



**Universidade Federal de Santa Catarina**  
**Centro Tecnológico**  
**Departamento de Engenharia Civil**

**Miguel Feuser Capella**

**Estudo de tráfego para um aeroporto como polo gerador com base em simulação  
macroscópica**

7 de dezembro de 2020

**Miguel Feuser Capella**

**Estudo de tráfego para um aeroporto como polo gerador com base em simulação  
macroscópica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo acadêmico Miguel Feuser Capella à banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Professor orientador: Alexandre Hering Coelho, Dr.

7 de dezembro de 2020

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

Capella, Miguel Feuser

Estudo de tráfego para um aeroporto como polo gerador  
com base em simulação macroscópica / Miguel Feuser Capella ;  
orientador, Alexandre Hering Coelho, 2020.

96 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Polo Gerador de Tráfego . 3.  
Aeroporto. 4. Simulação de Tráfego. 5. Macrossimulação. I.  
Coelho, Alexandre Hering . II. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Miguel Feuser Capella

**Estudo de tráfego para um aeroporto como polo gerador com base em simulação  
macroscópica**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 24 de novembro de 2020.

Prof. Dr. Luciana Rohde  
Coordenadora do Curso

**Banca examinadora:**



Documento assinado digitalmente  
Alexandre Hering Coelho  
Data: 07/12/2020 17:54:21-0300  
CPF: 758.478.099-72

Prof. Dr. Alexandre Hering Coelho  
Orientador

Prof. Dr. Luciana Rohde

Me. Anderson Schmitt

## Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais por terem me dado todo o apoio e suporte, permitindo que eu tenha chegado até aqui. Agradeço especialmente à minha mãe Lizette pelo incentivo e por ter sido uma referência no mundo acadêmico.

A todos os amigos da 14.2 e outros que conheci na UFSC nestes anos de graduação e que me trouxeram muitos momentos de alegria, em especial à Victoria por todas as risadas e pelo apoio. Também agradeço especialmente ao Lucas pela amizade e por estar sempre do meu lado, inclusive durante a elaboração deste trabalho com o fornecimento de materiais e dados.

Ao professor Alexandre por ter aceitado me orientar neste TCC e por ter sido um guia sempre disposto a ajudar e muito dedicado na tarefa de aperfeiçoar este trabalho.

À professora Luciana e ao engenheiro Anderson pela disponibilidade e pela participação na banca examinadora.

Ao LabTrans, em especial ao Jorge e ao Roger, pela disponibilização do *software* Visum. Também agradeço ao LabTrans pela oportunidade e aprendizados que tive no período como bolsista.

Por fim, agradeço à UFSC por me oferecer esta oportunidade de um ensino público, gratuito e de qualidade, sendo uma referência de ensino, pesquisa e extensão.

# RESUMO

Aeroportos são um dos principais Polos Geradores de Tráfego (PGT) em áreas urbanas, influenciando fortemente o tráfego na região do seu entorno. Visando avaliar como o crescimento da demanda afeta os sistemas de transporte de uma área de estudo, foram elaborados modelos de simulação de tráfego em nível macroscópico utilizando o *software* Visum, que foram utilizados para apoiar um estudo de tráfego que considera a demanda gerada pelo novo terminal de passageiros no Aeroporto Internacional de Florianópolis. A criação dos modelos e análise dos resultados foi feita utilizando diretrizes de estudos de impacto de PGTs. A modelagem da demanda foi feita considerando a demanda de tráfego gerado pelo PGT e de tráfego de passagem. Foram utilizadas pesquisas Origem-Destino (O-D) disponíveis para gerar matrizes O-D, cujas viagens foram alocadas na malha viária que foi obtida através da modelagem da oferta. Foram analisados o cenário base de 2020 e dois horizontes futuros: ano de 2029 e ano de 2039. Foi criado um cenário alternativo para avaliar mudanças nos parâmetros estudados, geradas a partir de uma alteração na infraestrutura rodoviária. Com os dados coletados a partir das simulações, foi possível fazer a avaliação de indicadores de desempenho dos diferentes cenários e também pode-se identificar pontos críticos na malha. Em relação ao cenário alternativo, foi possível avaliar a diminuição no tempo de viagem em um corredor de acesso, a partir da mudança na infraestrutura de uma das vias.

Palavras-chave: Polo Gerador de Tráfego. Aeroporto. Simulação de Tráfego. Macrossimulação. Visum.

# ABSTRACT

Airports are one of the biggest developments of regional impact in urban areas, strongly affecting the traffic in the surrounding areas. In order to evaluate how the demand growth can affect the transport system in a study area, macroscopic simulation models were designed using the Visum software. These models were used to support a traffic study which takes on account the trip generation of the new passenger terminal in the Florianópolis International Airport. In order to create these models and to analyse the results, guidelines of traffic impact analysis were used. The demand modelling considered the site generated primary trips and the pass-by trips. Available Origin Destination (O-D) surveys were used to generate O-D matrices that were allocated on the network derived from the supply modelling. Analysis were made for the 2020 basis scenario and two future scenarios: year of 2029 and year of 2039. Finally, an alternative scenario was created in order to analyse changes in the parameters caused by a modification in the road infrastructure. The data collected from the simulations allowed the evaluation of performance for the different scenarios and one was also able to identify critical areas on the network. For the alternative scenario, with the change in the infrastructure, one was able to measure the decrease in the travel time in one corridor.

*Key-words: Trip Generation. Airport. Traffic Simulation. Macroscopic Simulation. Visum*

## Lista de Figuras

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Exemplo de matriz O-D genérica . . . . .  | 6  |
| 2  | Exemplo de grafo direcional . . . . .   | 9  |
| 3  | Exemplo de conectores em uma rede viária . . . . .  | 9  |
| 4  | Função de congestionamento proposta por BPR para diferentes valores de alfa . . . . .   | 11 |
| 5  | Movimentação de passageiros somada para aeroportos brasileiros entre 2004 e 2019  | 22 |
| 6  | Fluxograma do método para modelagem de transporte aeroportuário . . . . .   | 25 |
| 7  | Fluxograma do procedimento de análise de um aeroporto como PGV . . . . .  | 27 |
| 8  | Localização do aeroporto de Florianópolis . . . . .   | 29 |
| 9  | Acessos ao aeroporto de Florianópolis . . . . .   | 31 |
| 10 | Zonas de tráfego da Região Metropolitana de Florianópolis . . . . .   | 34 |
| 11 | Movimentações médias mensais de passageiros no aeroporto de Florianópolis . . . . .   | 36 |
| 12 | Movimentação anual de passageiros no aeroporto de Florianópolis . . . . .   | 37 |
| 13 | Dados do OSM para a região de Florianópolis . . . . .   | 38 |
| 14 | Origem ou destino dos usuários do aeroporto de Florianópolis . . . . .  | 39 |
| 15 | Modo de acesso ao aeroporto de Florianópolis . . . . .  | 39 |
| 16 | Área de influência do aeroporto de Florianópolis . . . . .  | 40 |
| 17 | Fluxograma geral do método . . . . .  | 41 |
| 18 | Fluxograma do método de modelagem da demanda . . . . .  | 48 |
| 19 | Compatibilização das zonas de tráfego da região central de Florianópolis . . . . .  | 52 |
| 20 | Bairros na zona de tráfego 11148 . . . . .  | 53 |
| 21 | Localização da zona de tráfego 12006 . . . . .  | 54 |
| 22 | Distribuição horária do fluxo de veículos de acordo com dados de PLAMUS (2015c)   | 55 |
| 23 | Movimentações médias horárias de passageiros no aeroporto de Florianópolis para<br>segundas-feiras e sextas-feiras dos meses de março entre 2013 e 2018 . . . . . | 56 |
| 24 | Centroide da zona de tráfego 11090 sem conectores e com conectores . . . . .  | 60 |
| 25 | Erro na conectividade entre a zona 11001 e 11002 sendo acusada na interface do<br>Visum . . . . .   | 61 |
| 26 | Área de influência do aeroporto de Florianópolis segundo o método de Braga e Guedes<br>(2008) . . . . .   | 62 |
| 27 | Trechos de vias com 5% ou mais da capacidade ocupada pela demanda gerada pelo<br>PGT . . . . .  | 63 |
| 28 | Trechos de vias com 15% ou mais da capacidade ocupada pela demanda gerada pelo<br>PGT . . . . .   | 64 |
| 29 | Trevo do Rio Tavares (2019) . . . . .   | 65 |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 30 | Área crítica do aeroporto de Florianópolis . . . . .  | 66 |
| 31 | Relação volume/capacidade das vias para o cenário base de 2020 . . . . .  | 67 |
| 32 | Histograma de relação volume/capacidade das vias da área crítica para o ano de 2020   | 67 |
| 33 | Relação volume/capacidade das vias para o ano de 2029 . . . . .   | 68 |
| 34 | Histograma de relação volume/capacidade das vias da área crítica para o ano de 2029   | 69 |
| 35 | Relação volume/capacidade das vias para o ano de 2039 . . . . .   | 69 |
| 36 | Histograma de relação volume/capacidade das vias da área crítica para o ano de 2039   | 70 |
| 37 | Criação do território no Visum . . . . .  | 70 |
| 38 | Definição dos limites do corredor no Visum . . . . .  | 72 |
| 39 | Histograma de relação volume/capacidade das vias da área crítica para o ano de<br>2039 com método fictício de previsão exagerada de crescimento . . . . . | 73 |
| 40 | Crescimento nos tempo de viagem no corredor ao longo dos anos com o método<br>fictício de previsão exagerada de crescimento . . . . .                     | 74 |
| 41 | Localização dos arcos com capacidade aumentada para o cenário alternativo desta-<br>cados em vermelho . . . . .   | 75 |
| 42 | Histograma de relação volume/capacidade das vias da área crítica para o cenário<br>alternativo . . . . .  | 76 |

## Lista de Tabelas

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Diretrizes para determinação de limites da área crítica . . . . .   | 17 |
| 2  | Diretrizes para determinação do horizonte de estudo segundo ITE (2016b) . . . . .                         | 19 |
| 3  | Diretrizes para determinação do horizonte de estudo segundo Gonçalves (2012) . . . . .                    | 19 |
| 4  | Dados públicos sobre a área de estudo relevantes para um estudo de tráfego . . . . .                      | 33 |
| 5  | Número de automóveis no município de Florianópolis por ano . . . . .                                      | 35 |
| 6  | Dez primeiros registros das colunas utilizadas no método no arquivo da pesquisa O-D                       | 45 |
| 7  | Cinco primeiras linhas e colunas da matriz O-D do transporte individual elaborada<br>pelo autor . . . . . | 56 |
| 8  | Comparação entre os cenários para a área crítica com base em diferentes parâmetros                        | 71 |
| 9  | Tempos de viagem no corredor para os diferentes cenários . . . . .  | 72 |
| 10 | Tempos de viagem no corredor para o cenário alternativo . . . . .   | 76 |

# Sumário

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Objetivos . . . . .   | 2         |
| 1.1.1    | Objetivo geral . . . . .                                      | 2         |
| 1.1.2    | Objetivos específicos . . . . .                               | 2         |
| 1.2      | Limitações do trabalho . . . . .                              | 3         |
| <b>2</b> | <b>Revisão bibliográfica</b>                                  | <b>4</b>  |
| 2.1      | Planejamento e modelagem de transportes . . . . .             | 4         |
| 2.1.1    | Modelagem da demanda . . . . .                                | 5         |
| 2.1.2    | Modelagem da oferta . . . . .                                 | 8         |
| 2.1.3    | Alocação de tráfego . . . . .                                 | 9         |
| 2.2      | Simulação de tráfego . . . . .                                | 11        |
| 2.2.1    | Simulação em nível macroscópico . . . . .                     | 12        |
| 2.3      | Polos geradores de tráfego (PGT) . . . . .                    | 13        |
| 2.3.1    | Métodos de análise de impactos . . . . .                      | 14        |
| 2.3.2    | Definição da abrangência espacial da área de estudo . . . . . | 15        |
| 2.3.3    | Definição do cenário temporal de estudo . . . . .             | 17        |
| 2.3.4    | Uso de simulação na análise de PGTs . . . . .                 | 20        |
| 2.4      | Aeroportos como PGTs . . . . .                                | 21        |
| 2.4.1    | Demanda por transporte aéreo . . . . .                        | 22        |
| 2.4.2    | Demanda de transporte terrestre em aeroportos . . . . .       | 23        |
| 2.4.3    | Métodos de análise de aeroportos como PGTs . . . . .          | 25        |
| 2.4.4    | Área de influência e área crítica . . . . .                   | 27        |
| <b>3</b> | <b>Área de estudo</b>   | <b>29</b> |
| 3.1      | Legislação em Florianópolis . . . . .                         | 31        |
| 3.2      | Dados disponíveis . . . . .                                   | 32        |
| <b>4</b> | <b>Método</b>   | <b>41</b> |
| 4.1      | Modelagem da demanda . . . . .                                | 43        |
| 4.1.1    | Zoneamento da área de estudo . . . . .                        | 43        |
| 4.1.2    | Modelagem da demanda de tráfego de passagem . . . . .         | 44        |
| 4.1.3    | Modelagem da demanda de tráfego gerado pelo PGT . . . . .     | 44        |
| 4.1.4    | Projeção de demanda . . . . .                                 | 46        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.1.5    | Definição do dia de projeto e da hora crítica . . . . .                 | 47        |
| 4.2      | Modelagem da oferta . . . . .   | 49        |
| 4.3      | Alocação de tráfego . . . . .   | 49        |
| 4.4      | Área de influência e delimitação da área crítica . . . . .              | 50        |
| 4.5      | Análise de indicadores de desempenho e comparação de cenários . . . . . | 50        |
| 4.5.1    | Elaboração e análise do cenário alternativo . . . . .                   | 50        |
| <b>5</b> | <b>Resultados</b>   | <b>52</b> |
| 5.1      | Modelagem da demanda . . . . .  | 52        |
| 5.1.1    | Compatibilização de configurações de centroides . . . . .               | 52        |
| 5.1.2    | Modelagem da demanda de tráfego de passagem . . . . .                   | 54        |
| 5.1.3    | Modelagem da demanda de tráfego gerado pelo PGT . . . . .               | 55        |
| 5.1.4    | Projeção de demanda . . . . .   | 58        |
| 5.1.5    | Definição da hora crítica . . . . .                                     | 59        |
| 5.2      | Modelagem da oferta . . . . .   | 59        |
| 5.3      | Área de influência e delimitação da área crítica . . . . .              | 61        |
| 5.4      | Análise de indicadores de desempenho e comparação de cenários . . . . . | 66        |
| 5.4.1    | Análise do tempo de percurso no corredor principal de acesso . . . . .  | 71        |
| 5.4.2    | Elaboração e análise do cenário alternativo . . . . .                   | 72        |
| <b>6</b> | <b>Conclusões</b>   | <b>77</b> |
|          | <b>Referências</b>  | <b>79</b> |
| <b>A</b> | <b>Relação entre bairros e zonas de tráfego</b>                         | <b>83</b> |

# 1 Introdução

A mobilidade nas grandes cidades brasileiras sofre com diversos problemas ligados à extrapolação da capacidade do sistema viário e deficiências no sistema de transporte coletivo. Segundo Ortúzar e Willumsen (2011), o grande aumento na demanda aliado às falhas nos sistemas de transportes leva a congestionamentos que trazem problemas econômicos, redução da qualidade de vida e aumento da poluição e dos acidentes de trânsito.

Nas áreas próximas a grandes empreendimentos de alta atratividade estes problemas se agravam ainda mais. Na região de entorno destes Polos Geradores de Tráfego (PGT) a demanda gerada pelas atividades socioeconômicas pode sobrecarregar a infraestrutura existente.

Maia et al. (2012) afirmam que, com o objetivo de mitigar os impactos negativos gerados por estes estabelecimentos, foram criadas normas e procedimentos para o licenciamento de empreendimentos caracterizados como PGTs. No Brasil estas normas e procedimentos variam de acordo com o município e o tipo de PGT, mas são regidas por diretrizes de órgãos como o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), além de leis federais. Portanto torna-se necessário realizar estudos para avaliar os impactos causados por estes PGTs. Segundo Maia et al. (2012) estes estudos devem avaliar como a capacidade das vias de acesso e da vizinhança absorve o aumento no fluxo de veículos. Além disso, Tavares (2011) recomenda uma avaliação das condições do tráfego antes e depois da implantação do empreendimento, permitindo uma análise ao longo do tempo.

Aeroportos caracterizam-se como PGTs por serem empreendimentos que geram grande demanda de viagens terrestres pelo elevado número de passageiros, acompanhantes, funcionários e alta quantidade de carga que por ele circulam. Durante o processo de planejamento de implantação e desenvolvimento de aeroportos é importante que se avaliem os impactos gerados nas áreas urbanas do entorno. Horonjeff et al. (2010) afirmam que o Plano Diretor Aeroportuário (PDIR), que orienta o desenvolvimento do aeroporto, deve conter informações sobre o sistema de acesso viário terrestre, os modos públicos e privados de transporte e dados de tráfego.

De acordo com Budd, Ison e Ryley (2011) o aumento na demanda por transporte aéreo nos últimos anos levou a um aumento no volume de tráfego terrestre no acesso aos aeroportos, sendo este acesso feito principalmente por transporte privado. Portanto, os acessos tornaram-se um componente crítico no sistema de transporte aéreo, sofrendo com congestionamentos e redução da qualidade do ar.

Se as previsões de crescimento no tráfego aéreo se mostrarem precisas é provável que estes problemas se agravem no futuro (BUDD; ISON; RYLEY, 2011). No Brasil há grande expectativa para crescimento, visto que o mercado ainda é incipiente. McKinsey & Company (2010) afirmam que a taxa de viagens por habitante é de cerca de 0,3 viagem/habitante por ano, em comparação

a 1,7 viagem/habitante por ano em países desenvolvidos. McKinsey & Company (2010) também afirmam que a expectativa é que esta taxa atinja o valor de 0,7 viagem/habitante em 2030, mais que dobrando em 20 anos.

Diante do desafio de prever como o aumento da demanda pode impactar os sistemas de transporte, foram criadas técnicas analíticas e de simulação para análise de desempenho. Estas técnicas foram desenvolvidas nas últimas décadas e vêm sendo aperfeiçoadas constantemente. Dentre estas técnicas, a simulação computacional de tráfego se mostra como uma ferramenta valiosa. Elefteriadou et al. (2014) argumentam que os modelos de simulação de tráfego podem auxiliar no planejamento dos sistemas de tráfego ao prever as condições de operação em situações futuras para diferentes cenários. A utilização destes métodos permite a exploração de diferentes alternativas em um ambiente simulado sem que seja necessário interromper a operação do tráfego local evitando transtornos aos usuários e minimizando custos operacionais. Além disso, Freitas et al. (2001) afirmam que é possível aperfeiçoar soluções preservando a sociedade de custos indesejáveis decorrentes da implantação de medidas não testadas.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Elaborar um modelo de simulação aplicando técnicas de análise de performance para estudos de tráfego urbano e utilizando conceitos de estudos de impacto de polos geradores.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- a) Obter dados para a modelagem da infraestrutura para uma área de estudo.
- b) Modelar a demanda considerando particularidades de um aeroporto como polo gerador.
- c) Empregar técnicas de engenharia de tráfego para a análise de áreas urbanas.
- d) Analisar as vantagens e as dificuldades de aplicação de simulação de tráfego em um estudo de polo gerador de tráfego.
- e) Explorar as informações obtidas pelo uso de modelos de simulação para propor melhorias no sistema viário.
- f) Criar e analisar cenários alternativos.

## 1.2 Limitações do trabalho

Não é esperado que os resultados deste trabalho possam ser utilizados na prática, como se refletissem de maneira correta a realidade. Este estudo está contido no escopo de um trabalho acadêmico de graduação em que o foco está na aplicação de técnicas e métodos. As limitações se devem principalmente ao fato de que não foram levantados dados primários em campo e foram somente utilizados dados secundários disponíveis que não permitem a modelagem da demanda de forma robusta e próxima à realidade. Estes dados secundários disponíveis foram levantados por outras entidades para pesquisas feitas em outros contextos e anteriores a este trabalho.

Além desta principal limitação gerada pela utilização de dados imprecisos, outras limitações do trabalho são:

- a) O trabalho envolve somente a modelagem do transporte privado motorizado e não engloba a modelagem do transporte coletivo;
- b) Não é feita a calibração e validação do modelo do cenário atual;
- c) Utilização do método do fator do crescimento para projeção da demanda.

## 2 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica está dividida em 4 seções. Primeiramente são introduzidos, de forma básica, importantes conceitos e métodos do planejamento e modelagem de transportes. Em seguida, são abordados temas ligados a ferramentas computacionais de simulação de tráfego. O nível macroscópico de simulação foi abordado em maior detalhe, pois foi o tipo de simulação utilizado neste trabalho. A terceira seção trata de polos geradores de tráfego de maneira geral e a última trata especificamente do caso de estudos de aeroportos como PGTs.

### 2.1 Planejamento e modelagem de transportes

O planejamento de transportes tem como objetivo definir medidas ou estratégias para adequar a oferta de transporte com a demanda existente ou futura (CAMPOS, 2013). Para a definição de medidas adequadas de melhorias nos sistemas de transportes é necessário estimar a demanda de transportes prevendo como ela se distribui espacialmente e ao longo do tempo. Ainda segundo Campos (2013), estas estimativas são feitas utilizando métodos de projeção ou modelos de planejamento de transporte que modelam o comportamento da demanda em uma região.

Um modelo é uma representação simplificada de uma parte do mundo real com foco em certos elementos considerados importantes (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Para a elaboração de um modelo matemático qualquer é necessário fazer suposições sobre como este funciona na realidade e traduzir este sistema de funcionamento para relações lógicas e matemáticas. Segundo Azevedo Filho (2012) os modelos de transportes explicam o funcionamento do sistema de transportes baseando-se na ocupação do solo da área de estudo e nas atividades ali desenvolvidas. De maneira geral, os modelos utilizados durante o processo de planejamento de transportes envolvem estimativa da demanda e posterior análise da relação entre esta demanda e a oferta.

O principal método para planejamento de transportes, conhecido como modelo clássico de transporte ou método sequencial, teve sua estrutura principal definida na década de 60 e se manteve quase inalterada desde então (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Este modelo está dividido em 4 etapas e por isso também é chamado de Modelo 4 Etapas. As etapas são:

1. Geração de viagens;
2. Distribuição de viagens;
3. Divisão modal;
4. Alocação de viagens.

Segundo Azevedo Filho (2012), este modelo vem sendo usado há muitos anos por engenheiros e outros profissionais da área acadêmica, de órgãos governamentais e de empresas de consultoria para estimar a demanda futura de uma região e assim permitir a definição de medidas de melhoria adequadas.

De acordo com Ortúzar e Willumsen (2011), a elaboração destes modelos engloba a obtenção e análise de diversos dados socioeconômicos, de empregos, de zoneamento, de infraestrutura e de atividade comercial e de lazer. A coleta destes dados é fundamental no processo de modelagem de transportes por fornecer o diagnóstico do padrão de viagens na área de estudos e suas características. Segundo Bruton (1979) as pesquisas necessárias para o levantamento de dados consomem tempo e exigem expressivos recursos humanos e financeiros, portanto é necessário um bom planejamento durante esta fase, definindo exatamente quais informações serão pesquisadas e como.

Após a obtenção destes dados torna-se possível a realização dos processos de modelagem da demanda de movimentação de pessoas e cargas e a modelagem da oferta, que é constituída pelo sistema de transportes.

### **2.1.1 Modelagem da demanda**

Para lidar com a distribuição espacial da demanda de transportes em uma grande área, o método mais comum é dividir a área de estudo em zonas codificadas que serão posteriormente processadas com a ajuda de programas computacionais (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Campos (2013) define estas zonas de tráfego como a unidade básica de análise e afirma que elas podem obedecer a alguma divisão censitária ou administrativa. Leite (2003) afirma que as zonas devem apresentar características preponderantemente homogêneas quanto ao uso e ocupação do solo ou podem meramente ser determinadas por separação geográfica, tal como um conjunto de bairros em uma área urbana. Para cada zona de tráfego pode ser definido um ponto central como sendo o centroide da zona e tal ponto é considerado o local de origem e destino de todas as viagens de e para esta zona de tráfego.

Com a configuração espacial de centroides definida, é possível partir para a análise da demanda de transporte entre estas zonas de tráfego em um determinado cenário temporal. Esta demanda de transporte entre as zonas pode ser contabilizada por número de viagens, de veículos ou quantidade de carga.

Pode-se representar a demanda através de volumes em seções transversais ou proporções de volumes de movimentos divergentes nas interseções (estados de tráfego), mas uma das maneiras mais comuns de representar a demanda é através de uma matriz origem e destino (O-D). A matriz O-D é um elemento fundamental para o planejamento e tomada de decisão. Leite (2003) esclarece que ela permite a avaliação de alternativas e simulação de fluxos de tráfego. Segundo Ortúzar e

Willumsen (2011), as matrizes O-D representam as viagens realizadas durante um período de tempo especificado e podem ser desagregadas por meio de transporte, tipo de usuário ou motivo da viagem.

Em uma matriz O-D bidimensional as linhas e colunas representam cada uma das zonas de tráfego da área de estudo e as células contêm os números relacionados com a demanda entre a linha de origem e coluna de destino. A diagonal principal corresponde a viagens intrazonais.

Em um exemplo de uma matriz genérica com  $Z$  linhas e  $z$  colunas, podemos chamar de  $T_{ij}$  o número de viagens entre uma zona de origem  $i$  e uma zona de destino  $j$ .  $O_i$  representa o total de viagens originadas em uma zona  $i$  e  $D_j$  o total de viagens atraída por uma zona  $j$ . Esta matriz genérica está ilustrada na Figura 1.

Figura 1: Exemplo de matriz O-D genérica

| Origens         | Destinos |          |          |              |               | $\sum_i T_{ij}$        |
|-----------------|----------|----------|----------|--------------|---------------|------------------------|
|                 | 1        | 2        | 3        | ...j         | ...z          |                        |
| 1               | $T_{11}$ | $T_{12}$ | $T_{13}$ | ... $T_{1j}$ | ... $T_{1z}$  | $O_1$                  |
| 2               | $T_{21}$ | $T_{22}$ | $T_{23}$ | ... $T_{2j}$ | ... $T_{2z}$  | $O_2$                  |
| 3               | $T_{31}$ | $T_{32}$ | $T_{33}$ | ... $T_{3j}$ | ... $T_{3z}$  | $O_3$                  |
| ⋮               |          |          |          |              |               |                        |
| i               | $T_{i1}$ | $T_{i2}$ | $T_{i3}$ | ... $T_{ij}$ | ... $T_{iz}$  | $O_i$                  |
| ⋮               |          |          |          |              |               |                        |
| Z               | $T_{z1}$ | $T_{z2}$ | $T_{z3}$ | ... $T_{zj}$ | ... $T_{z z}$ | $O_z$                  |
| $\sum_i T_{ij}$ | $D_1$    | $D_2$    | $D_3$    | ... $D_j$    | ... $D_z$     | $\sum_{ij} T_{ij} = T$ |

Fonte: Adaptado de Ortúzar e Willumsen (2011)

Durante a modelagem da demanda pode-se utilizar matrizes de viagens ou matrizes de veículos. É possível fazer relações entre estes dois tipos de matrizes com a utilização de taxas de ocupação de veículos. Este valor varia de acordo com a região e o tipo de veículo. Para o caso de São Paulo, uma pesquisa da Companhia de Engenharia de Tráfego de 2011 estima uma taxa de 1,4 passageiros por carro<sup>1</sup>. Em Florianópolis, o Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis (PLAMUS) utiliza uma taxa de ocupação de veículos de 1,3 passageiros por veículo de passeio (PLAMUS, 2015a).

As matrizes O-D podem ser geradas a partir de pesquisas de origem e destino, que através de uma amostra de entrevistas buscam representar a demanda como um todo para uma região. Segundo Campos (2013), as pesquisas O-D em áreas urbanas podem ser realizadas no domicílio,

<sup>1</sup><<https://oglobo.globo.com/brasil/sao-paulo-tem-media-de-14-ocupante-por-carro-2695421>>, acesso em 01/05/2020.

nos locais de trabalho e no sistema de transporte. Após a coleta em campo destes dados é feita a expansão da amostra visando representar todas as viagens da área de estudo.

Uma matriz O-D obtida por meio de uma pesquisa O-D somente representa o cenário atual, mas também é muito importante prever a demanda futura para verificar se a infraestrutura atual será suficiente para atender ao crescimento de demanda ao longo dos anos. O ano futuro utilizado no planejamento varia de acordo com o nível de planejamento utilizado, Hutchinson (1974) afirma que este nível de planejamento varia desde planos conceituais com horizontes de 30 a 40 anos até planos detalhados de 1 ano ou menos, dependendo do propósito específico. Hutchinson (1974) também aponta que planos de sistemas de transporte são desenvolvidos normalmente por períodos de 20 anos e atualizados em intervalos de cerca de 5 anos.

Para projetar uma matriz O-D do cenário atual para anos futuros pode-se utilizar o método do fator do crescimento. De acordo com Campos (2013), este método possibilita determinar o número de viagens futuras em função de variáveis que influenciam seu crescimento. Esta estimativa de viagens é feita utilizando-se um fator multiplicador que é aplicado à matriz do ano base. A fórmula geral deste método está apresentada na Equação 1.

$$T_i = F_i \cdot t_i \quad (1)$$

onde:

- $T_i$  = número de viagens futuras produzidas na zona de tráfego  $i$ ;
- $F_i$  = fator de crescimento;
- $t_i$  = número de viagens no ano base.

Ainda segundo Campos (2013), a estimativa do fator  $F_i$  depende da escolha das variáveis que melhor definem este fator. Estas variáveis podem envolver informações como: população, renda, propriedade de veículos, etc. Campos (2013) afirma que este método é de fácil entendimento, mas é mais indicado para planejamento de curto e médio prazo, pois não leva em consideração mudanças nos custos de transporte e na rede ou novos modos de transporte, novos links e novas zonas de tráfego.

A demanda futura também pode ser estimada a partir de métodos associados às etapas de geração e distribuição de viagens do planejamento de transportes. A utilização destes métodos do Modelo 4 Etapas permite que se estime a demanda futura considerando projeções de mudanças dos dados demográficos e socioeconômicos utilizados.

De acordo com Huang (2003), primeiramente, na etapa de geração de viagens, o número de viagens produzidas e atraídas por cada uma das zonas é calculado a partir de dados demográficos e de atividades econômicas. Depois disso, Huang (2003) afirma que, a distribuição de viagens é

feita baseando-se no grau de atratividade das zonas e no custo (financeiro ou ligado ao tempo e à distância) associado ao deslocamento entre zonas.

### 2.1.2 Modelagem da oferta

A peça chave da modelagem da oferta é a representação da malha de transportes (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Segundo Bruton (1979), esta representação requer o cadastramento periódico das vias principais e redes de transporte público, da demanda e oferta de estacionamento e tempos de viagem atualizados. A descrição dessa malha de transportes em um modelo computacional pode ser feita com diferentes níveis de detalhamento e requer a especificação de sua estrutura, propriedades e atributos.

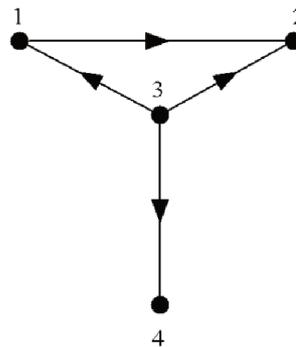
Ortúzar e Willumsen (2011) comentam que o método mais comum para a representar a malha viária é utilizando a teoria de grafos orientados, também chamados de dígrafos. Este método consiste em um sistema de nós (*nodes*) e arcos (*links*) em que os nós representam interseções e os arcos representam trechos homogêneos de vias entre cruzamentos.

Segundo Barceló et al. (2010), estes nós contêm as informações sobre quais movimentos são permitidos nas interseções e os arcos recebem diversas características das seções de vias que representam, como: capacidade, velocidade máxima, número de faixas, modos de transporte que podem utilizar a via, densidade de congestionamento e outros.

Conforme apresentado na seção anterior, as matrizes O-D são definidas conforme a configuração de centroides das zonas de tráfego. Para que essas viagens possam percorrer a malha viária, se deslocando de um centroide a outro, normalmente são utilizados elementos chamados conectores. Hensher et al. (2004) define estes conectores como arcos artificiais que conectam cada centroide a um ou mais nós da malha viária.

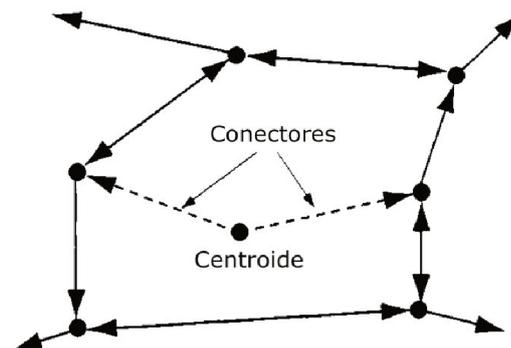
A Figura 2 apresenta um exemplo genérico de grafo direcional em que os arcos são representados por linhas unidirecionais e os nós são representados por círculos e numerados de 1 a 4. A Figura 3 apresenta um exemplo de conectores conectando um centroide à rede viária.

Figura 2: Exemplo de grafo direcional



Fonte: Prestes (2016)

Figura 3: Exemplo de conectores em uma rede viária



Fonte: Hensher et al. (2004)

### 2.1.3 Alocação de tráfego

Após os processos de modelagem da demanda e da oferta, é necessário formalizar a relação entre estas duas variáveis para completar a construção do modelo (BARCELÓ et al., 2010).

De acordo com Campos (2013), os métodos de alocação fazem a verificação do equilíbrio entre a oferta e a demanda ao realizar a distribuição do fluxo de viagens pela rede de transportes. Esta distribuição do fluxo objetiva reproduzir o processo de escolha de rotas dos indivíduos nas suas viagens entre as zonas de origem e zonas de destino, a partir de informações sobre a demanda e sobre as características topológicas e operacionais da rede viária.

O método mais simples para alocação de tráfego é o método tudo ou nada que, segundo Campos (2013), se baseia na definição da melhor rota (menor distância, menor tempo ou menor custo de

viagem) entre uma origem e um destino. Neste método todo o fluxo passaria por esta rota, independentemente da capacidade dela. Ortúzar e Willumsen (2011) afirma que este método pressupõe que não há efeitos de congestionamento e que todos os motoristas utilizam os mesmos critérios para a escolha da rota.

No entanto, o método de seleção de rotas mais utilizado nos principais modelos de transporte é o método de equilíbrio para o usuário (*user equilibrium*) (BARCELÓ et al., 2010). Este método considera as características dinâmicas do sistema, assumindo que a rota com tempo mínimo de viagem pode variar dependendo da hora e do volume das vias.

O método de equilíbrio para o usuário se inclui nos modelos de equilíbrio que se baseiam nos princípios de Wardrop de alocação equilibrada (WARDROP, 1952 apud CAMPOS, 2013):

- os tempos de viagem nas rotas utilizadas são iguais ou menores que aqueles que poderiam ser experimentados por um único veículo em qualquer outro caminho não usual;
- o tempo total de viagem de todos os motoristas é mínimo.

Portanto, partindo-se destes princípios, se assume que os usuários tentam minimizar seus tempos de viagem individuais e assim escolhem as rotas que percebem ser as mais curtas, mais rápidas ou de menor custo generalizado sob as condições de tráfego do momento e respeitando as restrições de circulação e a capacidade viária.

Com os volumes alocados na malha viária, é possível verificar qual o efeito destes volumes nos tempos de viagens dos usuários, que aumentam com o crescimento da relação volume/capacidade. Campos (2013) afirma que é possível medir esta variação no tempo de viagem utilizando "curvas ou funções de desempenho" que relacionam o fluxo alocado com o tempo de viagem na via em função das características desta. ITE (2016b) afirma que a construção destas funções de desempenho é um dos elementos mais importantes do processo de alocação.

Segundo Spiess (1990), para a maior parte dos métodos de alocação, este efeito é definido por funções de volume-atraso (*volume-delay functions*), que expressam o tempo de viagem ( $t$ ) em um arco em função do volume ( $v$ ) e da capacidade ( $c$ ). Portanto o tempo de viagem total é o resultado do tempo de viagem em fluxo livre ( $t_0$ ) multiplicado por uma função normalizada de congestionamento.

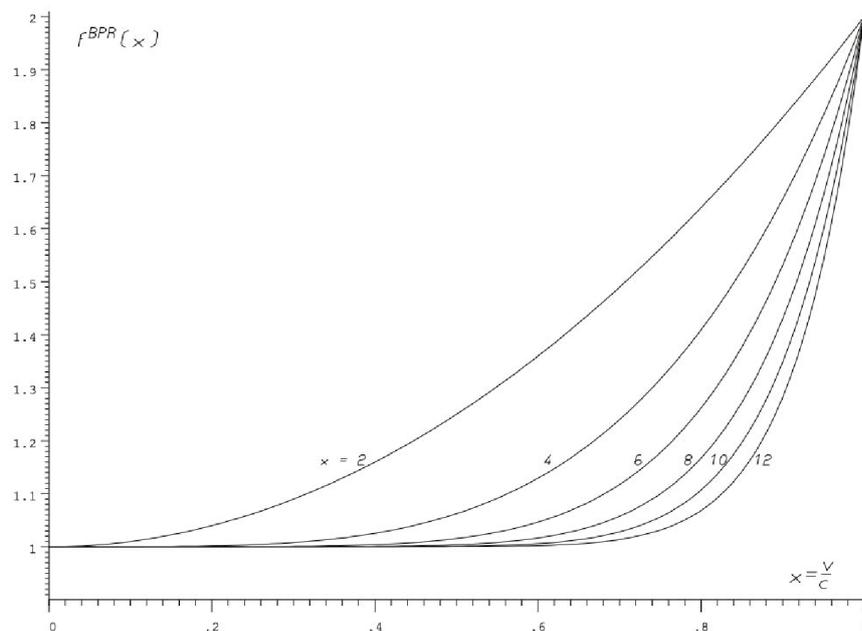
$$t = t_0 \cdot f\left(\frac{v}{c}\right) \quad (2)$$

Muitas funções de volume-atraso foram propostas e utilizadas no passado, de acordo com Spiess (1990), as mais utilizadas são as funções do BPR (*Bureau of Public Roads*). A função de congesti-

onamento proposta pelo BPR tem sua estrutura apresentada na Equação 3 e a Figura 4 apresenta um gráfico com seu resultado para diferentes alfas.

$$f^{BPR}(x) = 1 + x^\alpha \quad (3)$$

Figura 4: Função de congestionamento proposta por BPR para diferentes valores de alfa



Fonte: Spiess (1990)

Pode-se notar o caráter exponencial deste tipo de função, em que o tempo de viagem aumenta rapidamente após um certo valor de volume ser atingido.

## 2.2 Simulação de tráfego

Segundo FHWA (2004), modelos de simulação podem ser usados para modelagem de demanda, análise de operações de tráfego e estudos da interação entre uso de solo e sistemas de transportes. De acordo com Medeiros (2012), estes modelos de simulação de tráfego surgiram na década de 60 e desde então foram aperfeiçoados. Através do desenvolvimento tecnológico, evolução da capacidade dos computadores e novos *softwares*, atualmente é possível simular de forma mais eficiente o sistema real e resolver problemas de grande escala de uma forma mais simples (VILARINHO, 2008). Com o uso destas ferramentas pode-se simplificar o processo de tomada de decisão ao testar

cenários alternativos e verificar benefícios e impactos antes de implementar tais soluções em campo, economizando recursos e possibilitando maior segurança.

De acordo com Tavares e Pereira (2015), um modelo de tráfego geralmente consiste na representação dos componentes da infraestrutura, como a rede viária, linhas de transporte público e controle de tráfego. Ainda segundo os autores, os componentes do fluxo de tráfego (usuários, pedestres e veículos) têm então seus movimentos replicados nesta infraestrutura simulada de forma a reproduzir as condições operacionais do sistema viário.

Ao comparar ferramentas de simulação com técnicas analíticas, FHWA (2004) argumenta que as ferramentas de simulação permitem avaliar a dinâmica de congestionamentos ao dividir o período analisado em pequenos segmentos de tempo e assim acompanhar a formação, dissipação e duração de congestionamentos de tráfego. Também é possível observar a interferência e impacto dos congestionamentos para além da região onde se forma a fila.

Araújo (2003) descreve que os modelos são classificados de acordo com o nível de agregação, variando em nível de detalhamento e com diferentes maneiras de representar o tráfego. Estes três tipos ou níveis de modelos de simulação são definidos por FHWA (2004) da seguinte maneira:

- modelos de simulação macroscópicos: são baseados na relação determinística entre fluxo, velocidade e densidade de tráfego, se baseiam em análise de seções da via e não consideram veículos individuais.
- modelos de simulação mesoscópicos: combinam as propriedades de modelos macroscópicos e microscópicos. Assim como nos modelos microscópicos, a unidade do fluxo de tráfego é o veículo individual, seus movimentos, no entanto, seguem a lógica dos modelos macroscópicos e são regidos pela velocidade média da via.
- modelos de simulação microscópicos: simulam o movimento individual dos veículos e são baseados nas teorias de perseguição de veículos e mudança de faixa. Para cada veículo é definido um destino, um tipo de veículo e um tipo de condutor.

A utilização de tais ferramentas de simulação, no entanto, apresenta certos desafios e limitações. FHWA (2004) cita como principais: necessidade de obtenção de diversos dados de entrada de qualidade, alto tempo de análise, custos financeiros e treinamento de pessoal.

### **2.2.1 Simulação em nível macroscópico**

Os modelos macroscópicos são caracterizados por terem menor nível de detalhe, sem que haja distinção entre os veículos. Além disso, a macrossimulação caracteriza-se também por ser utilizada em grandes áreas com correntes de tráfego ininterruptas (SILVA, 2018). São utilizadas variáveis

agregadas e o modelo define a relação entre a densidade de tráfego, a velocidade média e o fluxo de tráfego (SIMÕES, 2005).

Segundo Vasconcelos (2004), estes modelos são de grande aplicabilidade em processos onde as características macroscópicas, como os volumes, são de maior interesse. De acordo com FHWA (2004) ferramentas de simulação macroscópicas são mais adequadas que as microscópicas para análise de extensas regiões de estudo que englobam toda uma cidade. Silva (2018) afirma que "um modelo macroscópico tem como objetivo caracterizar áreas de considerável dimensão como por exemplo, cidades ou vários bairros".

Segundo FHWA (2004) as ferramentas de macrossimulação permitem a análise dos seguintes índices de performance:

- velocidade;
- tempo de viagem;
- volume;
- densidade;
- atraso;
- comprimento da fila.

Quando comparados com modelos de microssimulação, a simulação macroscópica exige menos dados de entrada e menor capacidade computacional e tempo de processamento, no entanto seus resultados são apresentados de forma mais abstrata, dificultando a criação de apresentações animadas em três dimensões (FHWA, 2004).

## 2.3 Polos geradores de tráfego (PGT)

Grandes empreendimentos de alta atratividade foram por muitos anos denominados somente como Polos Geradores de Tráfego (PGT), e são definidos por DENATRAN (2001) como empreendimentos de grande porte com alta produção e atração de viagens que causam reflexos negativos na circulação viária de seu entorno. Segundo Gonçalves et al. (2012) estudos de PGT enfocam em impactos no estacionamento e na circulação veicular de automóveis, estando limitados ao âmbito do tráfego e não considerando outros níveis de impacto. Ainda segundo Gonçalves et al. (2012), esses estudos e conceitos evoluíram, ampliando a abrangência dos impactos. Por isso Kneib, Silva e Portugal (2010) adotam o termo Polo Gerador de Viagens (PGV) que é mais amplo e abrange aspectos socioeconômicos e de qualidade de vida da população. Deste modo, ao se denominar estes empreendimentos como Polos Geradores de Viagens, também estão incluídas as viagens não motorizadas, as viagens por transporte público e de cargas (GONÇALVES et al., 2012).

No âmbito internacional não há esta distinção de termos. Em fontes norte-americanas normalmente é utilizado o termo *Trip Generation* ou Empreendimento de Impacto Regional (*Development of Regional Impact*) e o estudo que analisa o impacto nos sistemas de transportes é chamado de Estudo de Impacto de Tráfego (*Traffic Impact Analysis* ou *Traffic Impact Study*) (ITE, 2016b). Andrade e Portugal (2012) afirmam que o *Trip Generation*, do Instituto de Engenheiros de Transporte (ITE), é uma das publicações mais prestigiadas e comumente referenciadas, e nesta fonte é utilizado somente o termo *Trip Generation*.

Como o maior foco deste trabalho é no estudo do tráfego rodoviário, utilizou-se o termo Polo Gerador de Tráfego. No entanto, na revisão bibliográfica foram consultadas fontes que utilizam o termo PGV e outras que utilizam o termo PGT, pois ambas apresentam análises, dados e diretrizes que podem ser utilizadas em um estudo de PGT, visto que o conceito de PGT está englobado no conceito de PGV, que é mais amplo.

### 2.3.1 Métodos de análise de impactos

Os estudos de impactos visam analisar as mudanças e efeitos nos sistemas de transportes causados pela implantação de um PGT (ITE, 2016b). Gonçalves (2012) afirma que a compreensão dos impactos gerados pelos PGVs contribui para a adoção de medidas mitigadoras mais efetivas que ajudam a manter o nível de bem estar da população.

Segundo ITE (2016b), os estudos de impacto estão focados em: estimar a geração de viagens pelo empreendimento, compreender como estas viagens chegam e partem e analisar os trajetos utilizados pelos usuários pela rede de transportes.

Há diversas propostas de procedimentos para análise de impactos disponíveis na literatura. Cunha et al. (2012) analisam vários destes procedimentos classificando-os pelo tipo de empreendimento analisado (*shopping centers* ou empreendimentos no geral) e pelo tipo de impacto considerado (ambiental, no sistema viário e no sistema de transportes). Apesar de apresentarem variações, todos os procedimentos têm a mesma estrutura básica.

A partir da análise feita por Cunha et al. (2012) e tomando como referência os métodos de análise com foco no sistema viário propostos por CET (1983), Cybis, Lindau e Araújo (1999) e ITE (2005), foram selecionadas as mais importantes etapas dos procedimentos de análise de impactos destes autores. As etapas que representam esta estrutura básica são as seguintes:

1. caracterização da rede de transportes e da área de influência;
2. geração de viagens;
3. estudo de distribuição de viagens e de divisão modal;
4. alocação de viagens;

5. análise do impacto na área do entorno e vias de acesso;

Em relação à geração de viagens, ITE (2016b) divide as viagens em tráfego gerado pelo PGT e tráfego de passagem. O tráfego de passagem (*pass-by*) representa viagens que ocorrem independente da existência do PGT, mas utilizam a malha viária adjacente ao empreendimento.

A fim de se realizar estes estudos de impacto de maneira precisa é necessária a obtenção de vários dados. Segundo ITE (2016b) as principais informações necessárias para a avaliação dos impactos são:

- características da malha viária e sistema de transportes atual;
- características dos empreendimentos existentes e propostos da região;
- tráfego futuro gerado pelo PGT estimado;
- volume de tráfego combinado nas vias de acesso próximas;
- taxa de crescimento de tráfego;
- adequação do sistema viário;
- necessidades do sistema;
- planos de acesso.

Pode-se fazer um paralelo dos métodos de análise de impactos de PGT com o Modelo 4 Etapas. Segundo Andrade e Portugal (2012), para as três últimas etapas, o processo é muito similar ao método tradicional, mas para primeira etapa, a geração de viagens ganha um novo significado. Andrade e Portugal (2012) explicam que o foco deixa de ser uma zona e passa a ser um determinado empreendimento. Portanto é preciso calcular o volume de viagens produzidas e atraídas por este estabelecimento.

Sendo assim, há uma vasta literatura que trata de taxas de geração de viagens para diferentes tipos de PGTs: *shopping centers*, supermercados, estabelecimentos de ensino, indústrias e muitos outros. A partir das particularidades de cada empreendimento busca-se criar uma relação entre o número de viagens gerada e uma variável independente. Segundo Andrade e Portugal (2012), esta variável independente explicará estatisticamente o volume de viagens geradas pelo PGV. Algumas variáveis tipicamente utilizadas são: área bruta locável, área total construída e número de empregados, residências ou escritórios.

### 2.3.2 Definição da abrangência espacial da área de estudo

A área de estudo para a avaliação dos efeitos causados pela presença de PGVs está ligada à abrangência dos seus impactos e pode ser compreendida em duas diferentes áreas: área crítica e

área de influência (GONÇALVES et al., 2012). A área de influência é mais abrangente e está ligada à influência espacial do empreendimento em termos de demanda gerada. A área crítica, por outro lado, tem menores dimensões e dentro dos seus limites os impactos do PGV são mais significativos e visíveis, havendo os maiores problemas de fluidez e circulação viária (TOLFO, 2006).

Antonio (2012) compara as duas áreas afirmando que a área de influência está associada ao raio de alcance do poder de atração do empreendimento, por outro lado, a área crítica é utilizada para avaliar o impacto nos sistemas de transportes e nas vias de acesso que serão mais utilizadas pela demanda atraída pelo polo.

Silva (2018) comenta que a maior parte da bibliografia ligada ao assunto trata da área de influência de shopping centers, estes métodos não serão abordados, pois fogem do escopo deste trabalho. De acordo com Gonçalves et al. (2012), a delimitação da área crítica é encontrada com menos frequência na literatura. É possível encontrar alguns estudos que tratam deste assunto principalmente em fontes norte-americanas. Um exemplo é o manual de planejamento de transportes do Instituto de Engenheiros de Transportes (ITE, 2016b) que define que os limites da área de estudo de um PGT qualquer devem ser baseado no uso do solo da região, tamanho do empreendimento, padrão de sistema rodoviário e terreno.

Os mesmos autores ainda afirmam que um método frequentemente utilizado para determinar os limites desta área de estudo se baseia na relação entre oferta e demanda: a área crítica deve contemplar trechos das vias de acesso em que 5% ou mais da capacidade seja ocupada por viagens geradas pelo PGT. Além disso deve-se levar em conta interseções críticas próximas ao empreendimento que estejam congestionadas, próximas de atingirem a capacidade ou com risco de atingir deterioração operacional a partir de um aumento pequeno de tráfego. A Tabela 1 apresenta orientações para determinação de limites da área crítica baseada em características do estabelecimento, definidas por ITE (2016b).

Tabela 1: Diretrizes para determinação de limites da área crítica

| PGT  | Limites da área crítica   |
|--|---|
| Restaurante <i>fast-food</i> .<br>Posto de serviço com ou sem <i>fast-food</i> .   | Interseção adjacente se estiver localizada na esquina.  |
| Minimercado ou postos de gasolina com loja de conveniência.  | 200 m para cada pista de acesso.  |
| Empreendimentos com menos de 200 viagens durante o horário de pico.  | 304 m para cada pista de acesso.  |
| <i>Shopping center</i> com menos de 6500 m <sup>2</sup> .<br>Empreendimentos com taxa de viagens entre 200 e 500 no horário de pico.   | Todas as interseções sinalizadas e pistas de acesso a 800m de distância do local e as principais interseções não sinalizadas a 400m do local. |
| <i>Shopping center</i> entre 6500 m <sup>2</sup> e 9300 m <sup>2</sup> de Área Bruta Locável (ABL).<br>Escritórios ou parque industrial com o número de funcionários entre 300 e 500.<br>Empreendimentos de uso misto balanceado com mais de 500 viagens no horário de pico. | Todas as interseções sinalizadas, as principais interseções não sinalizadas e pistas de acesso a 1600m.                                       |
| <i>Shopping center</i> com mais de 9300 m <sup>2</sup> de ABL.<br>Escritórios ou parque industrial com mais de 500 funcionários.<br>Todos os empreendimentos com mais de 500 viagens no horário de pico.   | Todas as interseções sinalizadas e pistas de acesso a 3200m e as principais interseções não sinalizadas a 1600m.                              |
| Estação de trânsito.   | 805m de raio  |

Fonte: Adaptado de ITE (2016b)

### 2.3.3 Definição do cenário temporal de estudo

O fluxo de viagens geradas pelo PGT, assim como de viagens em geral, varia de acordo com a hora do dia, dia da semana e mês do ano. Portanto deve-se escolher um dia e hora de projeto para o qual o modelo será elaborado. ITE (2008) afirma que deve-se analisar diferentes dias e horas visando determinar em qual momento ocorre o pico de fluxo de tráfego. Para o dia de projeto, ITE (2004 apud ANDRADE; PORTUGAL, 2012) recomenda que se procure estudar dias típicos, evitando férias ou feriados para evitar grandes oscilações.

Sobre a hora de projeto, ITE (2008) afirma que, na maior parte dos casos, o volume de tráfego gerado pelo PGT combinado com o volume de tráfego das vias do entorno atinge seu máximo durante as horas de pico tradicionais. No entanto, Andrade e Portugal (2012) comentam que o pico do tráfego de passagem e do volume gerado pelo PGV nem sempre são concomitantes. Neste

caso, ITE (2016b) afirma que a análise deve ser feita para a hora do dia em que ocorre o volume de tráfego máximo combinado na rede viária do entorno.

Quando há somente dados de volumes diários, a partir dos quais queira-se calcular volumes horários, pode-se utilizar o fator  $k$  que relaciona volumes horários com volumes diários. Este fator é definido por ITE (2016a) através da Equação 4.

$$k = \frac{VHP}{VMDa} \quad (4)$$

onde:

- VHP = volume horário de projeto;
- VMDa = volume médio diário anual.

Este fator também pode ser chamado de Percentagem de Pico Horário (PPH), quando o volume horário se refere à hora de pico (MONTEIRO; GOLDNER, 2011).

Além da definição do dia e hora de projeto para o cenário atual, também é necessário considerar que a demanda varia ao longo dos anos. Portanto é necessário definir o cenário temporal de planejamento, ou seja, qual ano será utilizado para o estudo de impactos. Segundo Gonçalves (2012), esta escolha varia conforme o tipo do empreendimento estudado, seu porte e seu potencial de geração de viagens.

Este horizonte temporal se dá em duas fases: no período que antecede a inauguração e que inclui a etapa de obras e o período após a inauguração quando há início do acesso do público (GONÇALVES et al., 2012). Segundo Gonçalves (2012), a preocupação com os impactos que antecedem a implantação do empreendimento, é resultado do acréscimo de veículos no meio viário, principalmente de veículos industriais como caminhões, máquinas e tratores.

ITE (2016b) afirmam que a definição do horizonte temporal deve levar em conta o tamanho do empreendimento e se há grandes mudanças planejadas para o sistema de transportes na área de estudo. As recomendações de ITE (2016b) para empreendimentos em geral estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Diretrizes para determinação do horizonte de estudo segundo ITE (2016b)

| Tamanho do empreendimento               | Horizonte de estudo  |
|---|--|
| Pequeno (<500 viagens na hora pico)     | Um ano antes da inauguração  |
| Médio (500 a 1000 viagens na hora pico) | Um ano antes da inauguração e 5 anos após a inauguração  |
| Grande (> 1000 viagens na hora pico)    | Um ano antes da inauguração e 5 anos após a inauguração ou ano de horizonte do plano de transportes adotado para a região. |

Fonte: Adaptado de ITE (2016b)

Uma outra publicação norte-americana, do *Maricopa County Department of Transportation* (MCDOT), vai além e sugere um horizonte maior, de 20 anos, para empreendimentos com mais de 1000 viagens na hora pico (MCDOT, 2008 apud GONÇALVES et al., 2012).

Para o caso brasileiro, Gonçalves (2012) estabeleceu uma relação entre o potencial de impactos do empreendimento e o horizonte temporal dos estudos, se baseando em publicações norte-americanas e no estudo de Kneib (2004). A proposta de Gonçalves (2012) para um empreendimento qualquer pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3: Diretrizes para determinação do horizonte de estudo segundo Gonçalves (2012)

| Viagens Geradas no Horário de Pico | Horizonte Temporal                          |  |   |
|------------------------------------|---|--|---|
|                                    | Curto Prazo (até um ano após a inauguração) | Médio Prazo (de um a cinco após a inauguração) | Longo Prazo (de três a dez anos após a inauguração) |
| 100 a 499                          | X   | -  | -   |
| 500 a 999                          | X   | O  | -   |
| 1000 a 1499                        | -   | X  | O   |
| a partir de 1500                   | -   | -  | X   |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| X | Fortemente recomendado    |
| O | Moderadamente recomendado |
| - | Sem recomendação          |

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2012)

#### 2.3.4 Uso de simulação na análise de PGTs

Para a análise de impactos gerados por PGTs podem ser utilizadas técnicas analíticas, como o HCM (*Highway Capacity Manual*) ou teoria de filas, e técnicas que envolvem ferramentas de simulação computacional (CUNHA et al., 2012).

Tavares (2011) conclui em seu estudo que os indicadores de desempenho derivados de modelos de simulação de tráfego em nível microscópico possibilitam avaliar o impacto de novos empreendimentos em ambientes urbanos já consolidados. Tavares (2011) também afirma que ferramentas de simulação permitem identificar pontos críticos onde o impacto das viagens geradas pelo empreendimento afeta significativamente o desempenho, criando pontos de gargalo.

Segundo Gonçalves (2012), os modelos de simulação apresentam vantagens quando comparados com as ferramentas analíticas, mas envolvem mais recursos para a sua execução. Gonçalves (2012) também sugere que as ferramentas analíticas sejam utilizadas somente para PGTs com baixo potencial de impacto e que para PGTs maiores sejam utilizadas técnicas de simulação. Shannon (1992 apud PORTUGAL, 2005) recomenda a utilização de simulação nas seguintes situações:

- quando a simulação fornece uma solução mais simples que os métodos analíticos disponíveis;
- quando existe uma necessidade de redução do tempo para o estudo de um fenômeno de médio e longo prazo;
- quando a observação de um determinado sistema, ou condução de um determinado experimento, apresente uma grande dificuldade, ou impossibilidade, de realização;
- quando a verdadeira natureza do sistema possa ser invalidada pelas hipóteses simplificadoras necessárias para um determinado método analítico.

Segundo Cybis, Lindau e Araujo (2002), quanto maior a extensão da malha viária e a quantidade de veículos afetados, mais complexas e maiores se tornam as exigências requeridas pela análise. Nestes casos o uso de ferramentas computacionais possibilitam simular, de forma adequada e consistente, a viabilidade de medidas que provoquem impacto sobre o tráfego.

Sobre a utilização de ferramentas de simulação de tráfego em estudos de impacto de PGTs, Cybis, Lindau e Araujo (2002) afirmam:

"Os modelos de alocação e simulação de tráfego constituem ferramentas adequadas pois permitem estimar, em ambiente computacional, o provável comportamento do tráfego associado a alterações na rede viária ou na demanda por viagens. Assim, a abrangência da análise dos impactos de uma medida não fica mais restrita às vias próximas, mas passa a compreender a rede viária como um todo."

Segundo Freitas et al. (2001), através de parâmetros estimados pelos modelos de simulação computacional em nível macroscópico é possível caracterizar o tráfego com maior nível de detalha-

mento que através de técnicas analíticas. Em um estudo de impacto de PGT Freitas et al. (2001) utilizaram os seguintes parâmetros para comparação entre cenários:

- somatório dos tempos perdidos em filas nas interseções saturadas;
- somatório dos tempos de viagem e das distâncias percorridas;
- velocidade geral média na rede;
- volumes de tráfego em vias locais;
- relação volume/capacidade;
- atrasos nos movimentos de conversões.

## 2.4 Aeroportos como PGTs

Segundo Goldner, Nascimento e Pinto (2014) os aeroportos são um dos principais PGTs em áreas urbanas, por atrair grande número de viagens de passageiros, acompanhantes e funcionários. O acesso terrestre a aeroportos é de grande importância durante o processo de planejamento, pois, de acordo com Alves e Strambi (2011), em alguns casos, o tempo de acesso ao aeroporto pode ser maior do que o dedicado à viagem aérea propriamente dita. Isto se explica pelo fato de que o deslocamento até o aeroporto pode ser seriamente afetado pelo congestionamento de tráfego em grandes áreas urbanas.

Se considerarmos que as vias de acesso aos aeroportos se inserem na malha viária da cidade e são utilizadas por outros usuários, o volume de tráfego de veículos gerado pelo aeroporto pode impactar negativamente na operação desta infraestrutura viária, que muitas vezes já sofre com congestionamentos.

Assim como a operação do aeroporto afeta o desempenho da malha viária, falhas na infraestrutura urbana também afetam o funcionamento do aeroporto. Segundo Mamede e Alves (2009), um acidente em uma via de acesso pode provocar atrasos em massa e, conseqüentemente, grandes filas no *check-in*, atraso em vôos e insatisfação dos clientes.

Mamede e Alves (2009) afirmam que o acesso de um aeroporto é de grande interesse para o administrador aeroportuário, mas que os meios de acesso não estão sob sua responsabilidade. Diante desta situação, Goldner, Nascimento e Pinto (2014) sustentam que o planejamento dos acessos terrestres deve ser feito tanto pelo órgão gestor da cidade assim como pela administração do aeroporto, visando um desempenho satisfatório da infraestrutura aeroportuária.

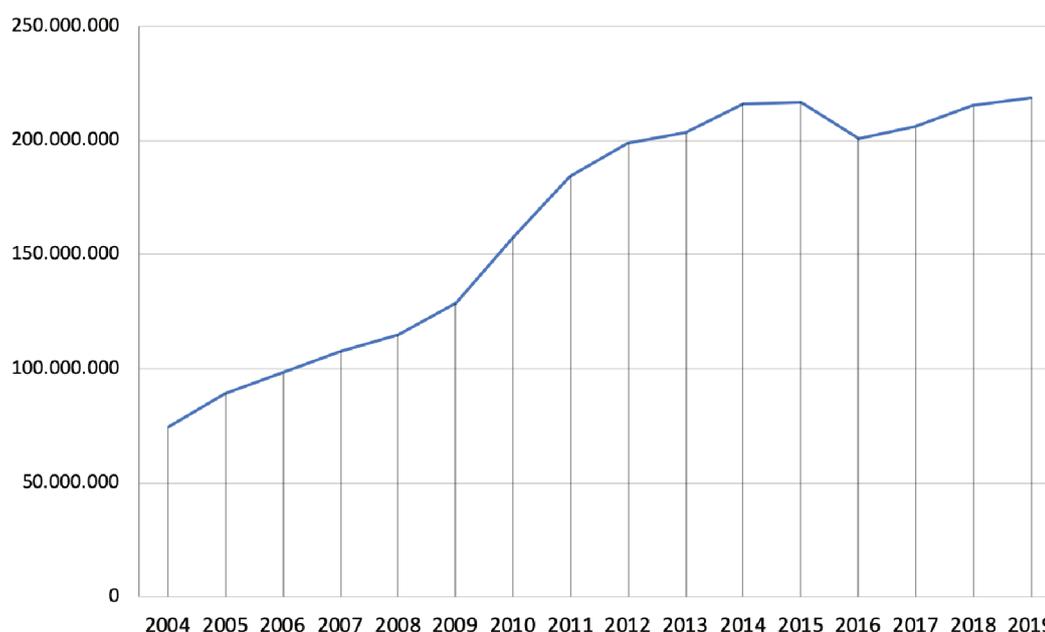
Ferreira, Stevens e Baker (2006) argumentam que além da administração aeroportuária e do órgão gestor da cidade existem outras partes interessadas envolvidas. Companhias aéreas, comunidades do entorno, operadores de trânsito e outros gestores da infraestrutura muitas vezes têm

objetivos conflitantes e também devem fazer parte do processo de planejamento e da definição de objetivos.

#### 2.4.1 Demanda por transporte aéreo

A demanda por transporte aéreo tem apresentado crescimento nos últimos anos no Brasil. Segundo McKinsey & Company (2010), o aumento no tráfego aéreo acompanhou o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), a melhoria da economia como um todo e a inclusão de passageiros das classes B e C. A Figura 5 apresenta o crescimento na demanda no Brasil a partir de dados da Secretaria Nacional de Aviação Civil (2019) da movimentação de passageiros somada em mais de 300 aeroportos brasileiros entre 2004 e 2019.

Figura 5: Movimentação de passageiros somada para aeroportos brasileiros entre 2004 e 2019



Fonte: Adaptado de Secretaria Nacional de Aviação Civil (2019)

Pode-se observar que a demanda apresentou queda no ano de 2016, isto demonstra que a demanda acompanha oscilações do PIB brasileiro, que apresentou quedas nos anos de 2015 e 2016, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)<sup>2</sup>. Segundo ACI (2019), o Brasil foi o sexto país que mais contribuiu para o crescimento da demanda por transporte aéreo no mundo entre 2000 e 2018. Ainda segundo ACI (2019), no ano de 2018 foram transportados 8,8 bilhões de

<sup>2</sup><<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/22966-revisao-do-pib-de-2016-mostra-queda-de-3-3-em-relacao-ao-ano-anterior>>, acesso em 06/06/2020.

passageiros por transporte aéreo em todo o mundo e o número de movimentações de aeronaves foi de 99,9 milhões.

Além do crescimento no número de passageiros, tem-se observado nos últimos anos uma tendência mundial de incrementar o ambiente aeroportuário com lojas, restaurantes e até hotéis, visando um impulso na renda deste empreendimento (COELHO; PORTUGAL; RIBEIRO, 2007). Estes novos estabelecimentos dentro dos aeroportos, aliados ao crescimento da demanda de passageiros leva a um aumento no número de pessoas que circulam no aeroporto e conseqüentemente a um maior número de viagens que se dirigem ao PGT.

#### 2.4.2 Demanda de transporte terrestre em aeroportos

É possível estimar a demanda gerada por aeroportos através de taxas de geração de viagens. Estas taxas são particularmente úteis nos casos em que o empreendimento ainda não foi construído e se deseja obter valores de números de viagens a partir de características do aeroporto planejado (variáveis independentes).

Para o caso do *Trip Generation* (ITE, 2008), já citado anteriormente como uma das principais fontes de taxas de geração de viagens, os modelos de geração de viagens para os aeroportos comerciais relacionam o número de viagens diárias com as variáveis: número médio de vôos por dia, número de vôos comerciais por dia e número de empregados do aeroporto (ITE, 2008 apud MONTEIRO; GOLDNER, 2011). Alguns métodos também relacionam o número de viagens ou número de veículos com a área do terminal, área para transporte de cargas, áreas industriais e outros (RUHL; TRNAVSKIS, 1998).

No entanto, há críticas a estes modelos de estimativas. Segundo Chambers (2015), as taxas do ITE não geram equações de curvas adequadas ou resultados precisos. Chambers (2015) comparou dados reais medidos em campo através de contagens com estimativas do ITE e de outros órgãos governamentais norte-americanos. Chambers (2015) conclui que as estimativas produzidas pelos modelos superestimaram de maneira ampla as reais viagens veiculares. Para alguns aeroportos os modelos projetaram uma demanda de 200 milhões de viagens veiculares anuais quando o valor medido em campo foi de 25 milhões de viagens anuais.

Uma maneira alternativa de realizar a modelagem da demanda por transporte terrestre em aeroportos, sem utilizar taxas de geração de viagens, é estimando a demanda com base em entrevistas com passageiros. Ferreira, Stevens e Baker (2006) afirmam que devem ser feitas pesquisas de geração de viagens, de escolha de modo de transporte e de uso de solo no entorno do aeroporto. Gosling (2011) também complementa, afirmando que a análise de aeroportos como PGTs requer informações sobre a distribuição geográfica das viagens terrestres dos passageiros e que normalmente estas informações são obtidas através de entrevistas com passageiros. Segundo Gosling (2011), estas entrevistas identificam a origem ou destino da viagem para ou do aeroporto com um certo nível de

detalhe (por exemplo através do código postal). Também pode-se perguntar a natureza da origem ou destino: casa, escritório, hotel e etc.

Ainda sobre a modelagem da demanda, deve-se considerar que ela não é composta somente por passageiros do transporte aéreo. De acordo com Budd (2016), muitos passageiros são acompanhados até o aeroporto por amigos ou parentes que desejam se despedir na partida ou cumprimentar os passageiros na chegada. Em alguns aeroportos esse número de acompanhantes pode ser significativo, especialmente nos aeroportos com maior número de viagens de lazer em comparação à viagens de negócios.

Alguns estudos buscam estimar taxas de acompanhantes para cada passageiro. MBA Empresarial (1991 apud MEDEIROS, 2004) em seu estudo sobre o perfil dos passageiros nos principais aeroportos brasileiros chegou a um valor médio de 0,5 acompanhante por passageiro e 0,1 visitante por passageiro. Este mesmo valor foi utilizado por Alves (2015) e Coelho, Silva e Dinato (2012) em seus estudos sobre capacidade de terminal de passageiros de aeroportos regionais e de pequeno porte.

Uma outra estimativa do *Service Technique des Bases Aériennes* (STBA) de 1983 considera um coeficiente que leva em conta acompanhantes, visitantes e funcionários que varia entre 2 e 3 para cada passageiro (STBA, 1983 apud MEDEIROS, 2004). Zimmermann et al. (2012) utilizaram uma taxa de 1 acompanhante para cada passageiro em sua análise da capacidade dos componentes operacionais do terminal de passageiros do aeroporto Campinas.

A demanda por viagens terrestres geradas pelo aeroporto se divide em diversos modos de transporte. Segundo Monteiro e Goldner (2011), no exterior estas viagens são realizadas por automóveis, ônibus, trens e metrô, mas no Brasil a grande maioria dos aeroportos é acessada apenas por automóveis ou ônibus, sendo este último em percentual bem inferior.

Segundo Gosling (2008), a previsão da escolha do modo de transporte nas viagens geradas pelo aeroporto é um componente crítico no planejamento dos acessos terrestres aeroportuários. No entanto, Gosling (2008) complementa que não há um método validado e aceito de forma amplo para modelar este processo de escolha por parte dos usuários do aeroporto. Pesquisas sobre a divisão modal no acesso aeroportuário esclarecem quais são os modos de transporte mais utilizados.

Para o caso internacional, Coogan (2008) realizou uma análise sobre o acesso nos 27 principais aeroportos norte-americanos e a fração de viagens por transporte público variou entre 6% e 23%. Para o caso dos principais aeroportos da Europa e Ásia esta fração é muito superior, chegando a 64% no caso do aeroporto de Oslo e 63% para o aeroporto de Hong Kong (COOGAN, 2008).

Para o caso brasileiro, podemos utilizar como exemplo o maior aeroporto do país, o Aeroporto Internacional de São Paulo (Guarulhos). Em 2011 foi realizada neste aeroporto uma pesquisa com entrevistas nos portões de embarque com viajantes para destinos internacionais. Esta pesquisa, de Alves e Strambi (2011), afirma que somente 5% dos usuários utilizaram o ônibus para acessar o

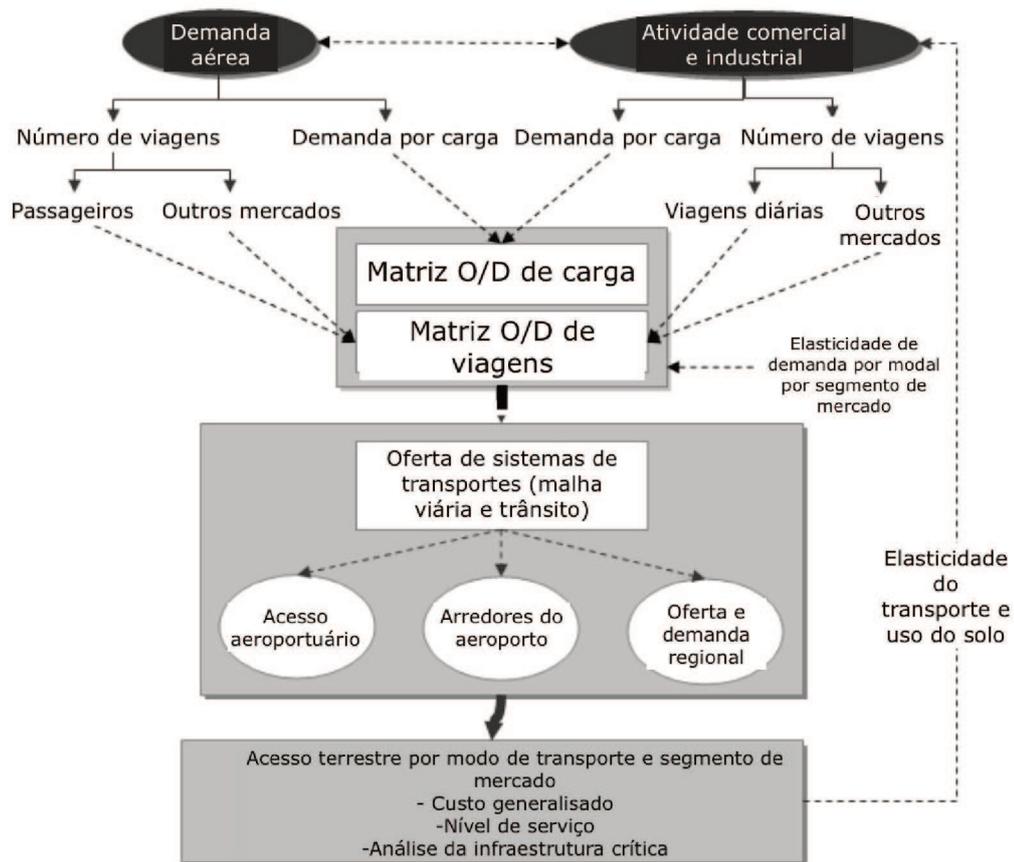
aeroporto, sendo este modo de transporte a única opção de acesso por transporte coletivo disponível para o ano da pesquisa.

### 2.4.3 Métodos de análise de aeroportos como PGTs

Segundo Ferreira, Stevens e Baker (2006), um modelo de transportes que envolva a análise da demanda por transporte terrestre de um aeroporto deve ser construído utilizando estratégias convencionais de modelagem de transportes adaptadas para a configuração de uso de solo no entorno do aeroporto e para o tipo de transporte que acontece na interface aeroporto-área urbana. Ainda de acordo com Ferreira, Stevens e Baker (2006), a modelagem da demanda se divide em demanda de passageiros e demanda de carga.

A Figura 6 apresenta o método proposto por Ferreira, Stevens e Baker (2006) para este tipo de análise.

Figura 6: Fluxograma do método para modelagem de transporte aeroportuário



Fonte: Adaptado de Ferreira, Stevens e Baker (2006)

O método proposto por Ferreira, Stevens e Baker (2006) estima a demanda de viagens terrestres e de carga a partir da demanda aérea e da atividade comercial e industrial na região. A demanda é representada em forma de matrizes O-D e após a análise da oferta de transportes disponível pode-se fazer uma análise a partir dos parâmetros de custo generalizado e de nível de serviço, além da análise da infraestrutura crítica.

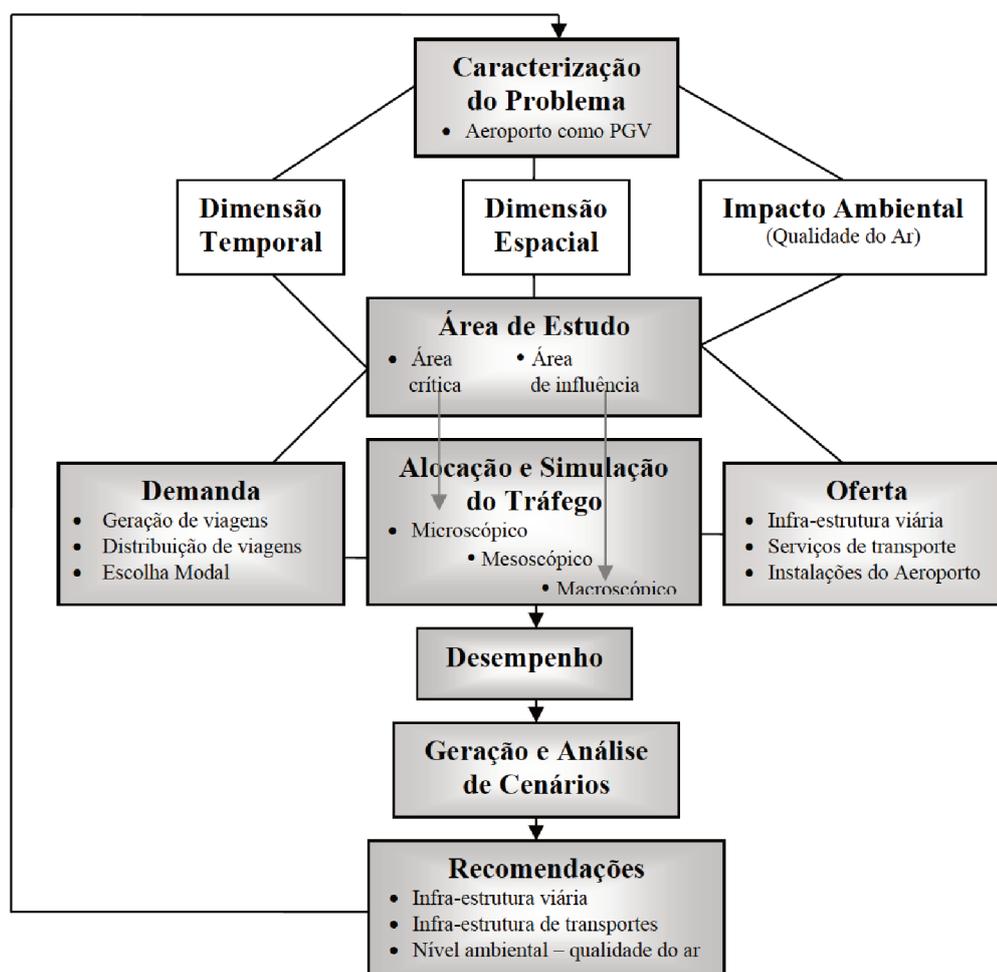
Outra pesquisa, de Coelho, Portugal e Ribeiro (2007), propõe um procedimento de análise de aeroporto como PGV com enfoque no impacto na qualidade do ar. Este procedimento está dividido em cinco etapas fundamentais: delimitação temporal, demanda, oferta, determinação da área crítica e da área de abrangência.

Segundo Coelho, Portugal e Ribeiro (2007), a análise da interação entre os elementos de demanda e oferta permite a avaliação do desempenho do sistema viário e de cada modalidade de transportes, seja na circulação, seja no estacionamento, bem como as repercussões na fluidez do tráfego, na segurança e na qualidade do ar.

Pode-se observar que este método segue a estrutura geral dos métodos para análise de impactos de PGTs apresentados na Seção 2.3.1. Comparado com o método proposto por Ferreira, Stevens e Baker (2006), este procedimento adiciona a delimitação do cenário temporal e das áreas crítica e de influência. No entanto, o procedimento não apresenta métodos específicos para cada uma das etapas, apresentando somente um procedimento de análise mais genérico.

Coelho, Portugal e Ribeiro (2007) recomendam a utilização de ferramentas computacionais de simulação na análise de desempenho sendo que sugerem *softwares* de nível macroscópico e mesoscópico para análises no âmbito da cidade e regional (de médio a longo prazo) e *softwares* de nível microscópico para análises no âmbito de bairro (curto prazo). A Figura 7 apresenta o procedimento proposto por Coelho, Portugal e Ribeiro (2007) para análise de um aeroporto como PGV.

Figura 7: Fluxograma do procedimento de análise de um aeroporto como PGV



Fonte: Coelho, Portugal e Ribeiro (2007)

#### 2.4.4 Área de influência e área crítica

No caso de aeroportos, a área de influência contempla a região em que está inserida a demanda de passageiros, podendo muitas vezes se estender por toda a metrópole (COELHO; PORTUGAL, 2012). Braga e Guedes (2008) definem no seu estudo o ponto localizado a duas horas do aeroporto como limite da área de influência, ultrapassando os limites da metrópole. Os autores não especificam as condições de tráfego nesse momento, se seria fluxo livre ou congestionado.

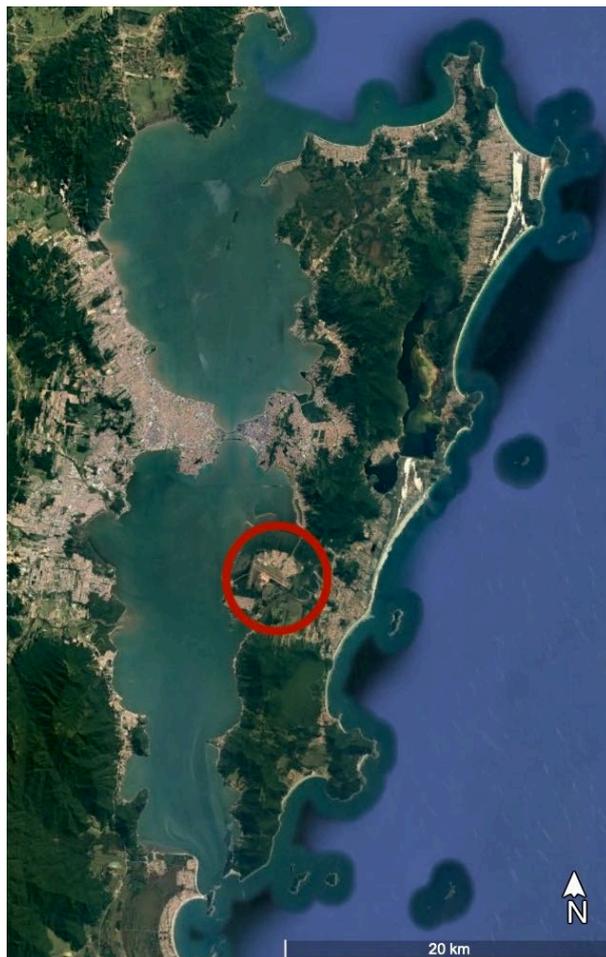
Coelho e Portugal (2012) afirmam que tipicamente a área de estudo para avaliação de impactos acaba se restringindo à área crítica, na qual os problemas de tráfego são mais visíveis e se inserem os principais corredores de acesso ao aeroporto.

Segundo Coelho e Portugal (2012), para definição da área crítica deve-se fazer uma análise das principais vias de acesso, dos modos de transporte que são utilizados para acessar o aeroporto e se existem outros PGVs próximos que podem influenciar o tráfego.

### 3 Área de estudo

O aeroporto de Florianópolis, também denominado Aeroporto Internacional Hercílio Luz<sup>3</sup>, está localizado no bairro Carianos, sul da Ilha de Santa Catarina, no município de Florianópolis, distante cerca de 12km do Centro<sup>4</sup>. Sua localização no município está representada na Figura 8.

Figura 8: Localização do aeroporto de Florianópolis



Fonte: Desenho do autor sobre imagens do *Google Earth*

A construção do aeroporto teve início na década de 1920. A partir de 1974 o Aeroporto de Florianópolis esteve sob a jurisdição da INFRAERO, que iniciou uma série de reformas, sendo a principal inaugurada em 1988, ampliando o terminal para 6.440 m<sup>2</sup>. O aeroporto foi elevado em 1995 à categoria de Aeroporto Internacional pelo Ministério da Aeronáutica e em 2000 o local

<sup>3</sup><<https://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-internacional-de-florianopolis-hercilio-luz/>>, acesso em 31/03/2020.

<sup>4</sup><<https://floripa-airport.com/localizacao.html>>, acesso em 28/03/2020.

foi ampliado e climatizado, passando dos antigos 6.440 m<sup>2</sup> para 8.440 m<sup>2</sup>. Uma última reforma aconteceu em 2010 expandindo a área para 9.540 m<sup>2</sup> (Ambiens Consultoria Ambiental, 2019).

Segundo Monteiro e Goldner (2011), no ano de 2011 a capacidade operacional do terminal era de 980.000 passageiros/ano, portanto quando comparamos esta capacidade com dados de movimentação do sistema Hórus (Figura 12), verificamos que a capacidade do terminal já havia sido esgotada há vários anos.

O crescimento da demanda, incentivado pelo crescimento econômico da região e aumento do turismo levou o aeroporto a ser o 15º mais movimentado do Brasil em 2012 com uma movimentação anual de aproximadamente 3,2 milhões de pessoas (Secretaria Nacional de Aviação Civil, 2019). Neste mesmo ano, visando aumentar a capacidade operacional do aeroporto, iniciou-se uma obra de expansão, com obras de infraestrutura para a construção de um novo terminal: terraplenagem de todo o empreendimento, construção de pátio de estacionamento de aeronaves, *taxiways* e estacionamento de veículos (Ambiens Consultoria Ambiental, 2019).

Em 2017 a administração do aeroporto foi concedida para a iniciativa privada através de um contrato de concessão com duração de 30 anos. A operadora suíça *Zurich International Airport AG* foi a vencedora do leilão e assumiu a operação do aeroporto em janeiro de 2018, sob a identidade de *Floripa Airport*<sup>5</sup>.

Uma das condições do contrato de concessão envolvia a finalização da obra iniciada em 2012 contemplando a ampliação e melhorias das pistas de pouso e decolagem de aeronaves e a construção de um novo terminal de passageiros, localizado no lado sul da pista principal.

O novo terminal de passageiros, inaugurado em outubro de 2019, tem capacidade para receber até 8 milhões de passageiros por ano nos seus 49.000 m<sup>2</sup> de área construída. Possui dez pontes de embarque e 13 portões, além de dispor de um estacionamento com 2.580 vagas<sup>6</sup>.

Em paralelo à construção do novo terminal de passageiros, foi construído um novo acesso ao aeroporto, sob responsabilidade do Governo do Estado de Santa Catarina. O novo acesso aumentou a capacidade viária e modificou significativamente os fluxos de veículos para o aeroporto e para o Sul da Ilha<sup>7</sup>.

Durante a operação do terminal antigo, o acesso se dava pela Avenida Deputado Diomício de Freitas. Essa importante avenida, que conecta o bairro Carianos e o aeroporto à Rodovia SC-405 e à Rodovia Gov. Aderbal Ramos da Silva, foi duplicada até o ponto próximo ao Estádio da Ressacada onde trânsito foi desviado para a nova via de acesso que contorna a pista de pouso e decolagem e dá acesso ao novo terminal, localizado no lado sul da pista. O novo acesso também liga o aeroporto

<sup>5</sup><<https://bit.ly/35Y4i38>>, acesso em 28/03/2020.

<sup>6</sup><<http://transportes.gov.br/ultimas-noticias/9125-ministro-inaugura-novo-aeroporto-de-florianopolis.html>>, acesso em 28/03/2020.

<sup>7</sup><<https://www.anac.gov.br/noticias/2019/aeroporto-de-florianopolis-inaugura-novo-terminal-e-acesso-viario>>, acesso em 28/03/2020.

diretamente à SC-405, no bairro Campeche, e à rodovia Aparício Ramos Cordeiro que dá acesso ao bairro da Tapera e do Ribeirão da Ilha. A nova configuração de acessos está ilustrada na Figura 9, obtida do *site da Floripa Airport*<sup>8</sup>.

Figura 9: Acessos ao aeroporto de Florianópolis



Fonte: *Floripa Airport*

### 3.1 Legislação em Florianópolis

Alguns dispositivos do ordenamento jurídico, em diferentes esferas de poder, demonstram a preocupação das autoridades com os impactos negativos gerados pelos PGTs, buscando assim, mitigar os problemas gerados e melhorar a qualidade de vida da população.

No âmbito federal, a Lei 10.257, denominada Estatuto da Cidade, define o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) como um dos instrumentos de democratização da gestão urbana e atribui aos municípios a definição dos empreendimentos para os quais é exigida a elaboração deste estudo (BRASIL, 2001).

Para o caso de Florianópolis, a Prefeitura Municipal, na lei que institui o plano diretor de urbanismo do município (FLORIANÓPOLIS, 2014b) exige a elaboração do EIV para aeroportos, sendo

<sup>8</sup><<https://floripa-airport.com/noticias/mapa-como-chegar-no-novo-aeroporto-de-florianopolis.html>>, acesso em 29/03/2020.

que o Decreto 13.348 (FLORIANÓPOLIS, 2014a) descreve que o EIV deve conter a "identificação e avaliação dos impactos positivos e negativos do empreendimento ou atividade na área de influência relacionada" considerando a "nova estruturação e modificação na dinâmica da mobilidade urbana", além disso exige o dimensionamento do sistema viário e a identificação dos fluxos de circulação.

Também na lei do plano diretor de urbanismo do município (FLORIANÓPOLIS, 2014b), a prefeitura classifica as atividades consideradas pólos geradores de tráfego em Micro Pólos (PGT-1) e Macro Pólos (PGT-2) de acordo com o tipo de atividade e o tamanho do empreendimento. A mesma lei ainda afirma que os PGTs serão regidas por normas específicas quanto à localização, acessos, estacionamento, operacionalidade e aprovação de projetos.

No entanto, não foram encontradas exigências específicas que apresentassem qual abordagem técnica deve ser seguida na elaboração destes estudos.

O Termo de Referência para EIV<sup>9</sup> afirma que a consultoria especializada terá ampla liberdade de ação no que se refere aos métodos e técnicas utilizados nos trabalhos.

Em relação à geração de tráfego e demanda por transporte coletivo, o Termo de Referência afirma que se deve analisar os impactos causados pelo tráfego gerado sobre o sistema viário existente. Estes impactos devem ser medidos a partir de dados de volumes de tráfego e de velocidade média. A geração de tráfego deverá ser quantificada para os horários de pico e fora de pico, na baixa e na alta temporada e desagregada por tipo de veículo.

## 3.2 Dados disponíveis

Conforme apresentado na Seção 2.1, a elaboração de um estudo de tráfego engloba a obtenção e análise de diversos dados. Portanto, esta seção apresenta dados disponíveis para a área de estudo que foram obtidos através de órgãos públicos, em relatórios de estudos técnicos e em outras fontes públicas com dados disponíveis na *internet*. A Tabela 4 apresenta um resumo destes dados com suas respectivas fontes.

---

<sup>9</sup><[www.pmf.sc.gov.br/entidades/ipuf/index.php?cms=manuais+e+termos+de+referencia&menu=4&submenuid=612](http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/ipuf/index.php?cms=manuais+e+termos+de+referencia&menu=4&submenuid=612)>, acesso em 03/05/2020.

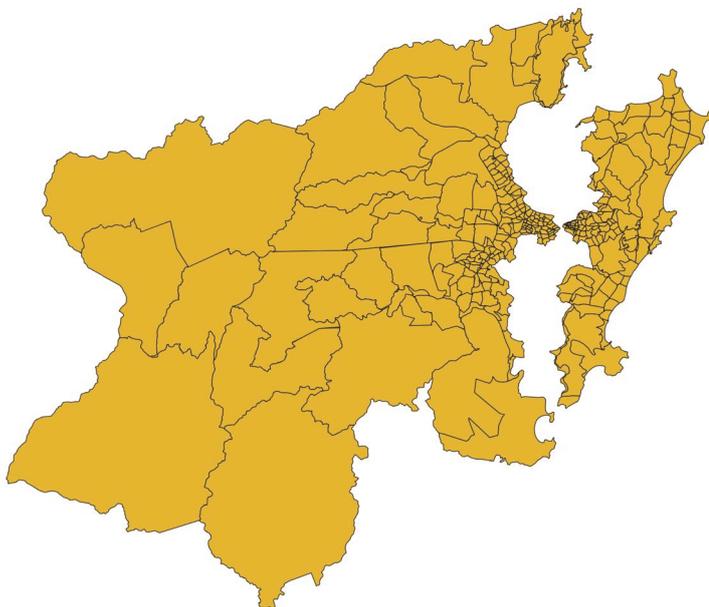
Tabela 4: Dados públicos sobre a área de estudo relevantes para um estudo de tráfego

| Nº | Dado                                    | Autor / Fonte                                  | Nome do Arquivo  | Link  |
|----|---|--|--|---|
| 1  | Pesquisa O-D                            | (Ambiens Consultoria Ambiental, 2019)          | Anexo 17 Pesquisa Origem-Destino.pdf                     | < <a href="https://drive.google.com/drive/folders/1WaCJI_aAICcM6gSw501Rt4lnTnjG-Lox">https://drive.google.com/drive/folders/1WaCJI_aAICcM6gSw501Rt4lnTnjG-Lox</a> >   |
| 2  | Pesquisa O-D                            | (PLAMUS, 2015c)                                | Diversos   | < <a href="https://observatoriodamobilidadeurbana.ufsc.br/publicacao/projetos-de-pesquisa/">https://observatoriodamobilidadeurbana.ufsc.br/publicacao/projetos-de-pesquisa/</a> >   |
| 3  | Frota de veículos                       | DETRAN/SC                                      | -  | < <a href="http://consultas.detranet.sc.gov.br/Estatistica/Veiculos/">http://consultas.detranet.sc.gov.br/Estatistica/Veiculos/</a> >   |
| 4  | Estimativa de movimentação              | (Ambiens Consultoria Ambiental, 2019)          | Anexo 16 Projeção do fluxo de passageiros.pdf            | < <a href="https://drive.google.com/drive/folders/1WaCJI_aAICcM6gSw501Rt4lnTnjG-Lox">https://drive.google.com/drive/folders/1WaCJI_aAICcM6gSw501Rt4lnTnjG-Lox</a> >   |
| 5  | Movimentação de passageiros             | (Ambiens Consultoria Ambiental, 2019)          | Anexo 15 Fluxo de Passageiros Aeroporto 2013-mar2018.pdf | < <a href="https://drive.google.com/drive/folders/1WaCJI_aAICcM6gSw501Rt4lnTnjG-Lox">https://drive.google.com/drive/folders/1WaCJI_aAICcM6gSw501Rt4lnTnjG-Lox</a> >   |
| 6  | Movimentação de passageiros             | Horus  | -  | < <a href="https://horus.labtrans.ufsc.br/gerencial/#Principal">https://horus.labtrans.ufsc.br/gerencial/#Principal</a> >   |
| 7  | Infraestrutura rodoviária               | <i>Open Street Map</i>                         | -  | < <a href="https://www.openstreetmap.org/">https://www.openstreetmap.org/</a> >   |
| 8  | Distribuição de viagens e divisão modal | (PLAMUS, 2015a)                                | -  | < <a href="https://observatoriodamobilidadeurbana.ufsc.br/publicacao/projetos-de-pesquisa/">https://observatoriodamobilidadeurbana.ufsc.br/publicacao/projetos-de-pesquisa/</a> >   |
| 9  | Área de influência                      | (JGP Consultoria e Participações et al., 2015) | -  | < <a href="https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/concessoes/andamento/evtea/florianopolis/florianopolis-estudos-de-mercado.pdf">https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/concessoes/andamento/evtea/florianopolis/florianopolis-estudos-de-mercado.pdf</a> > |

**Dado 1 - Pesquisa O-D (Ambiens Consultoria Ambiental, 2019)** Ambiens Consultoria Ambiental (2019) realizou uma pesquisa O-D no aeroporto de Florianópolis com passageiros, funcionários e tripulantes nos dias 9 e 12 de março de 2018. As 1651 entrevistas estão disponíveis em formato PDF e apresentam dados de viagens de e para 55 bairros de Florianópolis e outros municípios. Cada um dos registros no arquivo representa uma entrevista e cada uma das colunas apresenta uma diferente informação sobre as entrevistas. Não há dados geográficos sobre a configuração de centroides utilizada e a localização das origens e destinos é definida por cidade e bairro. Também não há informações sobre os horários das viagens.

**Dado 2 - Pesquisa O-D (PLAMUS, 2015c)** PLAMUS (2015c) realizou uma pesquisa O-D domiciliar entre os dias 10/04 a 12/07 de 2014 em um total de 5414 domicílios da Região Metropolitana de Florianópolis. A Região Metropolitana de Florianópolis foi dividida pelo PLAMUS em 327 zonas de tráfego e a pesquisa O-D considerou as viagens entre estas zonas. A estrutura das zonas com sua localização e limites está disponível em formato *shapefile*, um formato para bases de dados geoespaciais e vetoriais em SIG (Sistema de Informações Geográficas). A Figura 10 apresenta a estrutura do zoneamento para toda a Região Metropolitana de Florianópolis.

Figura 10: Zonas de tráfego da Região Metropolitana de Florianópolis



Fonte: PLAMUS (2015c)

**Dado 3 - Frota de veículos** O Departamento Estadual de Trânsito do Estado de Santa Catarina (DETRAN/SC) apresenta dados da frota de veículos no município de Florianópolis ao longo dos anos.

Tabela 5: Número de automóveis no município de Florianópolis por ano

| Ano  | Número de automóveis |
|------|----------------------|
| 2003 | 121464               |
| 2004 | 133014               |
| 2005 | 137570               |
| 2006 | 143961               |
| 2007 | 151490               |
| 2008 | 160549               |
| 2009 | 169416               |
| 2010 | 180511               |
| 2011 | 189539               |
| 2012 | 198580               |
| 2013 | 205869               |
| 2014 | 213204               |
| 2015 | 217572               |
| 2016 | 220494               |
| 2017 | 222487               |
| 2018 | 225225               |
| 2019 | 228946               |
| 2020 | 231855               |

Fonte: Adaptado de (DETRAN/SC, 2020)

Os dados estão disponíveis mês a mês de 2003 a 2020. A Tabela 5 apresenta dados da frota de automóveis de cada um dos anos sempre para o mês de janeiro.

**Dado 4 - Estimativa de movimentação** Este dado está anexo ao EIV do novo terminal do aeroporto (Ambiens Consultoria Ambiental, 2019) e apresenta uma tabela em formato PDF com a estimativa na movimentação de passageiros, desagregados em voos internacionais, domésticos ou de aviação geral, no aeroporto de Florianópolis, ano a ano até o ano de 2050.

O documento não apresenta o método escolhido ou a regressão utilizada para a determinação da estimativa de crescimento e somente está disponível o resultado final, ou seja, os valores de movimentação para cada ano.

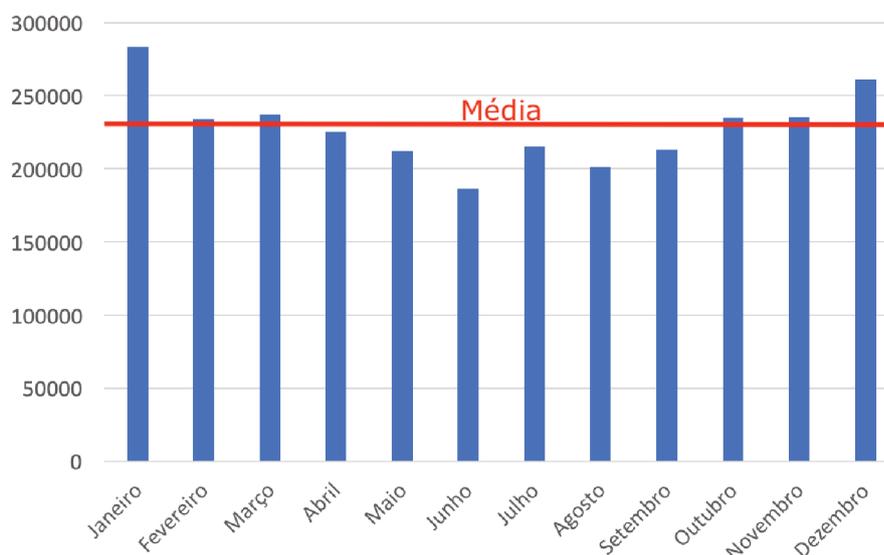
**Dado 5 - Movimentação de passageiros (Ambiens Consultoria Ambiental, 2019)** Os dados de movimentação horária foram fornecidos pela *Floripa Airport*, estando anexos ao EIV (Ambiens Consultoria Ambiental, 2019). Estes dados, em formato PDF, apresentam a movimentação de passageiros hora a hora para todos os dias entre janeiro de 2013 e março de 2018.

### Dado 6 - Movimentação de passageiros (Secretaria Nacional de Aviação Civil, 2019)

Os dados de movimentações mensais foram obtidos através do sistema Hórus da Secretaria Nacional de Aviação Civil (SAC) que apresenta dados da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). O sistema Hórus foi desenvolvido com a colaboração do Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans) e concentra informações sobre movimentação de passageiros, aeronaves, carga e mala postal de mais de 300 aeroportos brasileiros desde o ano de 2004. O sistema permite o *download* destes dados em formato *csv* (*comma-separated values* ou valores separados por vírgula), que podem ser filtrados e analisados em um *software* de planilha eletrônica.

A Figura 11 ilustra as movimentações médias mensais entre os anos de 2004 e 2018 para o aeroporto de Florianópolis.

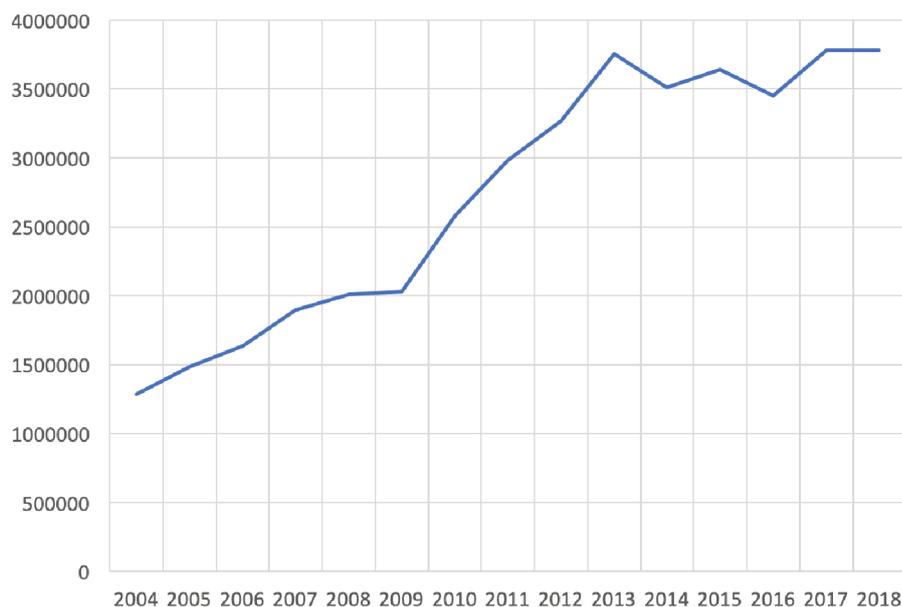
Figura 11: Movimentações médias mensais de passageiros no aeroporto de Florianópolis



Fonte: Adaptado de Secretaria Nacional de Aviação Civil (2019)

A Figura 12 apresenta dados de movimentação anual de passageiros no aeroporto de Florianópolis. Pode-se observar que entre 2004 e 2013 houve um crescimento na movimentação anual de passageiros. Após 2013 a movimentação sofreu quedas e aumentos, se aproximando de uma média 3,7 milhões de passageiros por ano.

Figura 12: Movimentação anual de passageiros no aeroporto de Florianópolis



Fonte: Adaptado de Secretaria Nacional de Aviação Civil (2019)

**Dado 7 - Infraestrutura rodoviária** Dados de infraestrutura rodoviária foram obtidos através do *Open Street Map* (OSM). O OSM é uma plataforma de dados abertos construída coletivamente que mantém um banco de dados de dados vetoriais georreferenciados de rodovias e muitos outros componentes da infraestrutura de transportes<sup>10</sup>. O OSM possui uma ferramenta para visualização online, mas também é possível fazer o *download* dos dados do OSM diretamente para um *software* que processa dados georreferenciados. A Figura 13 ilustra como é representada a malha viária nesta ferramenta de visualização online.

<sup>10</sup><[www.openstreetmap.org/about](http://www.openstreetmap.org/about)>, acesso em 25/03/2020.

Figura 13: Dados do OSM para a região de Florianópolis

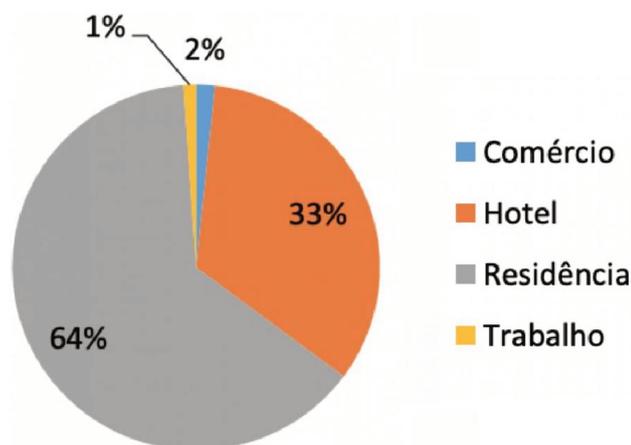


Fonte: Elaborado pelo autor com dados do OSM

O OSM concentra informações da infraestrutura de diversos tipos de transporte: calçadas, ciclovias, ferrovias, paradas de ônibus, rotas de balsa e muitas outras. Cada uma destas vias é identificada através de uma categoria de arco (*link*). Os elementos da malha rodoviária, por exemplo, podem ser categorizados em autoestradas, rodovias primárias, rodovias secundárias, rodovias terciárias, ruas residenciais e outros. Além disso, esses arcos recebem características como número de faixas, tipo de pavimento, capacidade e velocidade máxima.

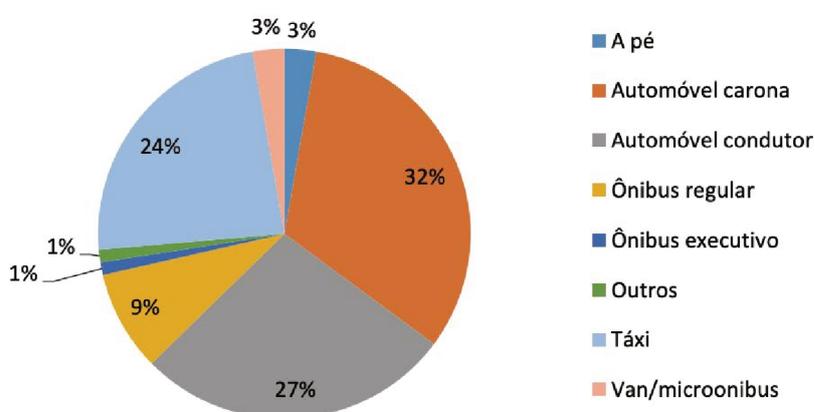
**Dado 8 - Distribuição de viagens e divisão modal** PLAMUS (2015a) realizou uma pesquisa em que foram entrevistados passageiros, acompanhantes, funcionários do aeroporto e tripulação. Esta pesquisa apresenta dados sobre as origens e destinos dos usuários e também o modo de transporte utilizado para acessar o aeroporto. Os resultados estão ilustrados nas Figuras 14 e 15. Pode-se observar que o modo de transporte motorizado individual é o mais utilizado, representando 83% das viagens.

Figura 14: Origem ou destino dos usuários do aeroporto de Florianópolis



Fonte: (PLAMUS, 2015a)

Figura 15: Modo de acesso ao aeroporto de Florianópolis



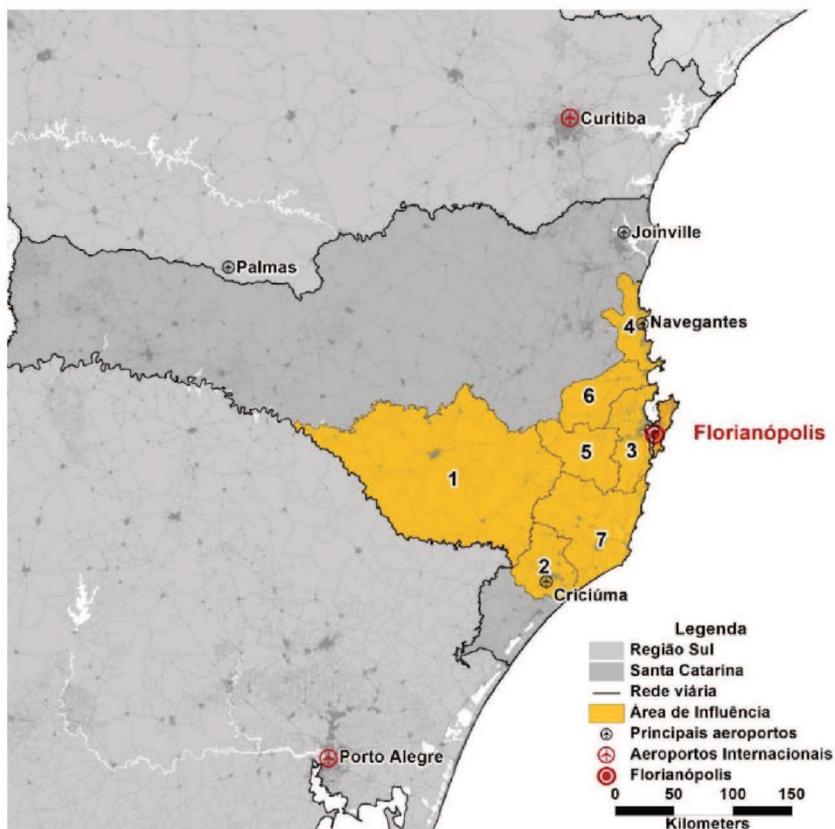
Fonte: (PLAMUS, 2015a)

**Dado 9 - Área de influência** JGP Consultoria e Participações et al. (2015) definiram a área de influência do aeroporto de Florianópolis utilizando dados do IBGE de caracterização da rede urbana e regiões de influência das cidades. Também foi considerada interferência dos aeroportos de Curitiba e Porto Alegre que competem com o aeroporto de Florianópolis em algumas regiões fronteiriças, servidas por ambos os aeroportos.

A área de influência definida por JGP Consultoria e Participações et al. (2015) está apresentada na Figura 16. Pode-se observar que a área de influência ultrapassa a região metropolitana de

Florianópolis pelo fato de moradores de outras cidades do estado também utilizarem o aeroporto de Florianópolis.

Figura 16: Área de influência do aeroporto de Florianópolis



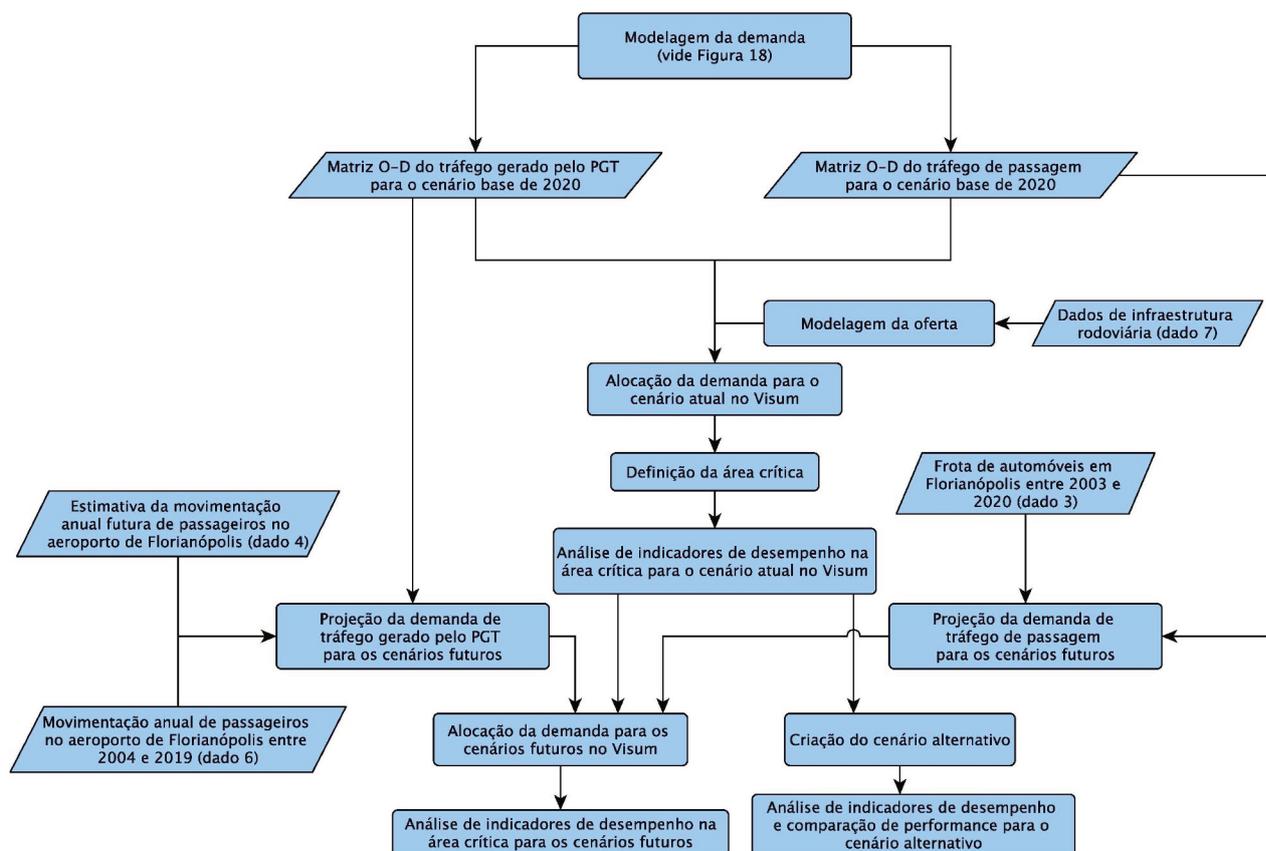
Fonte: JGP Consultoria e Participações et al. (2015)

## 4 Método

O método se baseia na análise da relação entre demanda e oferta para o cenário base de 2020 e horizontes futuros (anos de 2029 e 2039). O método propõe um estudo de tráfego apoiado em premissas técnicas de análise de impactos gerados por PGT e considerando a demanda gerada pelo polo gerador estudado para a avaliação do desempenho do tráfego na área crítica. A modelagem da demanda está baseada na elaboração de matrizes O-D e a modelagem da oferta na representação da malha viária. Após a modelagem da oferta e da demanda, a alocação de viagens é feita em um modelo de simulação de tráfego em nível macroscópico no *software* Visum. Por fim, são analisados indicadores de desempenho para os diferentes horizontes temporais e é criado um cenário alternativo para avaliar os resultados nos parâmetros provenientes de mudanças na infraestrutura.

A Figura 17 apresenta o fluxograma geral do método. Adicionalmente, a Figura 18, na seção 4.1, apresenta um fluxograma específico para a modelagem da demanda.

Figura 17: Fluxograma geral do método



Cada uma das etapas do método é apresentada mais detalhadamente nas próximas seções. Mas, primeiramente são apresentadas algumas considerações gerais sobre o método:

1. Conforme apresentado na Seção 2.3.1, de maneira geral, estudos de impacto de PGTs são feitos antes da implantação do novo empreendimento, visando estimar as mudanças que serão causadas no tráfego na região de entorno. No entanto, o novo terminal do aeroporto já está em operação. Nesta situação, é feita uma adaptação dos métodos tradicionais para análise de impacto.
2. Para a definição do horizonte de projeto foram utilizadas as diretrizes apresentadas nas seções 2.1.1 e 2.3.3. Desta maneira busca-se gerar dados para basear um plano com ações imediatas e ações de médio e longo prazo.
3. O estudo do sistema de transportes está limitado à modelagem do transporte privado motorizado, conforme apresentado na Seção 1.2. Esta simplificação é feita pelo fato de que a modelagem do transporte coletivo é mais trabalhosa, envolvendo mais dados, em estruturas mais complexas. Além disso, o modo motorizado individual é o modo de transporte mais utilizado no acesso ao aeroporto, como foi apresentado na Seção 3.2. O dado 8, de PLAMUS (2015a), afirma que 83% das viagens são feitas por meio do transporte privado motorizado. Este dado é corroborado pela pesquisa da Ambiens Consultoria Ambiental (2019) (dado 1) que afirma que somente 8,3% das viagens de passageiros atraídas pelo aeroporto são feitas por transporte coletivo.
4. A escolha de um modelo em nível macroscópico se justifica pelo fato de que modelos macroscópicos são adequados para análise de grandes áreas e a modelagem da demanda envolve viagens em toda a Região Metropolitana de Florianópolis. O *software* utilizado para a criação do modelo é o Visum.

O Visum é um *software* de simulação em nível macroscópico e mesoscópico desenvolvido pela empresa alemã *Planung Transport Verkehr* (PTV). Segundo Silva (2018), este *software* comercial é utilizado para modelagem de transportes nos EUA, Brasil e vários países da Europa. Além de ser utilizado para o desenvolvimento de simulações macroscópicas de tráfego, o Visum oferece diversas outras soluções dentro do planejamento de transportes, podendo ser utilizado em estudos de operação de rodovias e também de sistemas de transporte público. O *software* utiliza o método tradicional do Modelo 4 Etapas e também outros métodos, conforme a necessidade de cada tipo de estudo, permitindo comparação de cenários, previsão de demanda e análise de resultados de planos de desenvolvimento<sup>11</sup>.

A licença do *software* foi gentilmente disponibilizada pelo Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans) para o desenvolvimento deste trabalho.

---

<sup>11</sup> <[www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/](http://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/)>, acesso em 05/12/2020.

## 4.1 Modelagem da demanda

A demanda está dividida em demanda de tráfego não local (de passagem) e demanda de tráfego gerado pelo PGT (tráfego local), como sugerido pelo método do ITE (2005 apud CUNHA et al., 2012).

A demanda de tráfego de passagem está baseada em uma matriz O-D gerada a partir da pesquisa O-D domiciliar realizada por PLAMUS (2015c) no ano de 2014 (dado 2) e considera viagens em toda a Região Metropolitana de Florianópolis, como colocado na seção 3.2.

As viagens geradas pelo PGT são estimadas através da pesquisa O-D realizada por Ambiens Consultoria Ambiental (2019) (dado 1) e são expandidas a partir de dados de movimentação de passageiros (dado 5). Conforme apresentado na Seção 2.4.3, dados provenientes de entrevistas são mais confiáveis que os de taxas de geração de viagens. Portanto optou-se pela utilização destes dados.

Considerou-se que, apesar da mudança de terminal, o padrão de viagens manteve-se inalterado.

### 4.1.1 Zoneamento da área de estudo

Conforme explicado na Seção 2.1.1, é necessária a definição de zonas de tráfego para compor a estrutura de dados de matriz O-D.

As configurações de zonas de tráfego das pesquisas O-D de Ambiens Consultoria Ambiental (2019) e do PLAMUS (2015c) não são as mesmas. O Visum estrutura os dados de demanda utilizando somente uma configuração de centroides, que deve ser atrelada a todas as matrizes do modelo. Como as duas matrizes são utilizadas concomitantemente no modelo do Visum, torna-se necessário processar as duas configurações de centroides originais diferentes de forma a criar uma nova única.

A pesquisa O-D realizada por Ambiens Consultoria Ambiental (2019) (dado 1) agrupa as origens e os destinos por bairro enquanto a pesquisa O-D realizada por PLAMUS (2015b) (dado 2) se baseou em setores censitários. A configuração das zonas de tráfego do PLAMUS está disponível em formato *shapefile*, mas a pesquisa de Ambiens Consultoria Ambiental (2019) não apresenta dados geoespaciais e vetoriais em SIG.

Portanto, são utilizados os centroides gerados a partir das zonas de tráfego definidas pelo PLAMUS para as duas matrizes O-D. Para adequar as origens e destinos da matriz do tráfego de passagem para as zonas de tráfego do PLAMUS, cada um dos bairros deve ser associado a uma zona de tráfego.

Esta associação é feita visualmente, comparando no mapa a posição das zonas de tráfego com a localização dos bairros. A localização das zonas definidas pelo PLAMUS e dos bairros podem ser verificadas através do *software* QGIS que processa arquivos em formato *shapefile*.

Com o *software* QGIS também é feita a criação dos centroides das zonas de tráfego. Após este processo, os dados dos centroides das zonas podem ser importados do QGIS para o Visum.

#### **4.1.2 Modelagem da demanda de tráfego de passagem**

Para a modelagem da demanda de tráfego de passagem são utilizados os dados da pesquisa O-D de PLAMUS (2015b) (dado 2).

Para apresentar os dados da pesquisa O-D em formato de matriz O-D é utilizado o algoritmo apresentado em Silva (2019). Este algoritmo utiliza as entrevistas da pesquisa O-D e gera matrizes O-D agregadas por horário da viagem e meio de transporte. O algoritmo considera somente viagens realizadas por transporte individual motorizado e apresenta como resultado final 24 matrizes, uma para cada hora do dia.

Os dados da pesquisa O-D foram obtidos através de entrevistas domiciliares amostrais, no entanto, o método implementado por Silva (2019) utiliza fatores de expansão calculados por PLAMUS (2015b), de forma que as matrizes resultantes já trazem valores de demanda expandidos.

As matrizes geradas apresentam o número de viagens por transporte individual, no entanto, o Visum utiliza matrizes de veículos para a alocação. Portanto, utiliza-se um fator de ocupação de automóveis para gerar matrizes de veículos.

#### **4.1.3 Modelagem da demanda de tráfego gerado pelo PGT**

Para a obtenção da matriz O-D do tráfego gerado pelo PGT é utilizada a pesquisa O-D realizada por Ambiens Consultoria Ambiental (2019) (dado 1).

As colunas da pesquisa utilizadas para gerar a matriz O-D são: Tipo de Usuário, Origem - Cidade, Origem - Bairro, Destino - Cidade, Destino - Bairro e Transporte DE ou PARA o Aeroporto. A Tabela 6 ilustra a estrutura das informações apresentando como exemplo os dez primeiros registros no arquivo.

Tabela 6: Dez primeiros registros das colunas utilizadas no método no arquivo da pesquisa O-D

| Tipo de Usuário        | ORIGEM - Cidade    | ORIGEM - Bairro | DESTINO - Cidade | DESTINO - Bairro | Transporte DE ou PARA o Aeroporto 1 |
|------------------------|--------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------------------|
| Embarque Internacional | Florianópolis      | Centro          | Argentina        |                  | Carro, condutor                     |
| Embarque Internacional | Florianópolis      | Canasvieiras    | Argentina        |                  | Ônibus ou Van de Cia. Aérea:        |
| Embarque Internacional | Florianópolis      | Canasvieiras    | Argentina        |                  | Ônibus ou Van de Cia. Aérea:        |
| Embarque Internacional | Bombinhas          |                 | Argentina        |                  | Ônibus ou Van de Cia. Aérea:        |
| Embarque Internacional | Florianópolis      | Canasvieiras    | Argentina        |                  | UBER, Lyft ou outro aplicati        |
| Embarque Internacional | Florianópolis      | Canasvieiras    | Argentina        |                  | UBER, Lyft ou outro aplicati        |
| Embarque Internacional | Balneário Camboriú |                 | Argentina        |                  | Carro, condutor                     |
| Embarque Internacional | Florianópolis      | Jurere          | Buenos Aires     |                  | Carro, condutor                     |
| Embarque Internacional | Florianópolis      | Jurere          | Buenos Aires     |                  | Ônibus ou Van de Cia. Aérea:        |
| Embarque Internacional | Florianópolis      | Jurere          | Buenos Aires     |                  | Táxi                                |

Fonte: Ambiens Consultoria Ambiental (2019)

Os dados da pesquisa, que estão disponíveis em formato PDF, são transferidos para um arquivo de planilha eletrônica. Através de funcionalidades da planilha eletrônica é possível apresentar os dados das entrevistas, que estavam organizadas em linhas, em formato de matriz O-D.

As entrevistas com funcionários não são utilizadas pelo fato de que não é possível estimar os horários dos seus deslocamentos e também não obteve-se dados sobre o número de funcionários trabalhando no aeroporto, impossibilitando a expansão da amostra. Não são consideradas viagens feitas a pé ou de moto, pois estes modos de transporte não são modeláveis no modelo do Visum. E também são descartadas entrevistas incompletas que não possuem informações em todas as colunas apresentadas na Tabela 6.

A matriz O-D gerada a partir das entrevistas representa somente uma amostra do total de viagens diárias e precisa ser expandida para representar todas as viagens que partem do aeroporto ou têm este como destino. Esta correção é feita com um fator de expansão da amostra. São calculados dois fatores de expansão: um para o embarque e outro para o desembarque, pois as amostras têm tamanhos diferentes. Como não há dados desagregados de embarque e desembarque disponíveis, foram arbitradas parcelas de 50% de embarque e 50% de desembarque nos volumes de movimentação.

Conforme apresentado na Seção 3.2, a pesquisa O-D de Ambiens Consultoria Ambiental (2019) apresenta um número diário de viagens, no entanto, a análise de performance de tráfego exige valores horários. De modo a gerar uma curva de distribuição de viagens geradas pelo PGT ao longo do dia, é feita uma relação entre o horário das viagens da pesquisa O-D de Ambiens Consultoria Ambiental (2019) e a movimentação horária de passageiros no aeroporto.

Para converter uma matriz O-D de número diário de viagens em uma matriz O-D horária de número de veículos se utiliza o fator  $k$ , que relaciona a movimentação de uma hora com a movi-

mentação diária e se utiliza também o fator de ocupação de veículos para a conversão da matriz de viagens em uma matriz de veículos.

Conforme apresentado na Seção 2.4.2, além de passageiros, também é necessário considerar que muitas vezes acompanhantes se deslocam ao aeroporto com os passageiros. A pesquisa O-D não considera esta fração de pessoas que têm o terminal como origem e destino de suas viagens. Portanto esta correção é feita com um fator de acompanhantes.

Em resumo, é preciso multiplicar a matriz por estes quatro fatores de correção:

1. Fator de expansão da amostra;
2. Fator  $k$ ;
3. Fator de ocupação de automóveis;
4. Fator de acompanhantes.

Estes fatores podem ser obtidos através de dados de movimentação de passageiros no aeroporto (dados 5 e 6) e através de pesquisa bibliográfica (seções 2.1.1 e 2.4.2).

#### **4.1.4 Projeção de demanda**

A projeção de demanda é necessária, pois a demanda do cenário base do ano de 2020 é baseada em matrizes O-D com dados de anos diferentes: 2014 no caso do PLAMUS e 2018 no caso do estudo de Ambiens Consultoria Ambiental (2019).

Para a previsão de crescimento da demanda utilizada no cenário base emprega-se o método do fator do crescimento apresentado na Seção 2.1.1. O mesmo método é utilizado para a projeção da demanda nos horizontes futuros.

O fator de crescimento é obtido a partir de séries históricas de frota de automóveis em Florianópolis (dado 3) para a estimativa de crescimento de demanda de tráfego de passagem. Para a estimativa de crescimento no tráfego gerado pelo PGT estão disponíveis duas fontes de dados: séries históricas de movimentação (dado 6) e previsão de crescimento de movimentação de passageiros (dado 4).

Como se dispõe de uma série de dados anuais, pode-se determinar a função que mais se aproxima da variação constatada através dos anos. Através da projeção da linha de tendência pode-se identificar, a partir da série histórica, a tendência de crescimento durante um determinado período utilizando-se o método dos mínimos quadrados. Portanto, para todas as três fontes de dados é feita primeiramente uma regressão linear utilizando os valores ao longo de todos os anos com dados disponíveis. A partir desta regressão linear, é então extraído o fator de crescimento para o intervalo de anos desejado.

#### 4.1.5 Definição do dia de projeto e da hora crítica

A modelagem da demanda está baseada em dados de pesquisas realizadas por outras instituições em anos anteriores, portanto a definição do dia de projeto está baseada nos dias em que foram realizadas as pesquisas O-D de PLAMUS (2015c) e de Ambiens Consultoria Ambiental (2019) (dados 1 e 2).

A pesquisa O-D domiciliar do PLAMUS foi realizada entre os dias 10/04 a 12/07 de 2014, portanto ocorre no período normal do ano, visto que em Florianópolis a alta temporada ocorre nos meses de veraneio. As pesquisas foram feitas em dias úteis e foram suspensas em dias atípicos, como por exemplo: dias em que houve greve de ônibus ou jogos do Brasil na Copa do Mundo.

A pesquisa utilizada no EIV do novo terminal foi realizada no aeroporto de Florianópolis nos dias 9 e 12 de março de 2018, uma sexta-feira e uma segunda-feira. Estes dias também são considerados como do período normal do ano, visto que março se caracteriza como um mês típico no aeroporto, por possuir uma movimentação mensal média de 237.321 passageiros, como pode ser visto na Figura 11.

Portanto, analisando os dias em que estas pesquisas foram realizadas, considera-se o dia de projeto como um dia útil fora do período de veraneio. Em relação à hora de projeto, utiliza-se o que foi apresentado na Seção 2.3.3. A análise deve ser feita para a hora do dia em que ocorre o volume de tráfego máximo combinado na rede viária do entorno.

A rigor, só é possível definir esta hora através do carregamento da malha viária, ou seja, somente é possível comprovar qual cenário que demanda mais da infraestrutura ao analisarmos os resultados da alocação dos dois conjuntos de dados de demanda para diferentes horas do dia. No entanto, é feita uma simplificação e a comparação entre os cenários temporais é feita somente em termos de número total de viagens.

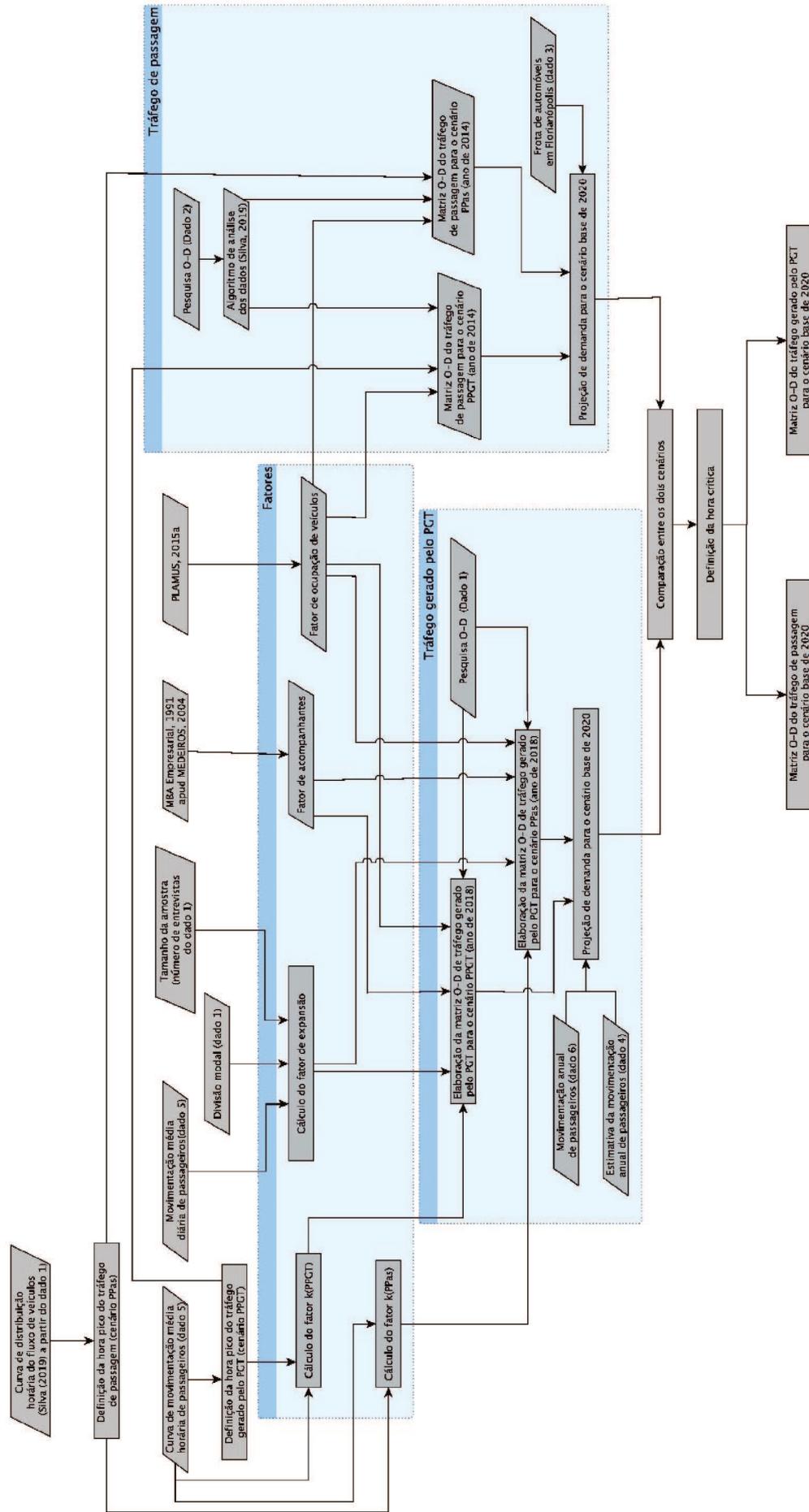
Para simplificação, também é feita uma comparação entre somente dois horários críticos:

- Hora pico do tráfego gerado pelo PGT (nomeado cenário  $P_{PGT}$ );
- Hora pico do tráfego de passagem (nomeado cenário  $P_{Pas}$ ).

Define-se como hora de projeto aquela em que a demanda somada (número total de viagens entre zonas de tráfego) for maior. Como serão analisados dois cenários temporais, torna-se necessário calcular dois fatores  $k$ , apresentados na seção 4.1.3. Também torna-se necessário utilizar duas das matrizes O-D do tráfego de passagem.

A Figura 18 apresenta o fluxograma que sintetiza o processo de criação das matrizes O-D com os dados utilizados para a definição de cada um dos fatores, considerando o que foi apresentado sobre determinação de hora de projeto.

Figura 18: Fluxograma do método de modelagem da demanda



## 4.2 Modelagem da oferta

A modelagem da oferta é feita a partir de dados da malha rodoviária obtidos do *Open Street Map* (OSM). Os dados do OSM podem ser obtidos com o auxílio do *software* QGIS e posteriormente transferidos do QGIS para o Visum.

Cada um dos arcos possui uma categoria e modos de transportes permitidos definidos pelo OSM. O Visum atribui a cada uma das categorias uma série de informações sobre a via: velocidade, capacidade e número de faixas. Além disso, os nós possuem informações sobre os movimentos permitidos.

Após a transferência da malha para o Visum, é possível apagar parte dos elementos da infraestrutura que não são importantes para a análise de transporte motorizado individual, tornando a visualização mais fácil e o arquivo menos pesado. Os *links* apagados incluem a representação de calçadas, ciclovias e rotas de barco.

Conforme apresentado na Seção 3.2, o OSM apresenta dados abertos que são construídos coletivamente e que são atualizados constantemente. Portanto, algumas vezes as informações apresentam incongruências ou não correspondem à realidade atual de alguma via. Seria ideal validar sistematicamente se todas as informações estão corretas, no entanto, pelo tamanho da malha, torna-se uma tarefa muito trabalhosa e inviável no contexto deste trabalho. Para a validação dos dados, é feita uma checagem geral da malha, de maneira não sistemática, com foco maior nas áreas em que houve mudança recente na infraestrutura, como na nova via de acesso ao aeroporto, por exemplo.

Por fim, para garantir a ligação dos centroides de cada uma das zonas de tráfego à malha viária é necessário criar conectores no Visum, permitindo a alocação das viagens entre zonas de tráfego.

Em relação à modelagem do sistema de controle de tráfego, não são feitas alterações nos atributos importados do OSM e não são considerados semáforos na rede viária.

## 4.3 Alocação de tráfego

A alocação de tráfego é feita com base em matrizes O-D de demanda. Após a etapa de modelagem da demanda, as matrizes O-D elaboradas podem ser inseridas no *software*. As matrizes de tráfego gerado pelo PGT e de tráfego de passagem são inseridas individualmente para cada um dos horizontes temporais e podem ser somadas dentro do Visum gerando uma nova matriz com o total de viagens.

Para alocação de viagens o Visum oferece diferentes métodos. Neste trabalho é utilizado o método de equilíbrio (*equilibrium assignment*), que foi apresentado na Seção 2.1.3.

## 4.4 Área de influência e delimitação da área crítica

Em relação à área de influência, esta está ligada à influência espacial do aeroporto em termos de demanda gerada. Como os dados de demanda utilizados são de pesquisas O-D pré existentes, o *cordon line* que limita a área de influência foi definido pelos dados de demanda existente. Portanto é feita somente uma comparação desta área com a área resultante do método definido por Braga e Guedes (2008), descrito na Seção 2.4.4.

Já a delimitação da área crítica busca definir os limites da região que será analisada nas próximas etapas e onde serão propostas as ações de mudança na infraestrutura. Como não foram encontradas na literatura diretrizes específicas para aeroportos, utilizam-se os conceitos da Seção 2.3.2 para a definição da área crítica deste estudo.

## 4.5 Análise de indicadores de desempenho e comparação de cenários

A análise de indicadores de desempenho é feita para três diferentes cenários: o cenário base do ano de 2020 e dois cenários futuros, dos anos de 2029 e 2039. Busca-se verificar a relação entre demanda e oferta a partir de diferentes parâmetros obtidos através do modelo. Os parâmetros utilizados para basear esta análise são:

- volumes;
- relação volume/capacidade;
- veículos x horas viajadas;
- veículos x quilômetros viajados;
- tempos de viagem em corredor.

Para uma melhor análise destes parâmetros, com foco somente nos atributos dos elementos da área crítica, é feito um corte na malha viária através da funcionalidade *territories* do Visum. Esta funcionalidade permite que, após a alocação da demanda na rede completa de transportes, seja gerado um novo submodelo com todas as informações contidas nos elementos inseridos dentro dos limites do território desenhado da maneira desejada. Desta forma, é possível utilizar esta funcionalidade como um filtro para analisar os dados resultantes da alocação somente para a área crítica.

### 4.5.1 Elaboração e análise do cenário alternativo

A partir da análise dos diferentes horizontes temporais pode-se identificar os pontos na área crítica onde a demanda atinge ou ultrapassa a oferta disponível. Através da identificação destes

pontos críticos são apresentadas propostas de mudanças na infraestrutura atual de modo a adequar a oferta à demanda. Com isso são criados cenários alternativos onde é avaliada a eficácia dessas mudanças.

Para a criação do cenário alternativo, é de suma importância a existência de trechos da malha viária com alta relação volume/capacidade, pois são esses pontos que têm suas características alteradas, de modo que as mudanças na infraestrutura possam resultar em claras melhorias nas condições de tráfego.

Para a criação dos cenários alternativos no Visum é possível utilizar a função de comparação de cenários que permite a mudança em características de elementos da malha viária e posterior realocação da demanda. Utilizando essa funcionalidade é possível comparar facilmente as mudanças nos parâmetros selecionados para a análise ao avaliar os cenários original e alternativo.

## 5 Resultados

Esta seção apresenta os resultados das etapas de modelagem da demanda e oferta e os resultados de performance provenientes dos dados obtidos do modelo do Visum.

### 5.1 Modelagem da demanda

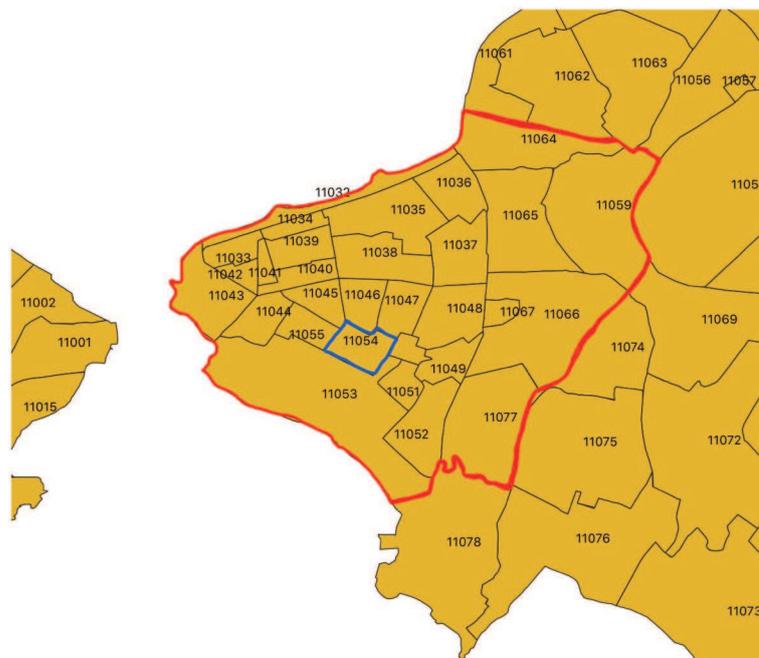
A modelagem da demanda foi feita de acordo com o apresentado na Seção 4.1. Nas seções seguintes são apresentados os resultados obtidos neste etapa.

#### 5.1.1 Compatibilização de configurações de centroides

Conforme explicado na Seção 4.1.1, foi necessário elaborar uma configuração de centroides única. Portanto cada um dos bairros foi associado a uma zona de tráfego.

Alguns bairros englobavam mais de uma zona de tráfego, como pode-se observar no exemplo da Figura 19. Neste caso somente uma zona de tráfego, na região central destes bairros, foi escolhida arbitrariamente para representar todo o bairro. Para o exemplo da região central de Florianópolis, ilustrado na Figura 19, a área contornada em vermelho representa todo o bairro do centro de Florianópolis e a área contornada em azul representa a zona de tráfego escolhida.

Figura 19: Compatibilização das zonas de tráfego da região central de Florianópolis

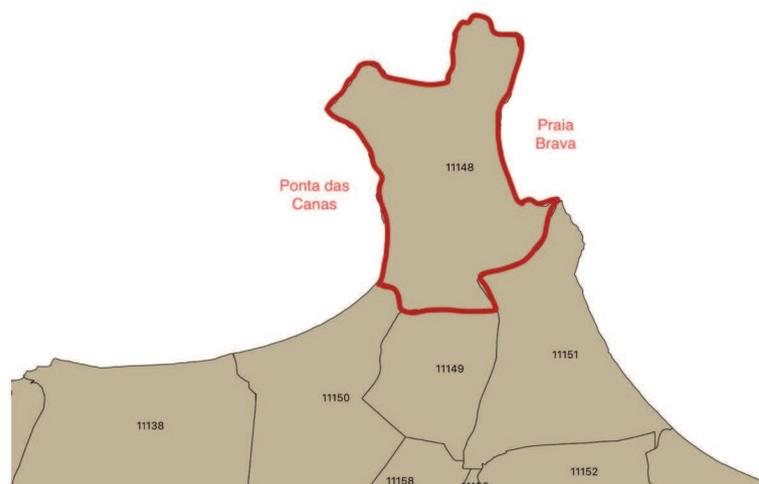


Fonte: Desenhos do autor a partir de dados de zonas de tráfego do PLAMUS

Além disso, em dois casos, zonas de tráfego incluem mais de um bairro. Nestes casos as viagens para estes bairros foram direcionadas para a mesma zona de tráfego e foi selecionado arbitrariamente um bairro para nomear toda a zona. Esta situação ocorreu para o caso da zona 11048, que engloba a Praia Brava e Ponta das Canas, e para o caso da zona 11103, que inclui os Açores e o Pântano do Sul. Visando exemplificar o processo adotado, foi utilizado o caso da zona 11048 que está ilustrado na Figura 20.

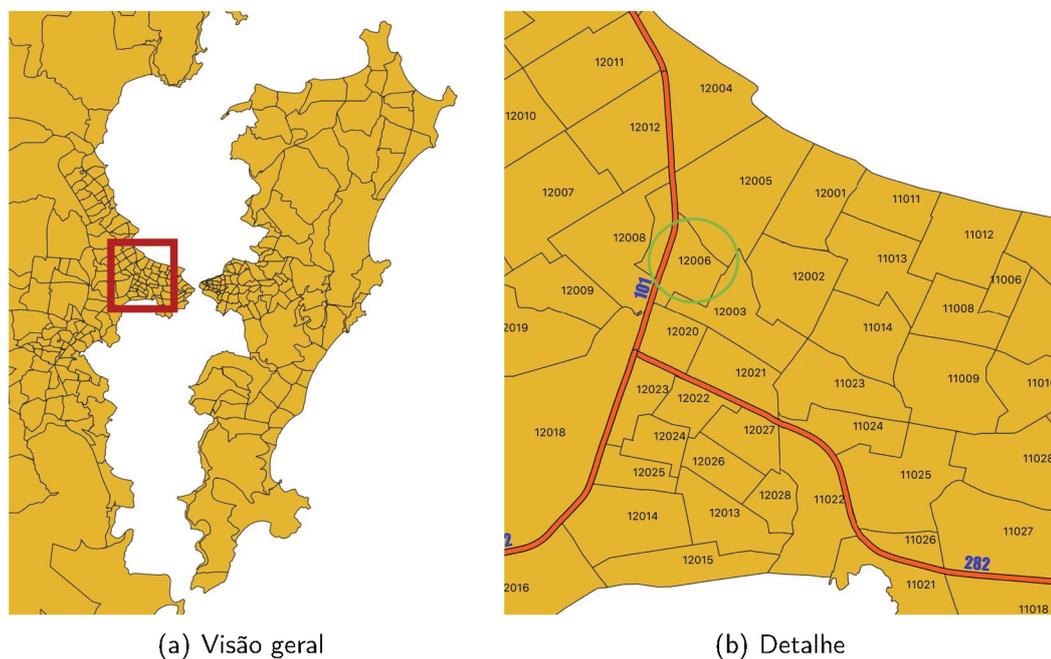
O Apêndice A apresenta o resultado da relação entre bairros e zonas. Todas as viagens provenientes ou com destino a outros municípios foram concentradas na zona 12006, próxima à rodovia BR-101, conforme apresentado na Figura 21. A escolha desta zona de tráfego foi feita com base no fato de que as rotas de viagens entre Florianópolis e outros municípios cruzam esta região, além disso, esta zona não está englobada na área crítica e portanto não é analisada em detalhes no modelo macroscópico.

Figura 20: Bairros na zona de tráfego 11148



Fonte: Desenhos do autor a partir de dados de zonas de tráfego do PLAMUS

Figura 21: Localização da zona de tráfego 12006



Fonte: Desenhos do autor a partir de dados de zonas de tráfego do PLAMUS

### 5.1.2 Modelagem da demanda de tráfego de passagem

Conforme apresentado na seção 4.1.5, é feita uma comparação entre dois cenários temporais, portanto é necessário utilizar duas das 24 matrizes horárias geradas a partir do algoritmo de Silva (2018): a matriz da hora pico do tráfego de passagem e a matriz da hora pico do tráfego gerado pelo PGT.

A Figura 22 apresenta a distribuição horária do fluxo de veículos na Região Metropolitana de Florianópolis de acordo com os dados da pesquisa O-D de PLAMUS (2015c).

Figura 22: Distribuição horária do fluxo de veículos de acordo com dados de PLAMUS (2015c)



Fonte: (SILVA, 2018)

Observa-se que o pico do tráfego de passagem acontece entre as 07:00 h e as 08:00 h. Portanto esta hora foi considerada como o cenário  $P_{Pas}$ .

Conforme apresentado na Seção 2.1.1, para a análise utilizando número de veículos é necessário que a matriz O-D de viagens seja dividida pela taxa de ocupação de veículos gerando uma matriz de veículos. Foi utilizada a taxa de ocupação de veículos de 1,3 passageiros por carro de passeio adotada pelo PLAMUS (PLAMUS, 2015a).

### 5.1.3 Modelagem da demanda de tráfego gerado pelo PGT

As 1.651 entrevistas da pesquisa O-D de Ambiens Consultoria Ambiental (2019) (dado 1) foram filtradas de acordo com o que consta na Seção 4.1.3, restando 1.185 entrevistas. Destas, 1.087 foram de carro e as demais de ônibus urbano ou fretado, portanto 91,7% de viagens de transporte individual. Dentre as 1.087 viagens, 119 foram desembarques (viagens com origem no aeroporto para o sistema viário terrestre) e 968 foram embarques (viagens do sistema viário terrestre com destino ao aeroporto).

As entrevistas foram divididas em dois grupos, uma com viagens por transporte individual e outra com viagens por transporte coletivo. Posteriormente estas viagens foram apresentadas em forma de matriz O-D como apresenta a Tabela 7.

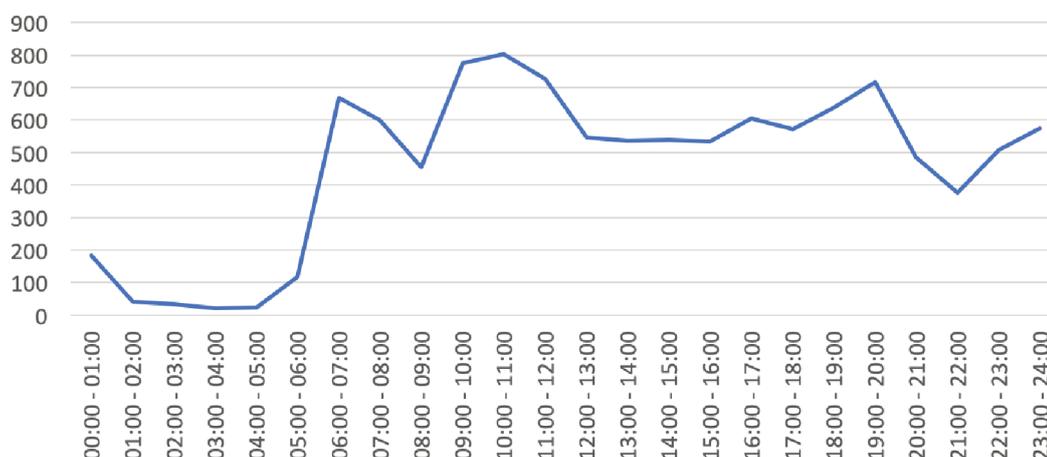
Tabela 7: Cinco primeiras linhas e colunas da matriz O-D do transporte individual elaborada pelo autor

|            | Aeroporto | Agronômica | Balneário | Barra da Lagoa | Bom Abrigo |
|------------|-----------|------------|-----------|----------------|------------|
| Abraão     | 5         | 0          | 0         | 0              | 0          |
| Açores     | 6         | 0          | 0         | 0              | 0          |
| Aeroporto  | 0         | 1          | 1         | 3              | 1          |
| Agronômica | 12        | 0          | 0         | 0              | 0          |
| Armação    | 2         | 0          | 0         | 0              | 0          |

Para a determinação dos fatores  $k_{PPGT}$  e  $k_{PPas}$  foram utilizadas as informações do dado 5, de movimentações horárias. Foi feita uma simplificação e foi considerado que o padrão de deslocamentos ao longo do dia no aeroporto é igual à curva de movimentação horária de passageiros. Sendo assim, foi arbitrado que os passageiros chegam ou partem do aeroporto na mesma hora da decolagem ou pouso do seu voo. Como as entrevistas haviam sido realizadas em uma sexta-feira e em uma segunda-feira do mês de março, foram analisados somente os dados de sextas-feiras e segundas-feiras dos meses de março entre 2013 e 2018.

A Figura 23 apresenta as movimentações médias horárias nestes dias.

Figura 23: Movimentações médias horárias de passageiros no aeroporto de Florianópolis para segundas-feiras e sextas-feiras dos meses de março entre 2013 e 2018



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Ambiens Consultoria Ambiental (2019)

Como observa-se na Figura 23, a hora pico ocorre entre as 10:00 h e as 11:00 h, com uma movimentação de 803 passageiros embarcando e desembarcando. Portanto esta hora foi considerada como o cenário  $P_{PGT}$ .

O fator  $k_{PPGT}$  da parcela do pico horário em relação ao volume diário foi calculado pela divisão do volume máximo horário pelo volume total diário, seguindo o que foi apresentado a Equação 4. A Equação 5 apresenta o resultado do valor do fator  $k_{PPGT}$ .

$$k_{PPGT} = \frac{803}{11079} = 7,25\% \quad (5)$$

Para a definição do fator  $k_{PPas}$ , utilizado para o cenário temporal do pico do tráfego de passagem, foi utilizado o volume de movimentações entre as 07:00 h e as 08:00 h que representa a hora pico do tráfego de passagem conforme apresentado na Seção 5.1.2. A Equação 6 apresenta o resultado do valor do fator  $k_{PPas}$ .

$$k_{PPas} = \frac{601}{11079} = 5,42\% \quad (6)$$

Para a definição do fator de expansão da amostra também utilizou-se o dado 5. Foram utilizados somente os valores de 2018, ano de realização da pesquisa O-D. Para a sexta-feira a movimentação média é de 11.338 passageiros por dia e para segunda-feira 10.586 passageiros por dia, uma média de 10.962 passageiros por dia.

Portanto 5.481 passageiros por dia embarcando e 5.481 passageiros por dia desembarcando. Destes, foram considerados somente aqueles que utilizam transporte individual, ou seja 91,7% do total.

O fator de expansão da amostra foi calculado pelo número total de passageiros ( $T_p$ ) dividido pelo número de entrevistas ou amostras ( $T_a$ ).

Embarque:

$$f_{eE} = \frac{T_p}{T_a} = \frac{5028}{968} = 5,194 \quad (7)$$

Desembarque:

$$f_{eD} = \frac{T_p}{T_a} = \frac{5028}{119} = 42,254 \quad (8)$$

Para o fator de acompanhantes, foi considerada uma média de 0,6 acompanhante/visitante por passageiro, obtida a partir de estudos realizados por MBA Empresarial (1991 apud MEDEIROS, 2004). Dentre as estimativas encontradas e apresentadas na Seção 2.4.2, esta foi a utilizada com maior recorrência em outros estudos.

A taxa de ocupação de veículos utilizada foi a mesma do tráfego de passagem: 1,3 passageiros por carro de passeio.

Os bairros da matriz O-D apresentada na Tabela 7 foram substituídos por zonas de tráfego conforme apresenta a Seção 5.1.1. Por fim a matriz foi multiplicada pelos quatro fatores apresentados gerando duas matrizes: uma para as 07:00 h (com o fator  $k_{PPas}$ ) e outra para as 10:00 h (com o fator  $k_{PPGT}$ ).

#### 5.1.4 Projeção de demanda

Para o tráfego de passagem foi feita uma regressão linear com base nos dados de frota de automóveis (dado 3). A Equação 9 apresenta o resultado da regressão com um  $R^2$  de 0,9675.

$$y = 6855,7 \cdot x - 13604046,3 \quad (9)$$

onde:

- $y$  = frota de veículos;
- $x$  = ano.

Para o tráfego gerado pelo PGT foi possível estimar o crescimento da demanda de duas formas: pela regressão linear com base nos dados de movimentação de passageiros (dado 6), considerando que a movimentação de passageiros seguirá o ritmo de crescimento que teve entre os anos de 2004 e 2019, e por uma regressão linear com base nos dados de estimativa de crescimento na movimentação da *Floripa Airport* (dado 4).

A Equação 10 apresenta o resultado da regressão linear feita com os dados de movimentação entre 2004 e 2019 e tem um  $R^2$  de 0,9133.

$$y = 188677,8 \cdot x - 376724626,4 \quad (10)$$

onde:

- $y$  = movimentação anual de passageiros;
- $x$  = ano.

A Equação 11 apresenta o resultado da regressão linear feita com os dados de previsão de movimentação entre 2018 e 2039 e tem um  $R^2$  de 0,9969.

$$y = 83752 \cdot x - 165487522,5 \quad (11)$$

onde:

- $y$  = movimentação anual de passageiros;
- $x$  = ano.

A partir Equação 9 obteve-se um fator de crescimento de 1,202 para a o tráfego de passagem entre 2014 e 2020.

A partir Equação 10 obteve-se um fator de crescimento de 1,094 entre 2018 e 2020 e a partir Equação 11 obteve-se um fator de crescimento de 1,048 entre 2018 e 2020. Portanto foram utilizados os dados provenientes da Equação 10, por apresentar o cenário mais crítico para a infraestrutura.

O mesmo procedimento foi utilizado para calcular os fatores de crescimento para os anos de 2029 e 2039.

### 5.1.5 Definição da hora crítica

Para a definição do cenário temporal foi feita uma comparação entre a demanda na hora pico do tráfego de passagem e a demanda na hora pico do tráfego gerado pelo PGT para o ano de 2020. Como a matriz de tráfego de passagem contém dados sobre viagens em toda a região metropolitana de Florianópolis, foram utilizados somente os dados de viagens que têm como origem ou destino a zona de tráfego do aeroporto para comparação.

Às 07:00 h a matriz de tráfego de passagem possui um total de 325 viagens de veículos que partem ou se destinam à zona de tráfego do aeroporto, e a matriz de tráfego gerado pelo PGT apresenta 783 viagens de veículos no total. Para as 10:00 h os valores são de 94 e 1047 viagens, respectivamente.

Portanto, como a soma das viagens às 10:00 h (1.141 viagens) foi maior que às 07:00 h (1.108 viagens), foi definido que esta é a hora de projeto.

## 5.2 Modelagem da oferta

Durante a análise da malha viária no Visum, importada do OSM, observou-se que alguns trechos da malha rodoviária não estavam representados de maneira correta, principalmente na região do novo acesso ao aeroporto, que foi inaugurado recentemente e que apresentava incongruências em relação à categoria das rodovias e número de faixas. Após verificação do verdadeiro estado atual das vias, através de visitas em campo e imagens do *Google Street View*, foi feita a mudança da categoria dos arcos que também acarreta a mudança no número de faixas e capacidade das vias.

Outro elemento da malha viária que também não está representado de maneira correta no OSM é a SC-405. A SC-405, no trecho entre a Avenida Deputado Diomício Freitas (Trevo da Seta) e a SC-406 (Trevo do Rio Tavares), possui sentido duplo, com uma faixa fixa por sentido e uma faixa central reversível, utilizada no sentido de maior fluxo de acordo com o período do dia (PLAMUS, 2015b).

Durante a manhã, que engloba o período da análise, normalmente há uma maior demanda de veículos no sentido Sul da Ilha - Centro<sup>12</sup>. Portanto foi considerada que a faixa reversível estará disponível neste sentido. Esta mudança foi feita no Visum com a troca da categoria dos arcos com

<sup>12</sup><<https://bit.ly/3mmLnFs>>, acesso em 21/03/2020.

sentido ao sul da ilha deste trecho, mudando da categoria 31 (primária com 2 faixas) para a categoria 30 (primária com 1 faixa) e assim alterando também a capacidade dessas vias.

Após a correção de alguns dos dados importados do OSM foram criados os conectores no Visum. Para cada centroide foram criados 3 conectores. Foi definido que o comprimento máximo de cada conector seria de 3 km.

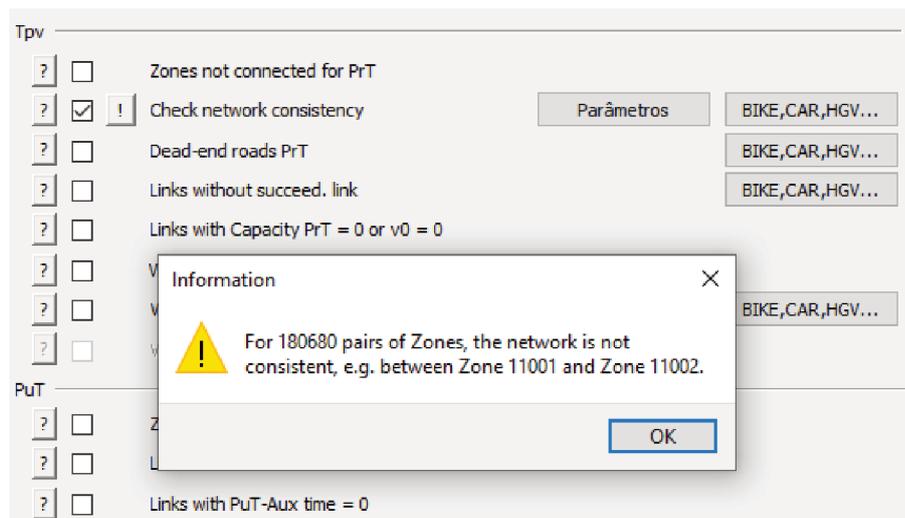
A Figura 24 exemplifica o resultado da criação de conectores para o caso do centroide da zona de tráfego 11090 do aeroporto, apresentando a localização do centroide sem os conectores e também os 3 conectores criados ligando o centroide à malha viária.

Figura 24: Centroide da zona de tráfego 11090 sem conectores e com conectores



Após a criação dos conectores foi feita uma checagem de conectividade da malha através da função *check network connectivity* do Visum. Esta checagem verifica se é possível encontrar rotas entre todos os pares O-D. Primeiramente a checagem apresentou falhas de conectividade entre alguns pares O-D como apresenta a Figura 25.

Figura 25: Erro na conectividade entre a zona 11001 e 11002 sendo acusada na interface do Visum



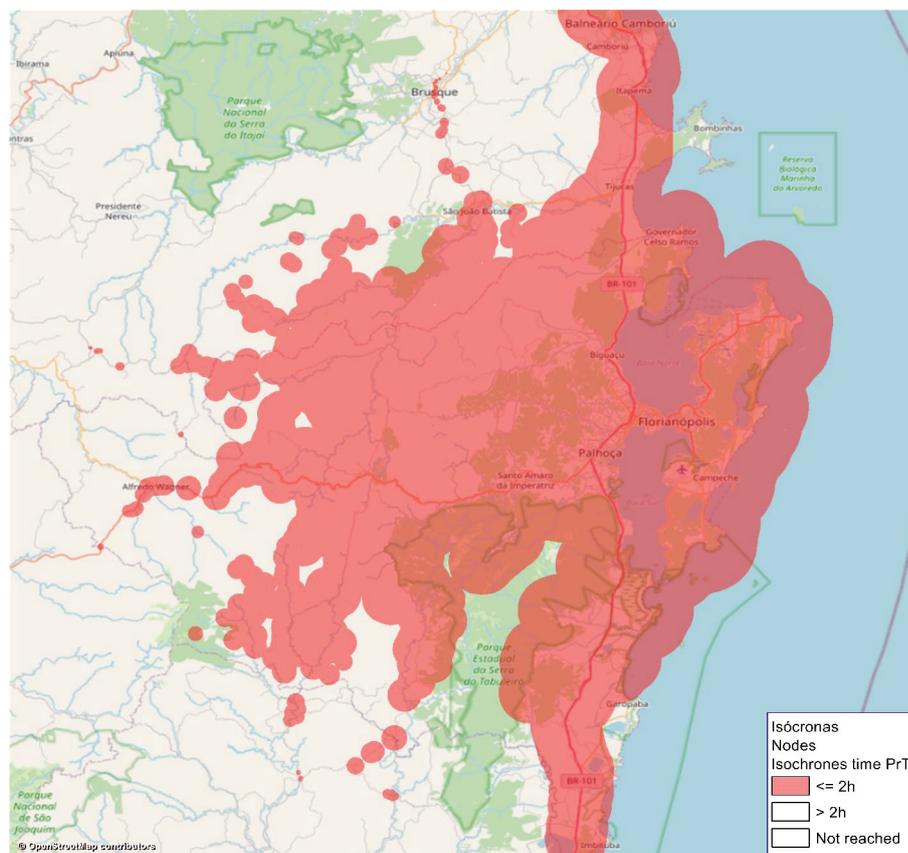
Então foram feitas as correções necessárias até que houvesse conectividade entre todos os pares O-D. As correções envolveram edição de alguns *links* e nós nos caminhos entre os pares O-D e a criação de novos conectores.

### 5.3 Área de influência e delimitação da área crítica

Em relação à área de influência, foi confirmada a afirmação de Coelho e Portugal (2012), de que esta área se estende por toda a metrópole. Pode-se observar este fenômeno ao se utilizar o método proposto por Braga e Guedes (2008) que define o ponto localizado a duas horas do aeroporto como limite da área de influência.

Para tanto, foi gerada uma poligonal isócrona de duas horas no Visum a partir do centróide da zona de tráfego do aeroporto (11090). Para a geração da poligonal isócrona foi considerado o tráfego alocado do cenário base de 2020. O resultado está ilustrado na Figura 26.

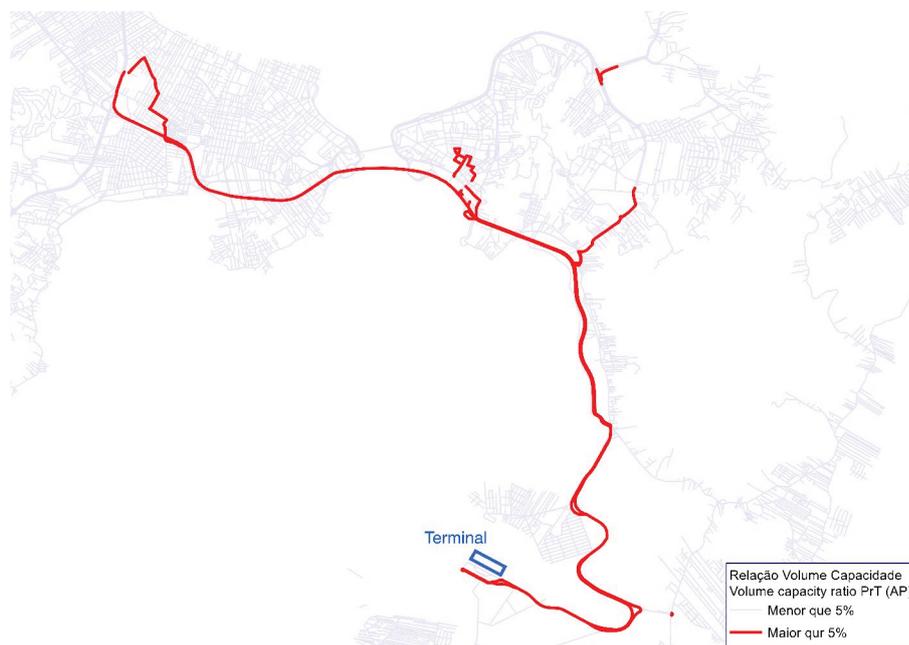
Figura 26: Área de influência do aeroporto de Florianópolis segundo o método de Braga e Guedes (2008)



Observa-se que área engloba todo o município de Florianópolis e outros municípios da região metropolitana de Florianópolis como Palhoça, Biguaçu, Santo Amaro da Imperatriz, Governador Celso Ramos e outros. Além disso, a área se estende na direção norte-sul ao longo da rodovia BR-101.

Em relação à área crítica, primeiramente foi feita a avaliação a partir da diretriz recomendada por ITE (2016b) que define que a área crítica deve contemplar trechos das vias de acesso em que 5% ou mais da capacidade seja ocupada por viagens geradas pelo PGT. Portanto foi feita a alocação somente da demanda gerada pelo PGT e uma filtragem para visualização dos *links* com 5% ou mais da capacidade ocupada. O resultado está apresentado na Figura 27.

Figura 27: Trechos de vias com 5% ou mais da capacidade ocupada pela demanda gerada pelo PGT

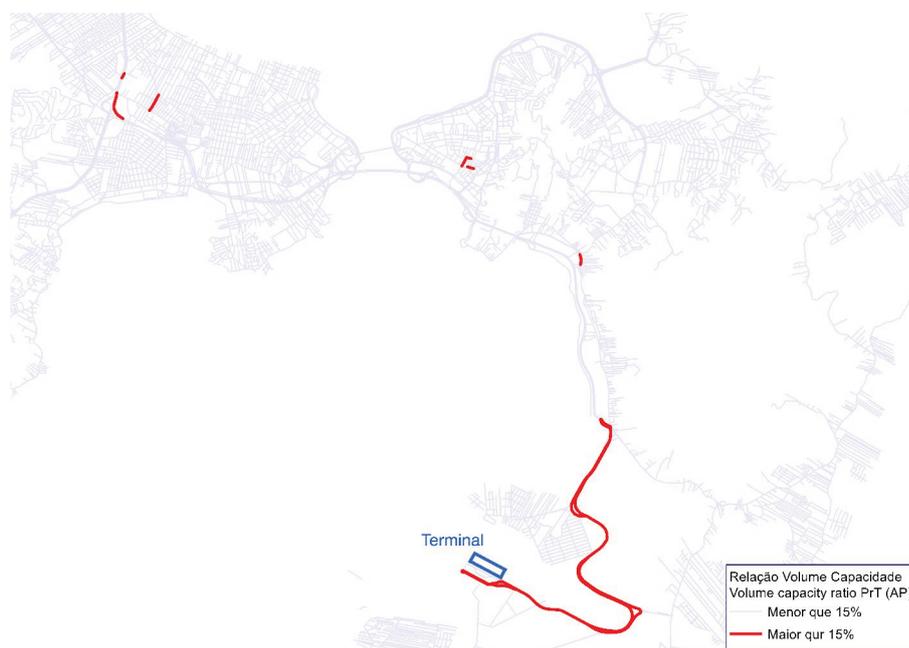


A demanda de viagens entre o aeroporto e outras cidades gerou um volume acima dos 5% nas vias que conectam o aeroporto à BR-101, através das pontes que fazem a ligação da ilha ao continente. Pode-se observar que a utilização deste método gera uma área crítica que engloba pontos muito distantes do aeroporto.

O ideal seria analisar todas estas vias marcadas em vermelho, no entanto, todo estudo tem limitações técnicas e financeiras e torna-se necessário restringir a área analisada. Não é objetivo deste estudo analisar vias tão distantes e que estão sob influência de muitos outros fatores não ligados ao PGT.

Portanto, o mesmo método foi aplicado novamente, mas usando uma margem menor e compatível com o nível de detalhamento buscado neste estudo. Portanto foi utilizada uma relação volume/capacidade mínima de 0,15. O resultado está apresentado na Figura 28.

Figura 28: Trechos de vias com 15% ou mais da capacidade ocupada pela demanda gerada pelo PGT



Observa-se alguns trechos isolados com mais de 15% da capacidade ocupada. Estes trechos foram descartados e são consideradas somente trechos de vias que continuamente, desde o aeroporto, estejam com mais que 15% da capacidade ocupada.

Utilizou-se também a recomendação de empreendimentos em geral da Tabela 1 para definição da área crítica. Para o caso do aeroporto de Florianópolis há mais de 500 viagens geradas na hora pico. Portanto é recomendado analisar as interseções e pistas de acesso localizadas a uma distância de até 3,2 km do PGT. A área crítica obtida a partir deste método se aproxima muito daquela apresentada na Figura 28.

Como também devem-se considerar outras interseções importantes e congestionadas na região do entorno, a área de análise foi estendida para englobar a interseção entre a SC-405 e a SC-406, conhecida como Rodovia Antônio Luiz Moura Gonzaga. Popularmente conhecida como "Trevo do Rio Tavares", esta interseção possui fluxo alto de veículos, interceptando as viagens dos bairros Rio Tavares, Campeche, Lagoa da Conceição e demais bairros do sul da ilha. No ano de 2019 foi inaugurado um elevador e atualmente a interseção é em desnível. No entanto, alguns problemas de congestionamento seguem ocorrendo, como relata a notícia do jornal Notícias do Dia de abril de 2019<sup>13</sup>. A Figura 29, obtida do *site* NSC Total<sup>14</sup>, ilustra a interseção com o elevador.

<sup>13</sup><<https://bit.ly/3mDSvgX>>, acesso em 08/11/2019.

<sup>14</sup><<https://www.nscotal.com.br/noticias/elevado-do-rio-tavares-e-aberto-para-o-transito-em-florianopolis>>, acesso em 18/04/2020.

Figura 29: Trevo do Rio Tavares (2019)

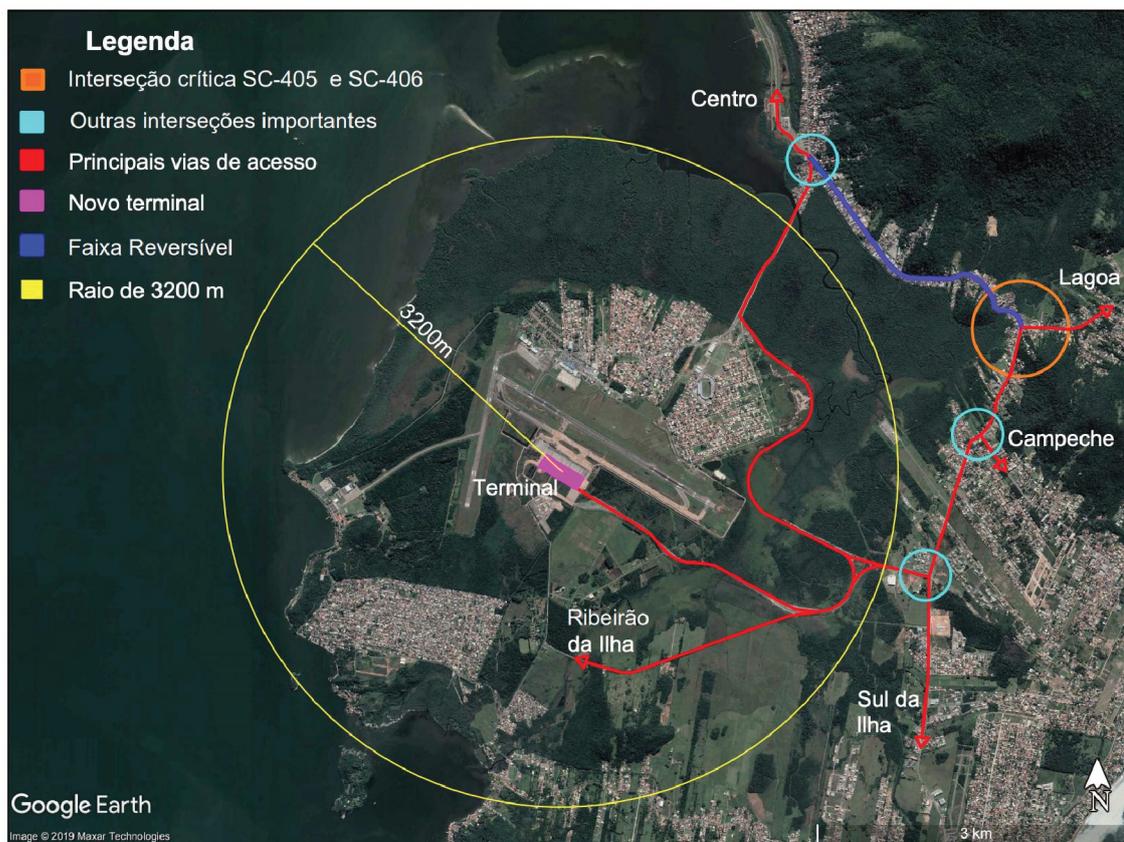


Fonte: NSC Total

Ao se estender os limites da área crítica, também estão englobadas outras interseções das principais vias da região: a da Avenida Dep. Diomício Freitas com a SC-405 (Trevo da Seta), da SC-405 com a Avenida Pequeno Príncipe, no Campeche.

A Figura 30 apresenta os limites da área de estudo seguindo o critério proposto por ITE (2016b), a localização das interseções previamente mencionadas, as principais vias de acesso ao aeroporto e a localização da faixa reversível.

Figura 30: Área crítica do aeroporto de Florianópolis



Fonte: Desenhos do autor sobre imagens do *Google Earth*

## 5.4 Análise de indicadores de desempenho e comparação de cenários

Os resultados do cenário base de 2020 foram obtidos através da alocação da matriz O-D da demanda total, gerada a partir da soma das matrizes de tráfego gerado pelo PGT e tráfego de passagem. O processo de alocação foi feito utilizando a função *procedure sequence* do Visum e o método de equilíbrio, conforme apresentado na Seção 4.3

Primeiramente foi feita uma análise do parâmetro de relação volume/capacidade das vias da área crítica para os diferentes anos. Esta análise é apresentada através de histogramas e de representações gráficas da área crítica que classificam as vias em faixas de relação volume/capacidade pré-definidas. As Figuras 31 e 32 apresentam estes resultados para o ano de 2020.

Figura 31: Relação volume/capacidade das vias para o cenário base de 2020

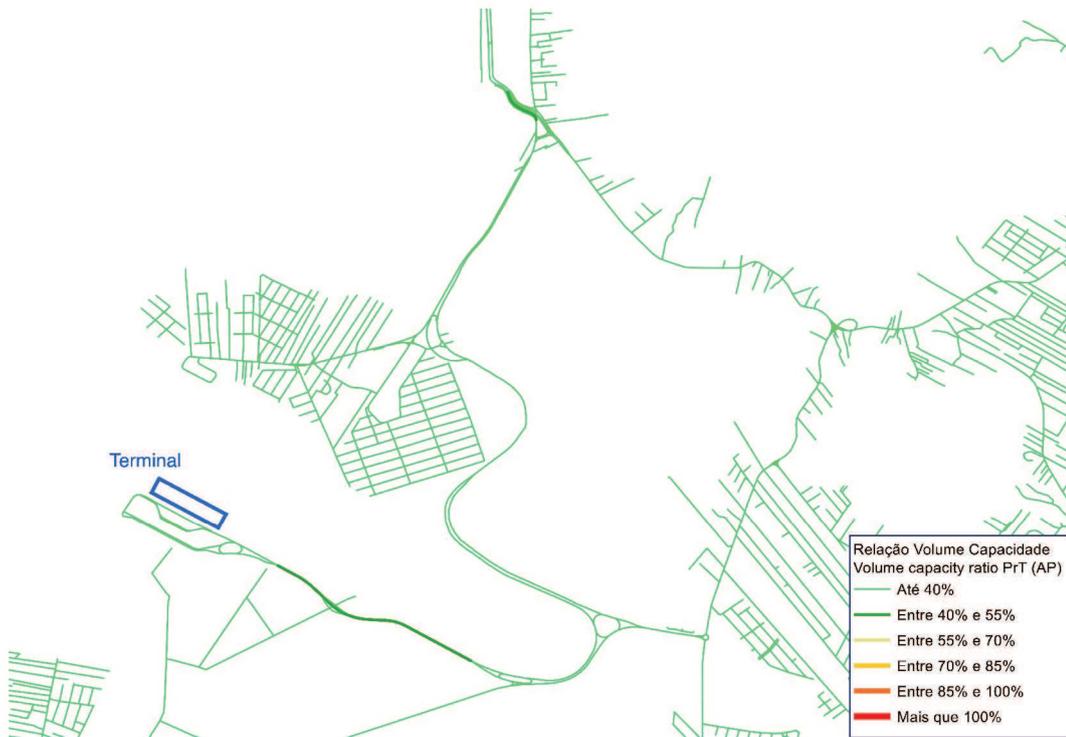
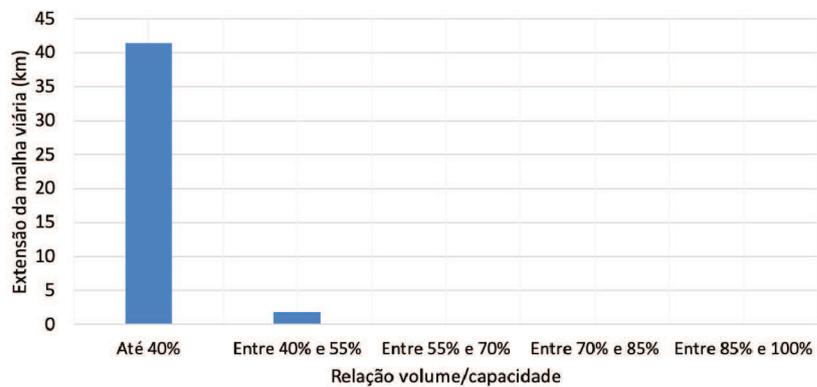


Figura 32: Histograma de relação volume/capacidade das vias da área crítica para o ano de 2020



Todas as vias de acesso estão com um volume abaixo da capacidade atual do sistema viário e podem atender com folga a demanda. No entanto, nota-se um ponto de gargalo na infraestrutura. O último trecho da rodovia de acesso ao aeroporto, a partir da interseção com a rodovia Aparício Ramos Cordeiro possui somente uma faixa por sentido, enquanto o restante da rodovia de acesso possui duas faixas por sentido. Portanto é o trecho com menor capacidade e maior relação volume/capacidade.

A demanda dos cenários futuros foi calculada através das estimativas apresentadas na Seção 5.1.4. Após novas alocações com as demandas futuras calculadas, foram obtidos os resultados para os anos de 2029 e 2039. As Figuras 33 e 35 representam graficamente a relação volume/capacidade das vias de acesso na área crítica para os anos de 2029 e 2039, respectivamente. As Figuras 34 e 36 apresentam os histogramas para estes dois anos.

Figura 33: Relação volume/capacidade das vias para o ano de 2029



Figura 34: Histograma de relação volume/capacidade das vias da área crítica para o ano de 2029

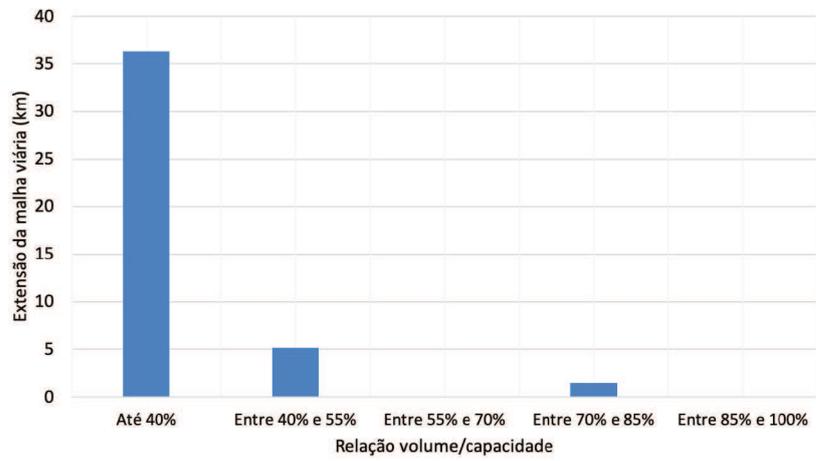
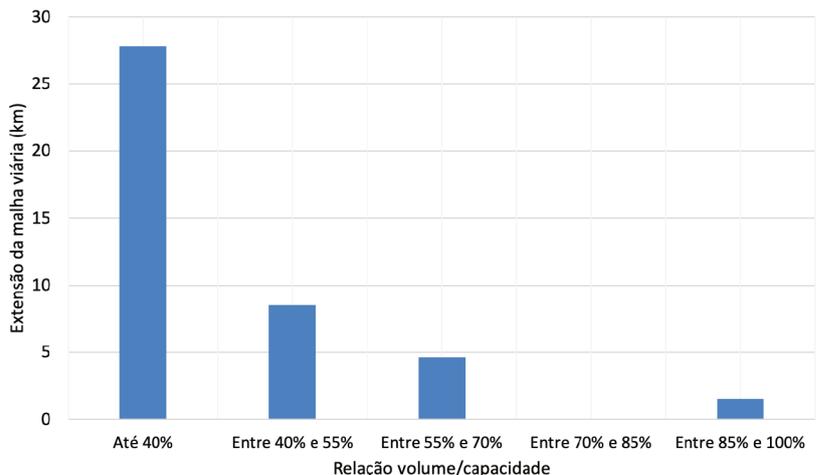


Figura 35: Relação volume/capacidade das vias para o ano de 2039



Figura 36: Histograma de relação volume/capacidade das vias da área crítica para o ano de 2039

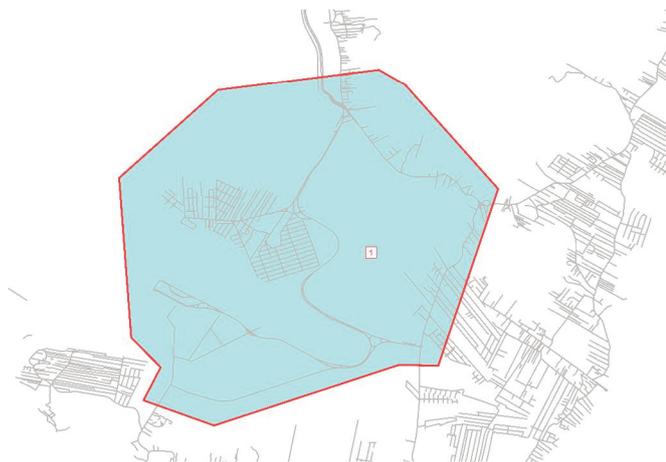


Pode-se observar o aumento nos volumes nas vias de acesso. O gargalo do último trecho da rodovia de acesso ao aeroporto se aproxima do limite de sua capacidade.

Após a alocação e uma primeira análise visual, apresentada nas figuras anteriores, partiu-se para a criação do território no Visum e criação do submodelo para obter dados numéricos referentes à área crítica.

A Figura 37 apresenta a criação do território no Visum.

Figura 37: Criação do território no Visum



Foram analisados os seguintes parâmetros dos *links* da área crítica: soma dos volumes, soma de veículos x horas viajadas, soma de veículos x quilômetros viajados e média da relação volume/capacidade. Para o cálculo da relação volume/capacidade média foi utilizada uma média ponderada pela extensão e não foram considerados somente *links* com demanda, ou seja, aque-

les que não tinham volume igual a zero. A Tabela 8 apresenta o resultado da comparação entre os cenários de 2020, 2029 e 2039 com base nestes parâmetros.

Tabela 8: Comparação entre os cenários para a área crítica com base em diferentes parâmetros

| Ano  | Volume  | Veículos x horas viajadas | Veículos x quilômetros viajados | Relação volume/capacidade |
|------|---------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 2020 | 107.091 | 288 h 02 min 14 s         | 18.299,9 km                     | 21,43 %                   |
| 2029 | 139.892 | 378 h 12 min 17 s         | 23.866,9 km                     | 28,06 %                   |
| 2039 | 177.549 | 486 h 56 min 6 s          | 30.230, 2 km                    | 35,81%                    |

#### 5.4.1 Análise do tempo de percurso no corredor principal de acesso

Apesar de inicialmente a área crítica ter sido expandida, para englobar outras interseções na região do entorno do aeroporto, observou-se, após a alocação, que estas regiões não apresentaram volumes muito expressivos. As Figuras 28 e 35 demonstram que os trechos mais carregados da área crítica estão localizados na rota entre o aeroporto e o Trevo da Seta, na interseção entre a SC-405 e a Avenida Deputado Diomício Freitas.

Assim sendo, optou-se por fazer uma análise deste corredor com foco nos tempos de viagem para os diferentes cenários. Todo o trecho deste corredor é de fluxo ininterrupto, portanto não foram feitas análises de interseções.

Para a análise deste corredor foi utilizada a função *flow bundle* (feixe de fluxo) do Visum que permite filtrar todas as viagens que percorrem o trecho entre dois nós. Foram definidos os seguintes nós para delimitar este corredor: nó 37846, na entrada do aeroporto, e o nó 400, no Trevo da Seta.

A Figura 38 apresenta a criação do feixe de fluxo entre estes dois nós no Visum. As barras vermelhas e verdes representam os volumes alocados nas vias somente das viagens que percorrem o trecho entre estes dois nós.

Figura 38: Definição dos limites do corredor no Visum



Após a criação do feixe de fluxo é possível obter os tempos de viagem entre cada um dos nós em formato de tabela no Visum. A Tabela 9 apresenta o resultado da comparação dos tempos de viagens entre os cenários de 2020, 2029 e 2039 para o corredor. Observa-se um leve aumento no tempo de viagem causado pelo aumento nos volumes nas vias.

Tabela 9: Tempos de viagem no corredor para os diferentes cenários

| Ano  | Tempo de viagem |
|------|-----------------|
| 2020 | 7 min 31 s      |
| 2029 | 7 min 35 s      |
| 2039 | 7 min 54 s      |

#### 5.4.2 Elaboração e análise do cenário alternativo

Para a criação do cenário alternativo, buscou-se prover mudanças na infraestrutura nos trechos mais carregados da malha viária contida na área crítica.

No entanto, pode-se observar a partir de todas as análises apresentadas, que mesmo para o cenário mais crítico (ano de 2039), a demanda se manteve abaixo da capacidade em todos os trechos das vias. Além disso, o aumento na demanda gerou uma mudança muito pequena no tempo

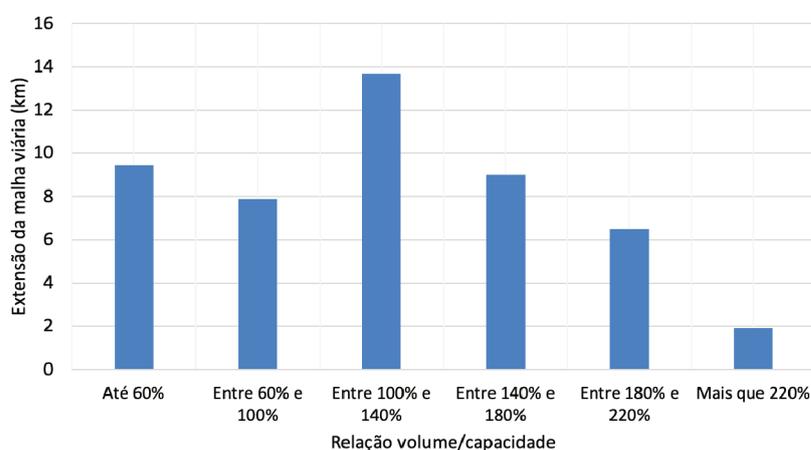
de viagem no corredor, com um aumento de somente 5% entre 2020 e 2039. Como o tempo de viagem cresce exponencialmente com o aumento da demanda, conforme apresentado na Seção 2.1.3, para pequenos aumentos de demanda na região do gráfico com baixa relação volume/capacidade, as mudanças nos tempos de viagem são quase imperceptíveis.

A criação de um cenário alternativo para essa demanda não traria mudanças muito perceptíveis nos parâmetros analisados. Portanto, visando evidenciar as melhorias nas condições de tráfego resultantes das alterações na infraestrutura, foi criado um novo cenário em que foi utilizado um diferente método para a previsão do crescimento da demanda.

Foi utilizada uma taxa fictícia de crescimento de 10% ao ano aplicada em uma projeção geométrica de crescimento que geraram maiores fatores de crescimento. Estes fatores de crescimento foram utilizados para multiplicar a matriz de demanda do cenário base de 2020 que considera tanto o tráfego gerado pelo PGT, quanto o tráfego de passagem.

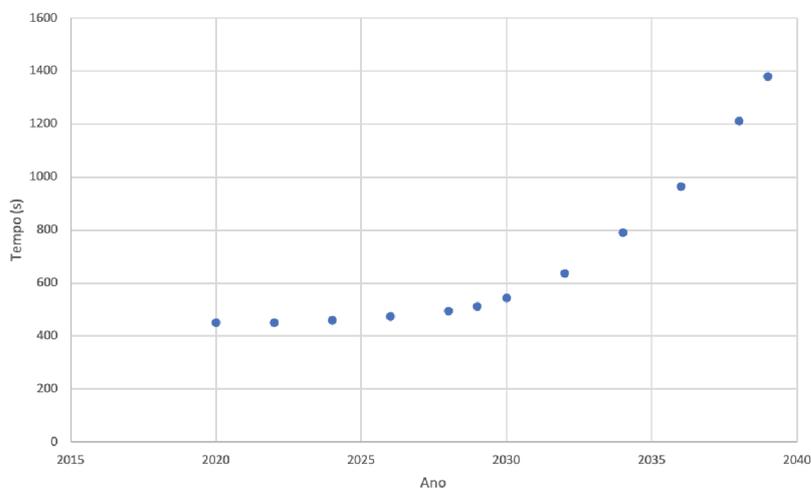
A Figura 39 demonstra que com este método fictício de previsão exagerada de crescimento, pode-se atingir valores muito maiores de relação volume/capacidade quando comparados com o método empregado inicialmente da Figura 36. A relação volume/capacidade média calculada foi de 117,80%.

Figura 39: Histograma de relação volume/capacidade das vias da área crítica para o ano de 2039 com método fictício de previsão exagerada de crescimento



Com esse método também foram atingidos valores muito maiores de tempo de viagem no corredor. O tempo de viagem no corredor passou de 7 minutos e 31 segundos em 2020 para 22 minutos e 58 segundos em 2039, um aumento de 206%. A Figura 40 apresenta como este crescimento se comportou ao longo dos anos.

Figura 40: Crescimento nos tempo de viagem no corredor ao longo dos anos com o método fictício de previsão exagerada de crescimento



Portanto, para a criação do cenário alternativo foi utilizada esta nova demanda calculada para o ano de 2039. A mudança proposta na infraestrutura foi focada nos trechos mais críticos que foram identificados com base nas análises das duas seções anteriores, com foco especial na região do corredor definido na seção 5.4.1.

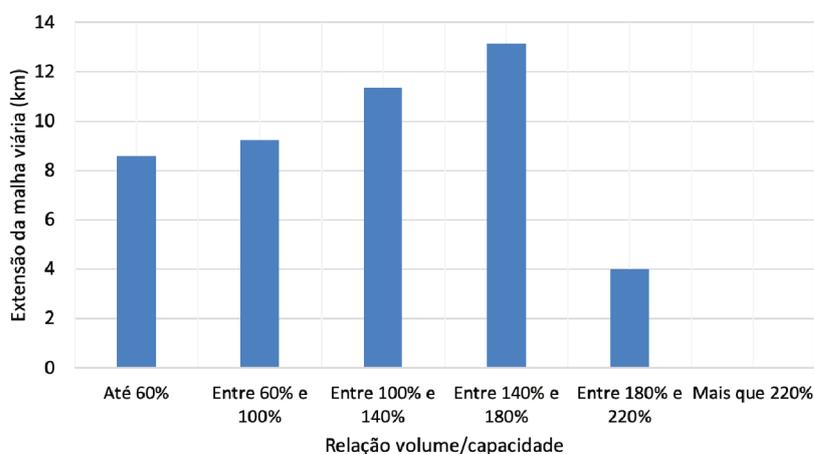
Conforme já mencionado anteriormente, o trecho mais crítico é o trecho final da via de acesso ao aeroporto que possui somente uma faixa por sentido e que é o trecho com maior relação volume/capacidade. Portanto, para este trecho da via foi proposta uma mudança na infraestrutura passando para duas faixas por sentido neste trecho. Esta mudança dobrou o valor da capacidade destes arcos. A Figura 41 apresenta a localização destes arcos.

Figura 41: Localização dos arcos com capacidade aumentada para o cenário alternativo destacados em vermelho



A Figura 42 apresenta o histograma de relação volume/capacidade para o cenário alternativo. A relação volume/capacidade média caiu para 111,53%.

Figura 42: Histograma de relação volume/capacidade das vias da área crítica para o cenário alternativo



Por fim este cenário alternativo foi comparado com o cenário do ano de 2039 sem a mudança da infraestrutura com base no parâmetro de tempo de viagem no corredor. A Tabela 10 apresenta o resultado da comparação dos tempos de viagens entre o cenário de 2039 e o cenário alternativo para o corredor.

Tabela 10: Tempos de viagem no corredor para o cenário alternativo

| Cenário     | Tempo de viagem |
|-------------|-----------------|
| 2039        | 22 min 58 s     |
| Alternativo | 18 min 34 s     |

Observa-se uma queda no tempo de viagem, de 19%, aproximadamente.

## 6 Conclusões

Polos Geradores de Tráfego têm grande influência no comportamento do tráfego de veículos de uma região. Além de impactos diretos no tráfego, a instalação de um PGT leva a uma mudança na dinâmica do uso do solo, atraindo novos empreendimentos para a região e gerando outros impactos secundários.

Para uma análise de PGTs utilizando técnicas de engenharia de tráfego e simulação de tráfego, a aquisição de dados confiáveis e de qualidade torna-se uma etapa fundamental para o desenvolvimento do estudo, visto que para obter resultados próximos da realidade, é imprescindível a utilização de dados de boa qualidade. Essa etapa apresentou os maiores desafios para a realização desse trabalho. Durante essa etapa foram encontradas as maiores dificuldades, considerando que não foram coletados dados em campo e que os dados utilizados apresentavam diversas limitações.

Os principais dados de demanda utilizados foram de duas pesquisas O-D que foram utilizadas para gerar matrizes O-D que são de suma importância para o modelo macroscópico. Durante a etapa de modelagem da demanda deste trabalho, várias simplificações tiveram que ser feitas de modo a torná-la viável. Não foram utilizados dados de contagens de veículos em vias para a modelagem da demanda. Esse tipo de dado é importante para o ajuste da matriz O-D no contexto de validação e calibração do modelo.

Os dados para a modelagem da oferta foram obtidos através de informações de infraestrutura rodoviária do OSM. Estes dados apresentaram pequenas inconsistências, mas mostraram-se muito úteis para a modelagem da oferta, que exige um volume muito grande de dados.

A utilização de ferramentas de macrossimulação mostrou-se eficaz para a avaliação de indicadores de desempenho dos cenários. Através do modelo elaborado no Visum pode-se identificar pontos críticos na malha, além de avaliar, através de diferentes parâmetros, as mudanças causadas pelo aumento da demanda ao longo dos anos.

Além disso, a elaboração de um modelo em uma ferramenta de macrossimulação permite fazer diferentes análises que não foram feitas neste trabalho. O modelo torna possível analisar outras regiões que não foram estudadas, utilizar outros parâmetros e também fazer exportações do modelo macroscópico para analisar interseções específicas utilizando microssimulação.

Observou-se, para o cenário base de 2020, que a rede viária consegue suprir a demanda com folga. Com o aumento da demanda ao longo dos anos, lentamente alguns trechos aproximam-se da capacidade. No entanto, nenhum trecho da malha viária atingiu valores de demanda maiores que a capacidade. A relação volume/capacidade média das vias da área crítica passou de 21,43 % em 2020 para 35,81% em 2039. Em relação ao tempo de viagem no corredor houve um aumento de 23 segundos entre 2020 e 2039, o que representa aproximadamente 5% de aumento.

Esses valores ficaram muito distantes do esperado e provavelmente apresentam valores de demanda que não se aproximam da realidade. Estes resultados provavelmente se devem ao fato de que os dados de demanda, pelas limitações apresentadas, geraram cenários com demanda abaixo da realidade.

Além das limitações na modelagem demanda, também é possível que problemas na modelagem da oferta tenham levado a baixos valores de relação volume/capacidade nas vias. As categorias definidas pelo OSM para cada uma das vias pode apresentar divergências com as características das vias na realidade. Além disso, o Visum atribui uma capacidade para cada uma das categorias definidas pelo OSM e também não foi feita uma averiguação destes dados.

Diante destes baixos valores de demanda, partiu-se para um novo método de projeção de demanda que levou a maiores valores de relação volume/capacidade e tempos de viagens. Utilizando este novo método de projeção de demanda foi criado o cenário alternativo.

Com a criação de um cenário alternativo foi possível avaliar como uma mudança na infraestrutura pode melhorar os parâmetros dos trechos de vias com o volume acima da capacidade. Através deste aumento de capacidade na infraestrutura a relação volume/capacidade média caiu de 117,80% para 111,53% em 2039 e também houve uma redução de 4 minutos e 24 segundos no tempo de viagem no corredor.

Apesar de não ter sido feita a modelagem do transporte coletivo, pode-se observar que ele ainda é muito pouco utilizado no acesso aeroportuário quando comparado com outros países desenvolvidos, conforme apresentado nas Seções 2.4.2 e 3.2. Considerando os benefícios provenientes de uma maior utilização do transporte coletivo, sugere-se uma análise mais aprofundada destes modos de transporte para trabalhos futuros.

## Referências

- ACI. *Annual World Airport Traffic Report*. Airports Council International, 2019.
- Alves, B. B.; Strambi, O. Escolha de modo no acesso terrestre a aeroportos considerando a confiabilidade do tempo de viagem. *Transportes*, v. 19, n. 1, p. 68–76, 2011.
- Alves, C. J. P. *Capacidade em Terminais de Passageiros Aplicada a Aeroportos de Pequeno Porte*. Tese (Doutorado) — Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2015.
- Ambiens Consultoria Ambiental. *Estudo de Impacto na Vizinhança – EIV Implantação do Novo Terminal de Passageiros do Aeroporto Internacional Hercílio Luz*. [S.l.], 2019.
- Andrade, E. P. de; Portugal, L. da S. Geração de viagens em pgv. In: *Polos Geradores de Viagens Orientados a Qualidade de Vida e Ambiental*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012. cap. 4.
- Antonio, R. de C. B. *Análise dos padrões de viagens e de parâmetros para o dimensionamento de estacionamentos de centros de eventos: estudo de caso no Parque Vila Germânica de Blumenau/SC*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.
- Araújo, D. R. C. de. *Comparação das simulações de tráfego dos modelos saturn e dracula*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.
- Azevedo Filho, M. A. N. d. *Análise do processo de planejamento dos transportes como contribuição para a mobilidade urbana sustentável*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2012.
- Barceló, J. et al. *Fundamentals of traffic simulation*. New York: Springer, 2010. v. 145.
- Braga, A. F.; Guedes, E. P. Proposta de cálculo da acessibilidade em aeroportos com o uso de sistema de informações geográficas. *Anais do XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Fortaleza-CE*, 2008.
- Brasil. Lei nº10.257. 2001.
- Bruton, M. J. *Introdução ao planejamento dos transportes*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1979.
- Budd, T. An exploratory examination of additional ground access trips generated by airport 'meeter-greeters'. *Journal of Air Transport Management*, Elsevier, v. 53, p. 242–251, 2016.
- Budd, T.; Ison, S.; Ryley, T. Airport surface access management: Issues and policies. *Journal of Airport Management*, Henry Stewart Publications, v. 6, n. 1, p. 80–97, 2011.
- Campos, V. B. G. *Planejamento de transportes: conceitos e modelos*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2013.
- CET. *Pólos geradores de tráfego*. [S.l.], 1983. v. 32.
- Chambers, A. Toward improving the understanding of traffic network effects of commercial airports. *Presentation for the ITE District 6 Annual Meeting, July 2015, Las Vegas*, 2015.
- Coelho, L. G.; Silva, A. N. R. d.; Dinato, A. C. Capacidade e nível de serviço do terminal de passageiros de um aeroporto regional-o caso de ribeirão preto. *Journal of Transport Literature*, SciELO Brasil, v. 6, n. 3, p. 90–106, 2012.
- Coelho, P. I. de S.; Portugal, L. da S. Procedimentos para analisar os impactos na qualidade do ar em função da divisão modal no acesso a aeroportos. In: *Polos Geradores de Viagens Orientados a Qualidade de Vida e Ambiental*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012. cap. 17.

- Coelho, P. I. de S.; Portugal, L. da S.; Ribeiro, S. K. Proposta de um procedimento de análise de aeroporto como pólo gerador de viagem (pgv). *XXI ANPET*, 2007.
- Coogan, M. A. *Ground access to major airports by public transportation*. [S.l.]: Transportation Research Board, 2008. v. 4.
- Cunha, R. F. de F. et al. Estudos de impacto. In: *Polos Geradores de Viagens Orientados a Qualidade de Vida e Ambiental*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012. cap. 3.
- Cybis, H. B. B.; Lindau, L. A.; Araújo, D. R. C. de. Avaliando o impacto atual e futuro de um pólo gerador de tráfego na dimensão de uma rede viária abrangente. *Revista Transportes*, v. 7, n. 1, 1999.
- Cybis, H. B. B.; Lindau, L. A.; Araujo, D. R. C. de. Implantação de um modelo de simulação e alocação do tráfego em porto alegre. *Revista dos Transportes Públicos-ANTP-Ano*, v. 24, p. 2º, 2002.
- DENATRAN. *Manual de procedimentos para o tratamento de pólos geradores de tráfego*. Brasília, 2001.
- DETRAN/SC. *Estatística de veículos do município de Florianópolis*. 2020. Disponível em: <[http://consultas.detrannet.sc.gov.br/Estatistica/Veiculos/winVeiculos.asp?lst\\_municipio=8105&nome\\_munic=FLORIANOPOLIS&lst\\_ano=0&lst\\_mes=0](http://consultas.detrannet.sc.gov.br/Estatistica/Veiculos/winVeiculos.asp?lst_municipio=8105&nome_munic=FLORIANOPOLIS&lst_ano=0&lst_mes=0)>.
- Elefteriadou, L. et al. *An introduction to traffic flow theory*. New York: Springer, 2014. v. 84.
- Ferreira, L.; Stevens, N. J.; Baker, D. C. The new airport and its urban region: Evaluating transport linkages. *Fifth International Conference on Traffic and Transportation Studies*. Science Press, China., p. 22–29, 2006.
- FHWA. *Traffic analysis toolbox Volume II: Decision support methodology for selecting traffic analysis tools*. [S.l.], 2004.
- Florianópolis. Decreto nº 13.348. 2014.
- Florianópolis. Lei complementar nº482/2014. 2014.
- Freitas, S. L. de O. et al. Uso do modelo saturn no estudo de impacto de um polo gerador de viagens no tráfego. *13 Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito - ANTP, Porto Alegre*, 2001.
- Goldner, L.; Nascimento, A.; Pinto, I. Análise do aeroporto salgado filho como polo gerador de viagens. *Journal of Transport Literature*, v. 8, n. 3, p. 229–249, 2014.
- Gonçalves, F. dos S. *Classificação dos PGVs e sua Relação com as Técnicas de Análise de Impactos Viários*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.
- Gonçalves, F. S. et al. Caracterização dos polos geradores de viagens. In: *Polos Geradores de Viagens Orientados a Qualidade de Vida e Ambiental*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012. cap. 1.
- Gosling, G. D. *Airport ground access mode choice models*. [S.l.]: Transportation Research Board, 2008. v. 5.
- Gosling, G. D. Ground access trip generation models for airport planning. In: *Transportation and Development Institute Congress 2011: Integrated Transportation and Development for a Better Tomorrow*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 374–385.
- Hensher, D. A. et al. *Handbook of transport geography and spatial systems*. [S.l.]: Elsevier Amsterdam, 2004. v. 5.
- Horonjeff, R. et al. *Planning and design of airports*. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

- Huang, Z. *Data integration for urban transport planning*. Tese (Doutorado) — Utrecht University, 2003.
- Hutchinson, B. G. *Principles of urban transport systems planning*. Washington DC: Scripta Book Company, 1974.
- ITE. *Trip Generation Handbook: An ITE Recommended Practice*. [S.l.]: Institute of Transportation Engineers, 2004.
- ITE. *Transportation Impact Analyses for Site Development [a Proposed Recommended Practice]*. [S.l.]: Institute of Transportation Engineers, 2005.
- ITE. *Trip Generation*. Washington, DC, USA: Institute of Transportation Engineers, 2008.
- ITE. *Traffic Engineering Handbook*. 7. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2016.
- ITE. *Transportation Planning Handbook*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2016.
- JGP Consultoria e Participações et al. *Relatório 1 - Estudos de Mercado - Aeroporto Internacional Hercílio Luz – Florianópolis - SC*. [S.l.], 2015.
- Kneib, E. C. *Caracterização de empreendimentos geradores de viagens: contribuição conceitual à análise de seus impactos no uso, ocupação e valorização do solo urbano*. Tese (Doutorado) — Universidade de Brasília, 2004.
- Kneib, E. C.; Silva, P. C. M. da; Portugal, L. da S. Impactos decorrentes da implantação de pólos geradores de viagens na estrutura espacial das cidades. *Transportes*, v. 18, n. 1, 2010.
- Leite, R. G. *Aplicação dos modelos de estimação da matriz origem-destino (O/D) em planejamento de transporte urbano*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2003.
- Maia, M. L. A. et al. Licenciamento de polos geradores de viagens. In: *Polos Geradores de Viagens Orientados a Qualidade de Vida e Ambiental*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012. cap. 2.
- Mamede, D. A.; Alves, C. J. P. Estudo sobre a acessibilidade de aeroportos no Brasil. *Anais do 15º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA–XV ENCITA/2009*. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, Brasil, Outubro, v. 19, 2009.
- MBA Empresarial. Perfil operacional do passageiro - aspectos operacionais. *São Paulo*, 1991.
- MCDOT. *Traffic Impact Procedures*. Arizona: Maricopa County Department of Transportation, 2008.
- McKinsey & Company. *Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil*. [S.l.], 2010.
- Medeiros, A. *Aplicabilidade de Algoritmos Genéticos para Calibração de Redes Viárias Urbanas Microssimuladas*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Ceará, 2012.
- Medeiros, A. G. M. de. *Um método para dimensionamento de terminais de passageiros em aeroportos brasileiros*. Tese (Doutorado) — Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2004.
- Monteiro, A. R.; Goldner, L. G. Taxas de geração de viagens para aeroportos: Estudo de caso no aeroporto hercilio luz em florianópolis/sc. *XXV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes-ANPET*. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2011.
- Ortúzar, J. de D.; Willumsen, L. G. *Modelling transport*. Chichester: John wiley & sons, 2011.
- PLAMUS. Plano de mobilidade urbana sustentável da grande florianópolis (plamus) - produto 19 relatório final consolidação das propostas e plano de implementação volume i – informação e diagnóstico. *Florianópolis*, 2015.

- PLAMUS. Plano de mobilidade urbana sustentável da grande Florianópolis (plamus) - produto 3.3 calibração dos modelos de demanda. *Florianópolis*, 2015.
- PLAMUS. Plano de mobilidade urbana sustentável da grande Florianópolis (plamus) - produto 8.5. resultado das pesquisas de campo: Domiciliar de origem e destino, preferência declarada, imagem, linha de contorno. *Florianópolis*, 2015.
- Portugal, L. da S. *Simulação de tráfego: conceitos e técnicas de modelagem*. [S.l.]: Interciência, 2005.
- Prestes, E. *Introdução à Teoria dos Grafos*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.
- Ruhl, T. A.; Trnavskis, B. Airport trip generation. *ITE Journal*, Citeseer, v. 68, n. 5, p. 24–31, 1998.
- Secretaria Nacional de Aviação Civil. *Sistema Hórus*. 2019. Disponível em: <horus.labtrans.ufsc.br>. *Introduction to simulation*. 65–73 p.
- Silva, L. P. R. F. da. *Análise da circulação rodoviária urbana com recurso à modelação de tráfego*. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Porto, 2018.
- Silva, L. S. d. *Análise operacional de um corredor urbano utilizando simulação de tráfego*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.
- Simões, M. de L. O. *Definição de uma Estratégia Optimizada de Controlo de Tráfego em Cruzamentos Usando Simulação Estocástica*. Tese (Doutorado) — Universidade do Porto, 2005.
- Spieß, H. Conical volume-delay functions. *Transportation Science*, INFORMS, v. 24, n. 2, p. 153–158, 1990.
- STBA. *Les Aéroports, Eléments de Conception et de Dimensionnement des Aéroports Passagers*. [S.l.]: Service Technique des Bases Aériennes, 1983.
- Tavares, D. M. *Método para análise de polos geradores de viagens utilizando ferramentas de microssimulação*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, 2011.
- Tavares, J. P.; Pereira, J. Modelos de simulação e de previsão de tráfego. *Universidade do Porto*, 2015.
- Tolfo, J. D. *Estudo comparativo de técnicas de análise de desempenho de redes viárias no entorno de polos geradores de viagens. 2006. 144 f.* Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- Vasconcelos, A. *Modelos de atribuição/simulação de tráfego: o impacto na qualidade dos resultados de erros no processo de modelação*. Tese (Doutorado) — Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2004.
- Vilarinho, C. A. T. *Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas*. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Porto, 2008.
- Wardrop, J. G. Road paper. some theoretical aspects of road traffic research. *Proceedings of the institution of civil engineers*, Thomas Telford-ICE Virtual Library, v. 1, n. 3, p. 325–362, 1952.
- Zimmermann, N. et al. Avaliação quantitativa da capacidade dos componentes operacionais do terminal de passageiros do aeroporto internacional de viracopos/campinas. *Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET. Joinville-SC- Brasil*, 2012.

## A Relação entre bairros e zonas de tráfego

| Bairro                 | Zona  |
|------------------------|-------|
| Abraão                 | 11021 |
| Açores                 | 11103 |
| Aeroporto              | 11090 |
| Agronômica             | 11060 |
| Armação                | 11102 |
| Balneário              | 11005 |
| Barra da Lagoa         | 11111 |
| Beira Mar Norte        | 11032 |
| Bom Abrigo             | 11020 |
| Cachoeira do Bom Jesus | 11150 |
| Cacupé                 | 11147 |
| Campeche               | 11108 |
| Canasvieiras           | 11138 |
| Canto da Lagoa         | 11116 |
| Capoeiras              | 11022 |
| Carianos               | 11089 |
| Carvoeira              | 11074 |
| Centro                 | 11054 |
| Continente             | 11023 |
| Coqueiros              | 11017 |
| Córrego Grande         | 11085 |
| Costa da Lagoa         | 11109 |
| Costeira               | 11081 |
| Daniela                | 11142 |
| Estreito               | 11004 |
| Ingleses               | 11151 |
| Itacorubi              | 11128 |
| Itaguaçu               | 11019 |
| Jardim Atlântico       | 11012 |
| João Paulo             | 11124 |
| Joaquina               | 11113 |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| Jurerê                  | 11140 |
| Jurerê Internacional    | 11141 |
| Lagoa da Conceição      | 11114 |
| Monte Cristo            | 11009 |
| Monte Verde             | 11122 |
| Morro das Pedras        | 11101 |
| Outra cidade            | 12006 |
| Pantanal                | 11087 |
| Parque São Jorge        | 11083 |
| Porto da Lagoa          | 11119 |
| Praia Brava             | 11048 |
| Praia Mole              | 11112 |
| Ribeirão da Ilha        | 11095 |
| Rio Tavares             | 11105 |
| Rio Vermelho            | 11157 |
| Saco dos Limões         | 11073 |
| Saco Grande             | 11121 |
| Sambaqui                | 11144 |
| Santa Mônica            | 11082 |
| Santinho                | 11154 |
| Santo Antônio de Lisboa | 11146 |
| Tapera                  | 11092 |
| Trindade                | 11068 |
| Vargem Grande           | 11139 |