferramentas do *AequilibraE* destinadas a alocação de tráfego, executou-se os passos descritos no Capítulo 4. Na construção do grafo considerou-se como impedância a variável tempo. A alocação tudo-ou-nada realizada no *AequilibraE* resultou em um arquivo como os fluxos do ponto A para o ponto B de cada link, do ponto B para o ponto A de cada link e com o fluxo total em cada link. Uniu-se tais atributos a camada dos links da rede rodoviária e gerou-se algumas representação da rodovia para análise que é apresentada no Capítulo 6. Neste trabalho não são avaliadas nem definidas as alternativas de projeto a serem implantadas.

6 RESULTADOS

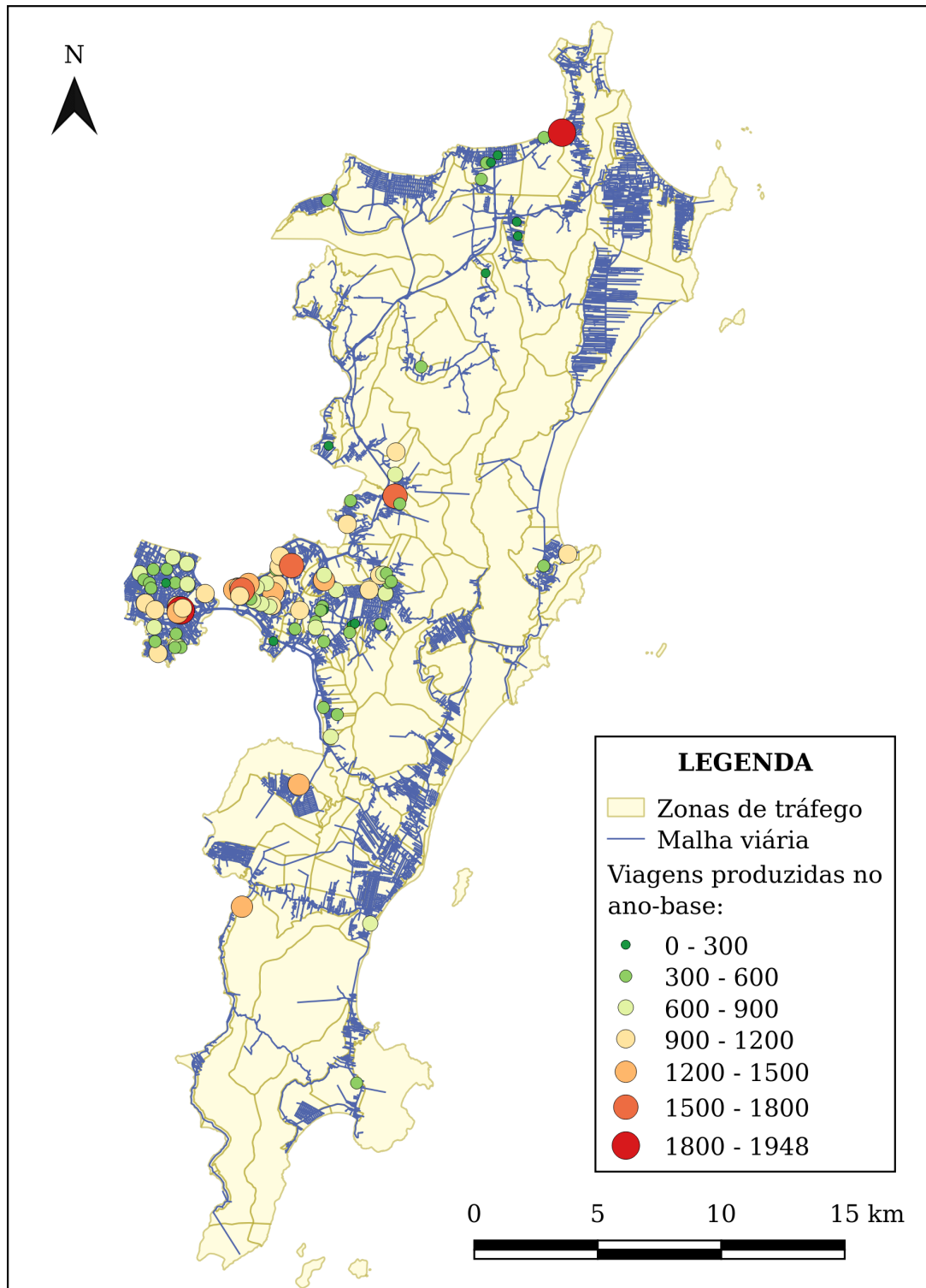
Este capítulo refere-se ao resultado do processo do Capítulo 5 (execução do modelo quatro etapas) e análise da etapa de alocação. Desta forma, este capítulo segue a sequência natural da execução dessas etapas. Antes da execução dessas etapas, todavia, foi modelada a infraestrutura de transporte, que resultou em uma representação da rede rodoviária de Florianópolis apresentada na Figura 5.1. Nesta rede, alocou-se as viagens por automóvel resultantes da etapa de divisão modal.

6.1 RESULTADOS DO TRABALHO

A etapa da modelagem da demanda envolveu um número maior de processos. Inicialmente, ajustou-se os dados coletados e obteve-se a matriz origem-destino atual e as projeções futuras dos dados socioeconômicos. Com o número de viagens produzidas e atraídas no cenário atual em cada zona de tráfego, gerou-se uma representação das zonas com maior e menor produção (Figura 6.1) e atração (Figura 6.2) de viagens dentro da área de estudo. Nas tabelas 6.1 e 6.2 são apresentados os bairros onde estão localizados as zonas de tráfego com maior produção e atração de viagens atuais e a respectiva quantidade de viagens.

Analisando as figuras 6.1 e 6.2 em conjunto com as tabelas 6.1 e 6.2 é observado que a região central envolvendo principalmente as zonas localizadas no bairro Centro e em bairros da parte continental da cidade são as que mais apresentam pontos de produção de viagens atualmente e isso se justifica pela maior densidade populacional desses bairros. Com relação a atração observa-se um maior número de viagens atraídas para as zonas localizadas nos bairros Centro, Trindade, Itacorubi, Santa Mônica, ao longo da SC-401 e Carianos, pontos onde há a concentração de um maior número de empregos e centros educacionais, como o Instituto Estadual de Educação, a Universidade Federal de Santa Catarina e a Universidade do Estado de Santa Catarina. Além disso, em alguns destes bairros estão instalados polos geradores de tráfego como as sedes administrativas do estado, conjuntos empresariais e o Aeroporto Internacional Hercílio Luz.

Figura 6.1: Representação da produção de viagens no ano-base na área de estudo.



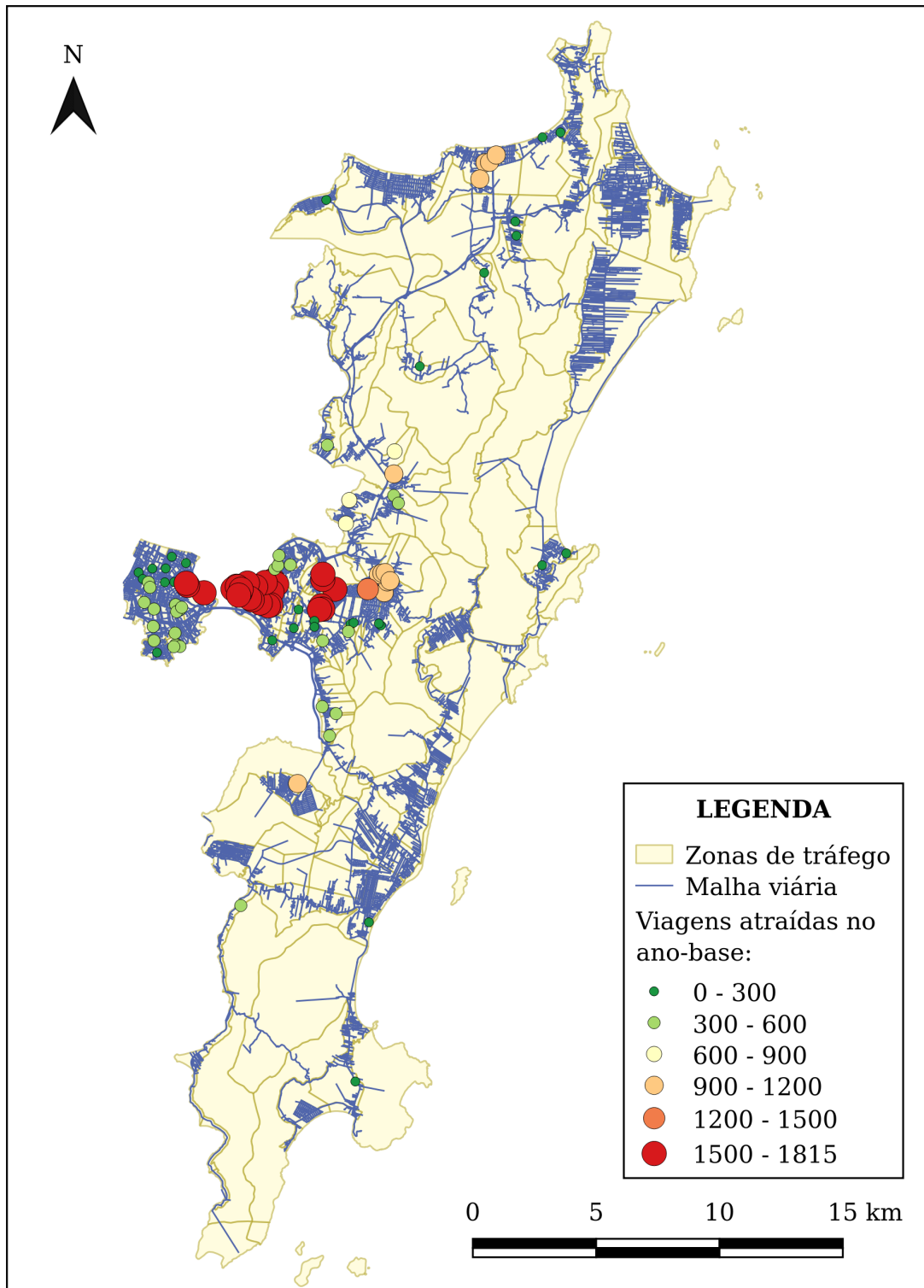
Fonte: Elaboração própria

Tabela 6.1: Lista das 30 zonas com maior produção de viagens no ano-base na área de estudo.

Código do setor censitário	Bairro	Produção atual
420540705000285	Capoeiras	1948
420540710000004	Cachoeira do Bom Jesus	1880
420540705000133	Monte Verde	1674
420540705000066	Centro	1565
420540705000093	Agronômica	1543
420540705000046	Centro	1469
420540705000060	Centro	1419
420540740000004	Carianos	1371
420540740000025	Ribeirão da Ilha	1279
420540705000116	Trindade	1267
420540705000286	Capoeiras	1246
420540705000010	Centro	1230
420540705000065	Centro	1229
420540705000068	Centro	1193
420540705000088	Agronômica	1142
420540705000129	Saco Grande	1135
420540705000151	Itacorubi	1119
420540705000225	Estreito	1108
420540705000311	Itaguaçu	1094
420540705000007	Centro	1085
420540705000062	Centro	1061
420540705000123	João Paulo	1061
420540705000368	Saco dos Limões	1043
420540705000284	Capoeiras	1039
420540705000005	Centro	1033
420540705000016	Centro	1032
420540705000160	Santa Mônica	1016
420540705000278	Capoeiras	1012
420540705000353	Centro	994
420540708000007	Barra da Lagoa	986

Fonte: Elaboração própria

Figura 6.2: Representação da atração de viagens no ano-base na área de estudo.



Fonte: Elaboração própria

Tabela 6.2: Lista das 30 zonas com maior atração de viagens no ano-base na área de estudo.

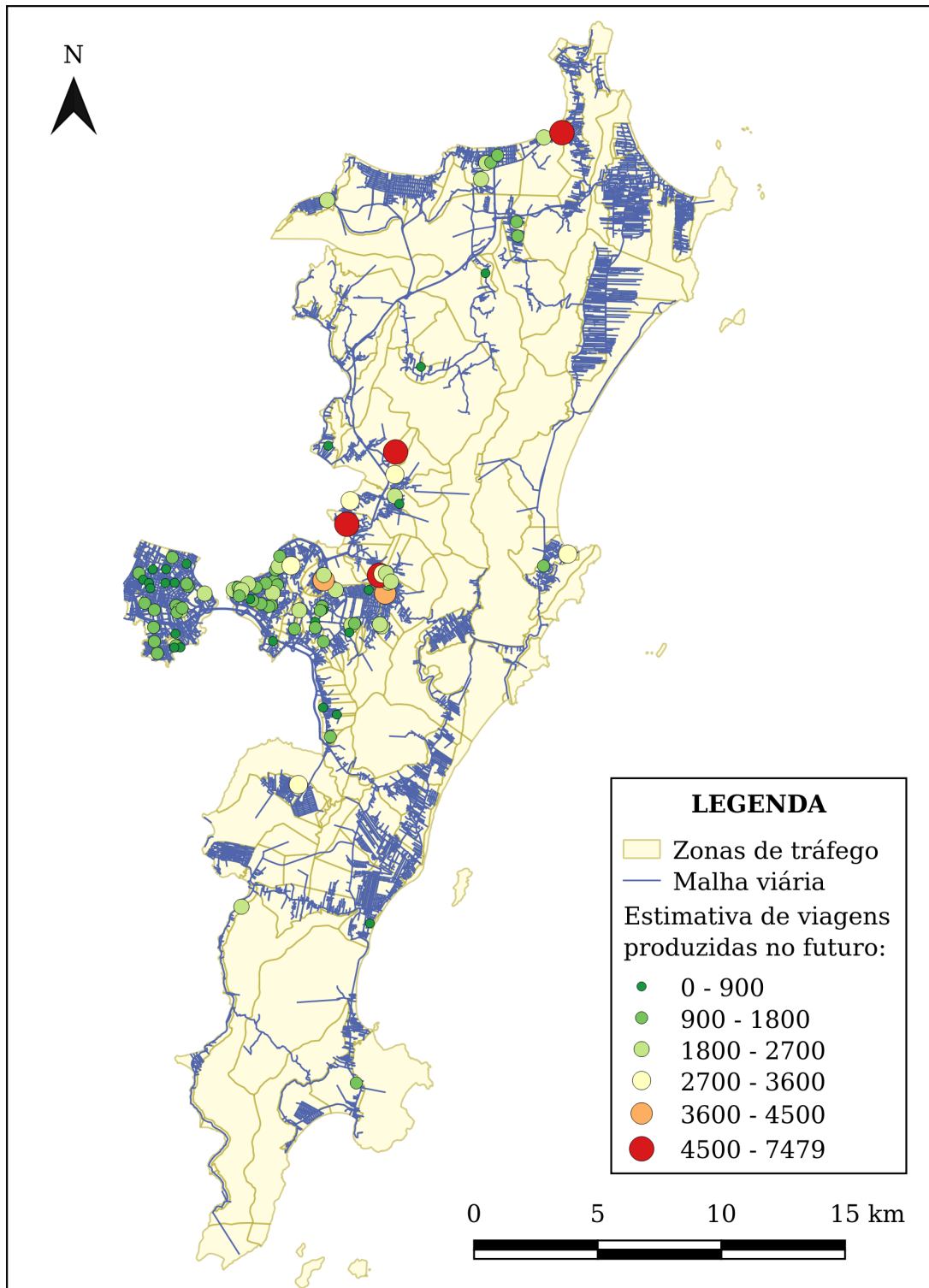
Código dosetor censitário	Bairro	Atração atual
420540705000231	Estreito	1815
420540705000052	Centro	1794
420540705000370	Estreito	1790
420540705000031	Centro	1789
420540705000051	Centro	1789
420540705000017	Centro	1788
420540705000042	Centro	1787
420540705000037	Centro	1786
420540705000353	Centro	1784
420540705000005	Centro	1783
420540705000016	Centro	1783
420540705000062	Centro	1783
420540705000007	Centro	1782
420540705000068	Centro	1780
420540705000010	Centro	1779
420540705000065	Centro	1779
420540705000060	Centro	1775
420540705000046	Centro	1774
420540705000066	Centro	1772
420540705000225	Estreito	1768
420540705000170	Trindade	1667
420540705000173	Trindade	1661
420540705000169	Trindade	1658
420540705000118	Trindade	1651
420540705000112	Trindade	1650
420540705000116	Trindade	1635
420540705000160	Santa Mônica	1239
420540705000149	Itacorubi	1031
420540705000348	Itacorubi	1030
420540705000365	Itacorubi	1030

Fonte: Elaboração própria

Da etapa de geração de viagens obteve-se a estimativa do número total de viagens produzidas e atraídas futuras para cada zona de tráfego da área de estudo. Com o número de viagens produzidas e atraídas estimadas para o horizonte de projeto em cada zona de tráfego, gerou-se uma representação das zonas com maior e menor produção (Figura 6.3) e atração (Figura 6.4) de viagens dentro da área de estudo. Nas tabelas 6.3 e 6.4 são apresentados os bairros onde estão localizados as zonas de tráfego com maior produção e atração de viagens estimadas futuras e a respectiva quantidade de viagens.

Analisando as figuras 6.3 e 6.4 em conjunto com as tabelas 6.3 e 6.4 é observado que a produção e atração de viagens para o ano de projeto em cada zona de tráfego aumentou, porém apresenta um comportamento semelhante ao do cenário atual.

Figura 6.3: Representação da produção estimada futura de viagens na área de estudo.



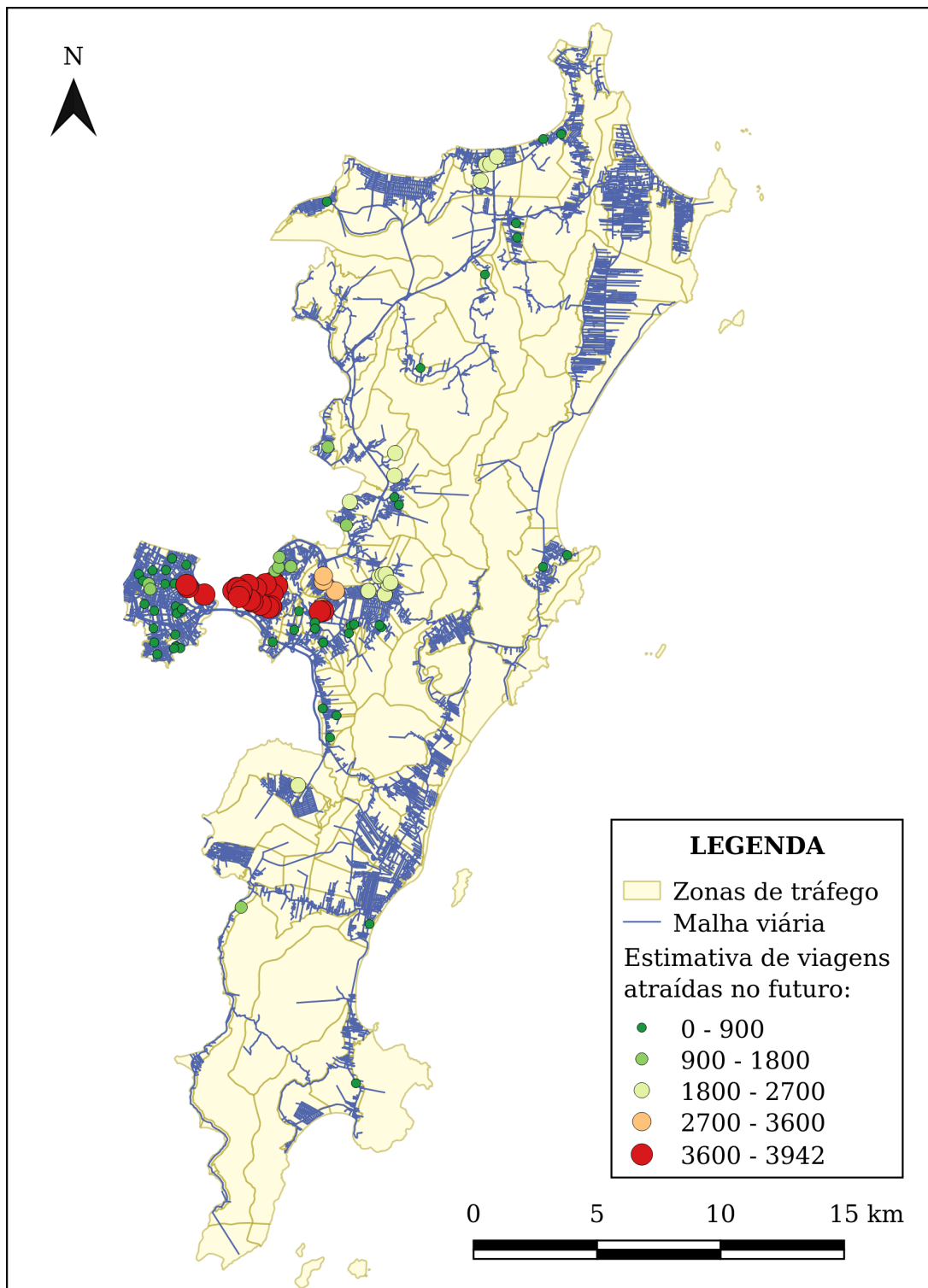
Fonte: Elaboração própria

Tabela 6.3: Lista das 30 zonas com maior produção estimada futura de viagens na área de estudo.

Código do setor censitário	Bairro	Produção futura
420540710000004	Cachoeira do Bom Jesus	7479
420540705000123	João Paulo	5017
420540705000129	Saco Grande	4974
420540705000151	Itacorubi	4693
420540705000147	Itacorubi	3649
420540705000116	Trindade	3637
420540740000004	Carianos	3598
420540705000152	Itacorubi	3295
420540705000345	Saco Grande	3106
420540708000007	Barra da Lagoa	2835
420540705000126	João Paulo	2789
420540705000093	Agrônômica	2708
420540705000133	Monte Verde	2666
420540705000285	Capoeiras	2610
420540715000009	Canasvieiras	2491
420540715000036	Daniela	2452
420540705000365	Itacorubi	2354
420540705000066	Centro	2315
420540705000367	Córrego Grande	2269
420540705000112	Trindade	2256
420540705000348	Itacorubi	2247
420540705000118	Trindade	2226
420540705000225	Estreito	2214
420540705000046	Centro	2168
420540740000025	Ribeirão da Ilha	2165
420540705000190	Córrego Grande	2150
420540705000060	Centro	2097
420540715000018	Canasvieiras	2097
420540705000088	Agrônômica	2005
420540705000368	Saco dos Limões	1950

Fonte: Elaboração própria

Figura 6.4: Representação da atração estimada futura de viagens na área de estudo.



Fonte: Elaboração própria

Tabela 6.4: Lista das 30 zonas com maior atração estimada futura de viagens na área de estudo.

Código do setor censitário	Bairro	Atração futura
420540705000231	Estreito	3942
420540705000052	Centro	3910
420540705000031	Centro	3899
420540705000051	Centro	3899
420540705000017	Centro	3896
420540705000042	Centro	3894
420540705000037	Centro	3892
420540705000353	Centro	3888
420540705000370	Estreito	3888
420540705000005	Centro	3885
420540705000016	Centro	3885
420540705000062	Centro	3885
420540705000007	Centro	3883
420540705000068	Centro	3879
420540705000010	Centro	3878
420540705000065	Centro	3878
420540705000060	Centro	3869
420540705000046	Centro	3867
420540705000066	Centro	3861
420540705000225	Estreito	3840
420540705000170	Trindade	3620
420540705000173	Trindade	3607
420540705000169	Trindade	3600
420540705000118	Trindade	3585
420540705000112	Trindade	3584
420540705000116	Trindade	3551
420540705000160	Santa Mônica	2695
420540705000149	Itacorubi	2243
420540705000348	Itacorubi	2241
420540705000365	Itacorubi	2241

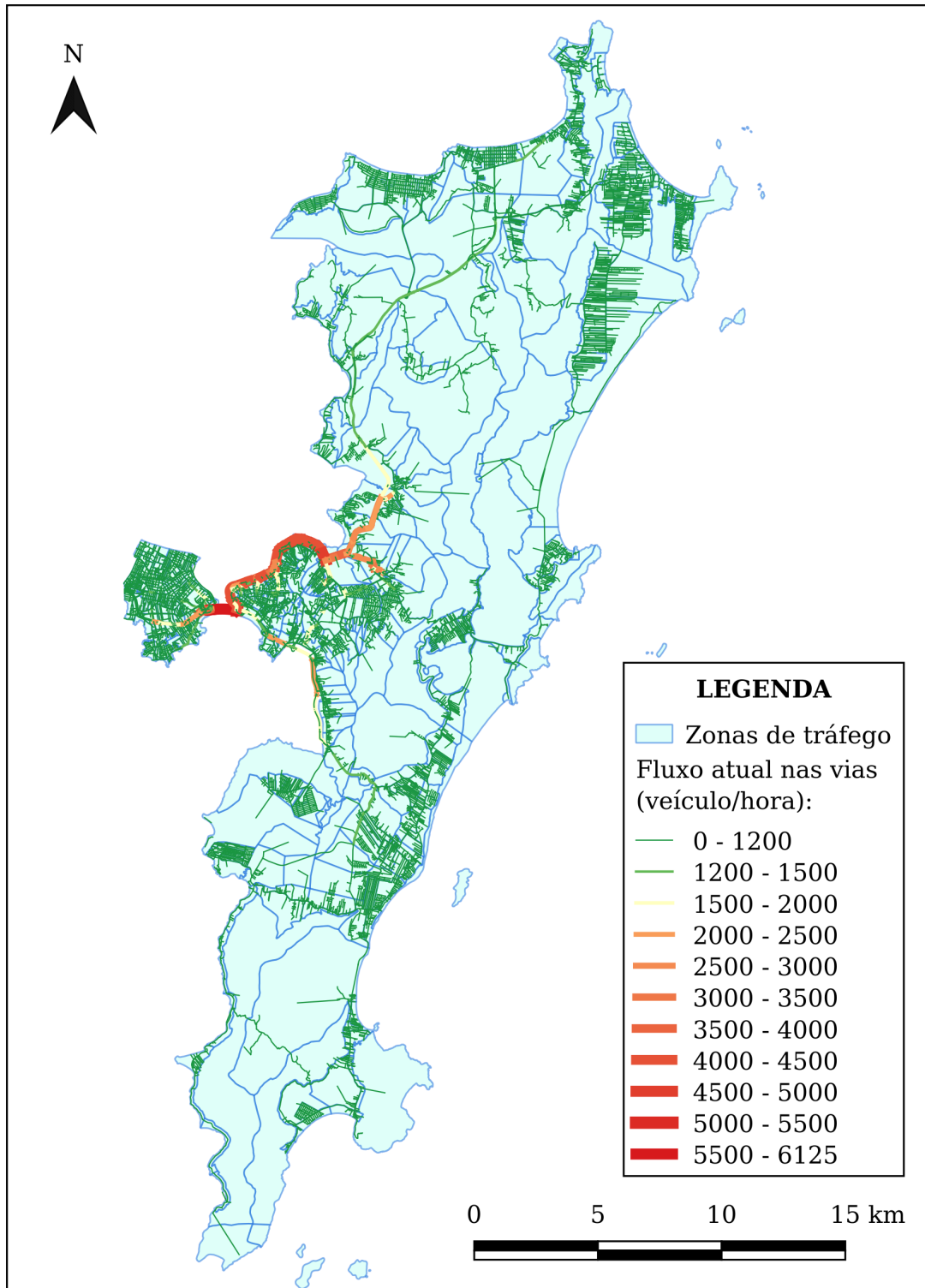
Fonte: Elaboração própria

Após a geração, realizou-se a distribuição de viagens com base na matriz origem-destino atual e no número total de viagens geradas futuras por zona de tráfego e obteve-se a matriz origem-destino futura. Assim, aplicou-se a probabilidade de utilização do automóvel como modo de deslocamento e a taxa de ocupação de um automóvel e obteve-se a matriz origem-destino futura para o modo automóvel.

Por fim, foram alocadas as viagens atuais e as estimativas de viagens futuras por automóvel na rede rodoviária de Florianópolis representadas pelas figuras 6.5 e 6.6, respectivamente. Nestas figuras é possível visualizar através de uma escala de cores e espessura dos links os valores dos fluxos de viagens utilizando automóvel no intervalo de tempo de uma hora (na hora-de-pico) alocados nos links da rede rodoviária de Florianópolis. Nestas figuras, os links de cor vermelha e mais espessos são os que apresentam maior fluxo, bem como os de cor verde e menos espessos são os que apresentam menor fluxo.

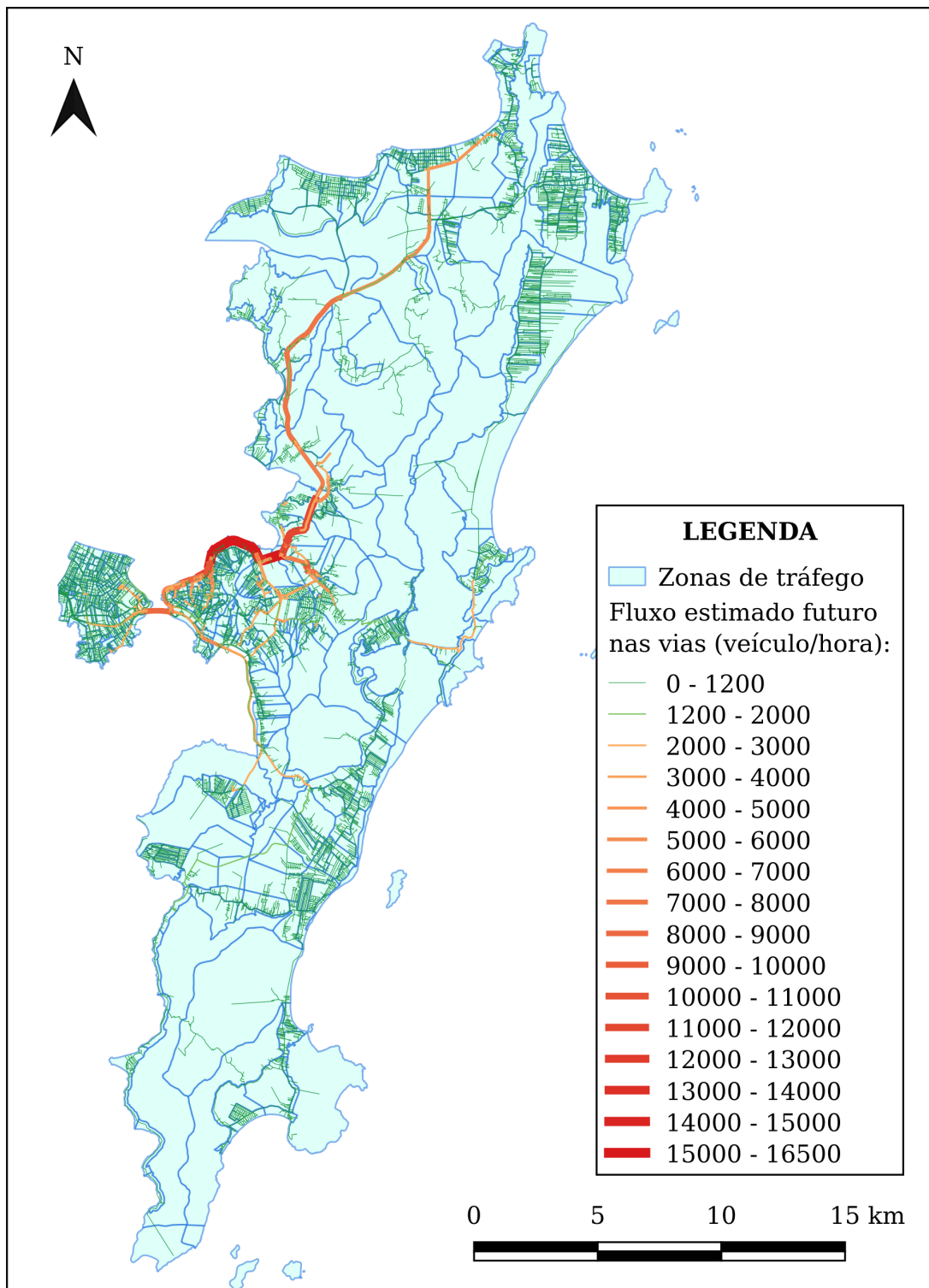
Na Figura 6.5 os maiores fluxos ocorrem na ponte sentido continente-ilha, na Avenida Beira-Mar Norte em ambos os sentidos e em parte da rodovia SC-401. Na Figura 6.6 os maiores fluxos ocorrem na Avenida Beira-Mar Norte e rodovia SC-401 ambos no sentido para o bairro Centro. Nesta figura é observado também que as vias que representam a ligação entre determinada região e a região central são as que apresentam fluxos mais elevados. Como exemplos disso, tem-se a rodovia SC-401 – ligação entre a região central e o norte da ilha –, a Rodovia Admar Gonzaga em conjunto com a SC-404 – ligação entre a região central e a Lagoa da Conceição, a Rodovia Governador Aderbal Ramos da Silva e rodovia SC-405 – ligação entre a região central e o sul da ilha –, as pontes Pedro Ivo Campos e Colombo Salles – ligação entre o continente e a região central – e a Avenida Beira-Mar Norte, a Rua Deputado Antônio Edu Vieira (no bairro Pantanal) e a Rua Capitão Romualdo de Barros (no bairro Saco dos Limões) – que recebem o fluxo de viagens de outras regiões e apresentam um fluxo elevado dentro da própria região.

Figura 6.5: Representação da alocação de automóveis na hora-de-pico da manhã para o ano atual.



Fonte: Elaboração própria

Figura 6.6: Representação da alocação de automóveis na hora-de-pico da manhã para o ano de projeto.



Fonte: Elaboração própria

6.2 ANÁLISE DO RESULTADO DA ETAPA DE ALOCAÇÃO

A análise da alocação é realizada comparando as representações da alocação de automóveis na hora-de-pico da manhã para o ano de projeto geradas neste trabalho com as apresentadas no relatório 3.3 do PLAMUS (Governo de Santa Catarina (2015)). As figuras 6.7 e 6.8 são imagens da representação da alocação de veículos leves extraídas do relatório do PLAMUS. E, as figuras 6.6 e 6.9 representam a alocação de automóveis na hora-de-pico da manhã para o ano de projeto geradas neste trabalho.

Segundo consta no relatório 3.3 do PLAMUS (Governo de Santa Catarina (2015)), no caso específico de Florianópolis, para a alocação multimodal de veículos leves foi utilizado o método de equilíbrio biconjugado implementado no TransCAD. O Equilíbrio do usuário utiliza um processo iterativo para obter uma solução convergente, em que não haja usuários que possam majorar seus tempos de viagem apenas trocando de caminho, ou seja, os usuários estão utilizando o melhor caminho possível para seus deslocamentos. Em cada iteração são calculados os fluxos, incorporando efeitos de restrição da capacidade e tempos de viagem dependentes do fluxo.

A alocação de automóveis na hora-de-pico da manhã para o ano de projeto geradas neste trabalho foi realizada utilizando o método tudo ou nada. Conforme visto na Seção 2.2.4, este método se baseia no conceito de que definida a melhor rota (caminho-mínimo) entre uma origem e um destino todo fluxo passaria por esta rota, independentemente da capacidade dessa. O caminho-mínimo é definido como o caminho de menor impedância, neste trabalho o tempo, entre uma origem e um destino em uma rede de transporte.

Figura 6.7: Representação da alocação de automóveis na hora-de-pico da manhã para o ano de projeto.

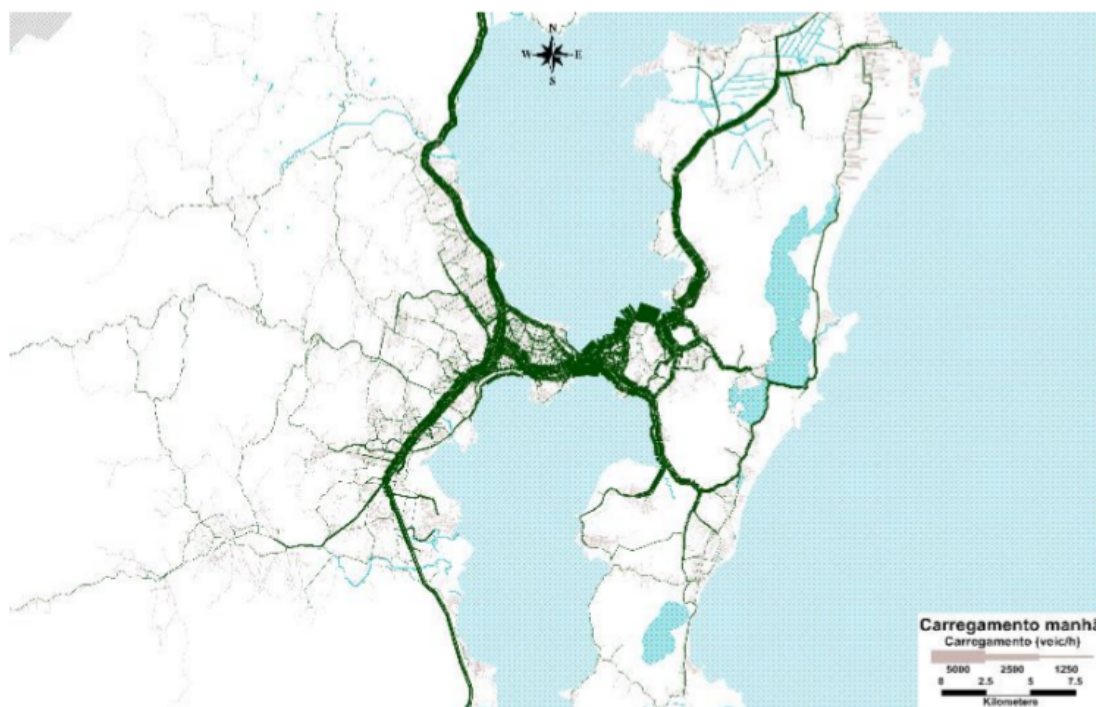


Figura 5.31 - Alocação de veículos leves – Hora de pico da manhã

Fonte: Governo de Santa Catarina (2015)

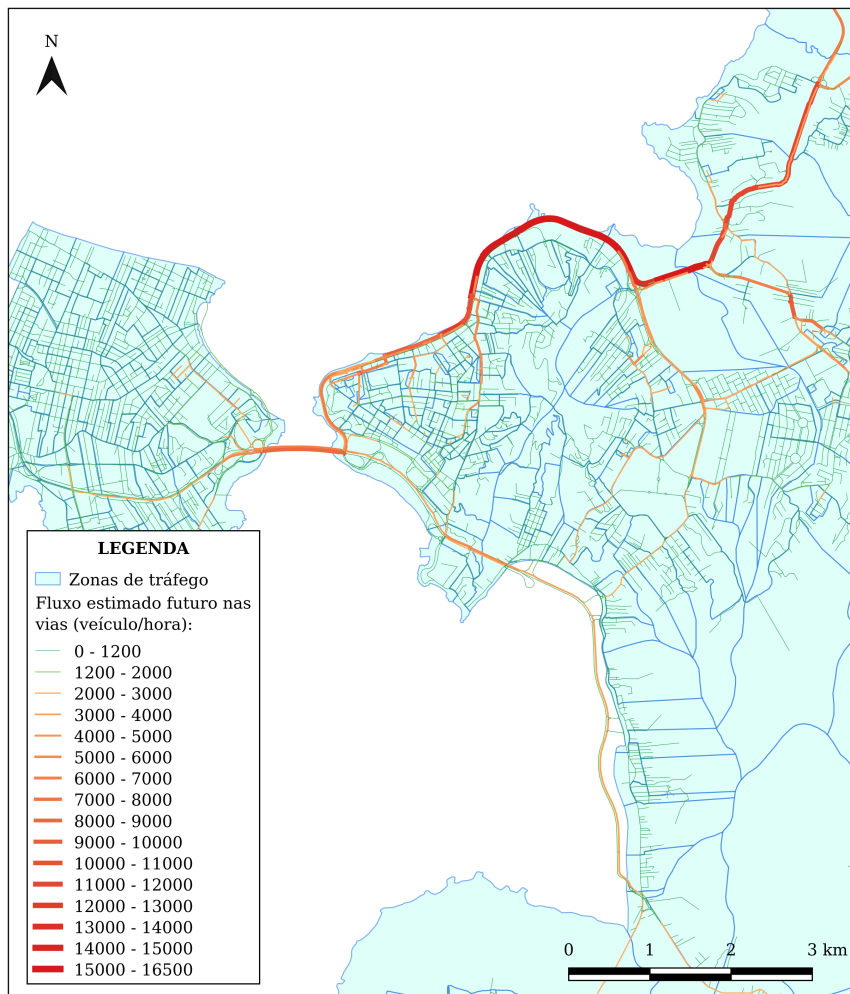
Figura 6.8: Representação da alocação de automóveis na hora-de-pico da manhã para o ano de projeto.



Figura 5.32 - Alocação de veículos leves – Hora de pico da manhã - Centro

Fonte: Governo de Santa Catarina (2015)

Figura 6.9: Representação da alocação de automóveis na hora-de-pico da manhã para o ano de projeto.



Fonte: Governo de Santa Catarina (2015)

As imagens 6.8 e 6.9 apresentam semelhança com relação as vias mais sobrecarregadas. Porém, o máximo fluxo presente na alocação realizada pela equipe responsáveis pelo PLAMUS foi de 5000 veículos por hora enquanto que a alocação gerada neste trabalho apresentou alguns links, localizados no final da SC-401 no sentido norte da ilha - centro, com fluxo de tráfego de 16500 veículos por hora. Acredita-se que tal diferença deve-se à escolha do método de alocação. Pois, no PLAMUS os fluxos foram calculados incorporando efeitos de restrição da capacidade e tempos de viagem dependentes do fluxo e neste trabalho os fluxos foram calculados com base na alocação do tráfego em um caminho com menos tempo de percurso.

7 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta a conclusão deste trabalho fazendo uma relação direta com o objetivo geral e com cada um dos objetivos específicos.

7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comprovou-se que é possível realizar a aplicação do modelo quatro etapas de transportes em uma determinada área de estudo utilizando apenas *softwares* livres.

No resultado da aplicação foi possível observar que os maiores fluxos de transporte estão principalmente destinados a região central da área de estudo. As rodovias que possivelmente precisão de projetos alternativos são a rodovia SC-401, a Rodovia Admar Gonzaga em conjunto com a SC-404, a Rodovia Governador Aderbal Ramos da Silva e rodovia SC-405, as pontes Pedro Ivo Campos e Colombo Salles, a Avenida Beira-Mar Norte, a Rua Deputado Antônio Edu Vieira e a Rua Capitão Romualdo de Barros. É importante destacar que a influência dos geradores de tráfego externos não foi considerada e, sendo assim, na prática os fluxos nestas vias provavelmente tem valores maiores durante hora de pico.

Também é importante destacar que para o município de Florianópolis pode não ser uma boa opção utilizar o *plugin* *AequilibraE* usando o método tudo ou nada para realizar a etapa de alocação. Visto que a alocação realizada pela equipe responsáveis pela elaboração do PLAMUS usando o método de equilíbrio biconjugado apresenta valores notoriamente menores alocando veículos leves (automóveis, motocicletas e táxis).

7.2 LIMITAÇÕES

Durante a elaboração deste trabalho encontrou-se duas principais limitações. A primeira diz respeito a dificuldade na coleta de dados socioeconômicos em nível territorial de setor censitário. Verificou-se que grande parte das instituições públicas brasileiras responsáveis por realizar pesquisas estatísticas disponibilizam em seus portais eletrônicos dados em nível nacional, estadual ou municipal. O censo demográfico disponibiliza dados em nível de setor censitário, porém nem todas as variáveis necessárias encontravam-se nesse. Então, realizou-se ponderações para que o resultado ficasse próximo do cenário real e trabalhou-se com os dados disponíveis.

A segunda refere-se aos dados disponíveis na planilha do PLAMUS. Esses estavam dispostos em nível territorial de bairro. Então, novamente, realizou-se ponderações para que o resultado ficasse próximo do cenário real e trabalhou-se com os dados disponíveis.

O Brasil conta hoje com mais de 270 milhões de celulares, para uma população de 190 milhões de habitantes. Quase todo habitante das grandes cidades, mesmo os com menos recursos, costuma carregar consigo um aparelho celular em seus deslocamentos. Os registros de posicionamento desses aparelhos podem ser obtidos junto às empresas

de telefonia através dos registros de CDRs – Call Detail Records, que são coletados para efeitos de cobrança, compensação recíproca entre as empresas pelo uso de antenas e para melhorias na cobertura do sinal.¹ Há também aplicativos como o Waze que armazenam grande quantidade de dados relativos a deslocamentos gerados pelos usuários. Acredita-se que com tais registros é possível elaborar matrizes origem-destino muito mais precisas do que as realizadas por pesquisas amostrais e a um custo centenas de vezes menor. Então, cabe aos órgãos públicos comprarem estes dados para que possam ser usados pelos planejadores de transportes. Assim, seria resolvida a segunda restrição.

7.3 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações para trabalhos futuros na área de planejamento de transportes são sugeridos:

- Aplicar o modelo quatro etapas de transportes usando *softwares* livres diferentes dos utilizados neste trabalho.
- Estudo da determinação de matriz origem/destino utilizando dados do aplicativo Waze.
- Estudo da determinação de matriz origem/destino utilizando dados de empresas de telefonia móvel.

¹<<https://www.digitalrightslac.net/pt/el-futuro-del-mercado-de-datos/>>

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. *Perfil do município de Florianópolis, SC*. 2013. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/florianopolis_sc> .

Ayala Filho, G. G. M. *Uso de plataformas livres de sistemas de informação geográfica aplicados em estudos de transportes*. Trabalho de conclusão de curso — Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Joinville, 2016.

Azevedo Filho, M. N. D. *Análise do processo de planejamento dos transportes como contribuição para a mobilidade urbana sustentável*. Tese — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

BOARETO, R. A política de mobilidade urbana e a construção de cidades sustentáveis. *Revista dos transportes Públicos - ANTP*, 2008.

BRASIL. *Lei nº 12.587, de 3 de jan. de 2012*. Brasília, DF: [s.n.], 2012.

BRUTON, M. J. *Introdução ao planejamento dos transportes*. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.

CAMPOS, A. *O que é software livre*. BR-Linux. Florianópolis, março de 2006: [s.n.], 2016. Disponível em: <<http://softwarelivre.ceara.gov.br/index.php/component/content/article/3/318>> .

CAMPOS, V. B. G. *Planejamento de transportes: conceitos e modelos*. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

Governo de Santa Catarina. *PLAMUS - Produto 8.5 - Resultado das Pesquisas de Campo: Domiciliar de Origem e Destino, Preferência Declarada, Imagem, Linha de Contorno*. Florianópolis, 2014.

Governo de Santa Catarina. *PLAMUS - Produto 3.3 - Calibração dos Modelos de Demanda*. Florianópolis, 2015.

IBGE. *Agregados por setores censitários*. 2010. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/> .

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Agregados por setores censitários*. 2000. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2000/Dados_do_Universo/Agregado_por_Setores_Censitarios/> .

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Cidades*. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/florianopolis/panorama>> .

LOPES, S. B. *Efeitos da dependência espacial em modelos de previsão de demanda por transporte*. Dissertação — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2005.

MEDEIROS, V. A. S. de. *Urbis Brasiliae ou Sobre Cidades do Brasil*. Tese — Universidade de Brasília, 2006.

Ministério das Cidades, Brasil. *PlanMob: Caderno de referência para elaboração de plano de mobilidade urbana*. 2015. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSE/planmob.pdf>>.

Ministério do Trabalho, Brasil. *Programa de disseminação das estatísticas do trabalho - RAIS- 2016 - Santa Catarina*. 2016. Disponível em: <<http://pdet.mte.gov.br/rais?view=default>>.

NOVAES, A. G. *Sistemas de transportes: Análise da demanda*. São Paulo: Edgard Blücher, 1986.

ORTUZAR, J. d. D.; WILLUMSEN, L. G. *Modelling Transport*. Fourth. [S.l.]: Wiley, 2011. 607 p.

PERPETUA, G. M. Movimentos pendulares e acumulação do capital. *Revista Pegada*, v. 11, 2010.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). *Ranking IDHM municípios 2010*. 2010. Disponível em: <<http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/rankings/idhm-municipios-2010.html>>.

RIBEIRO, V. d. C. *Análise de demanda por transportes de passageiros via modelos de regressão georeferenciados*. Dissertação — Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.

Rodrigue, J.-P.; Comtois, C.; Slack, B. *The geography of transport systems*. Routledge, New York: [s.n.], 2017.

SANTOS, L. dos. *Sistema de informação geográfica aplicado ao planejamento de trânsito e transportes*. 2004.

Spear, B. D. *Handbook of transport geography and spatial systems*. Emerald: [s.n.], 2008.

TRB. NCHRP Report 716 – Travel demand forecasting: parameters and techniques. Washington, D. C., 2012.