



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL AMORIM RABELO NOBRE

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DA IMPLANTAÇÃO DE UM BINÁRIO EM VIAS
ARTERIAIS COM AUXÍLIO DE MICROSSIMULADOR.**

FORTALEZA

2019

GABRIEL AMORIM RABELO NOBRE

AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DA IMPLANTAÇÃO DE UM BINÁRIO EM VIAS
ARTERIAIS COM AUXÍLIO DE MICROSSIMULADOR.

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em engenharia Civil.

Orientador: Carlos Felipe Grangeiro Loureiro,
Ph.D.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N672a Nobre, Gabriel Amorim Rabelo.
Avaliação de impactos da implantação de um binário em vias arteriais com auxílio de microssimulador. /
Gabriel Amorim Rabelo Nobre. – 2019.
65 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Carlo Felipe Grangeiro Loureiro.

1. Binário. 2. Microssimulação. 3. Modelagem Multimodal. 4. VISSIM. 5. Avaliação de intervenções. I.
Título.

CDD 620

GABRIEL AMORIM RABELO NOBRE

AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DA IMPLANTAÇÃO DE UM BINÁRIO EM VIAS
ARTERIAIS COM AUXÍLIO DE MICROSSIMULADOR.

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovada em: 04/12/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro, Ph.D. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Moraes de Oliveira Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Mestre Alessandro Macêdo de Araújo

“Nem todos os que vagueiam estão perdidos.”

J.R.R Tolkien

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A minha família, Lucia, Gabriely, Eridan e em especial ao meu pai Eriglauber, e aos demais familiares que sempre me apoiaram nessa trajetória.

Ao meu orientador Felipe, que sempre foi uma grande inspiração para seguir na área de engenharia de transportes e por todo o suporte dado tanto dentro da universidade quanto fora.

Aos meus colegas de faculdade, Aldaianny, Altanizio, Andrezza, Beliza, David, Diego, João Lucas, Jonas, Kaio, Isabel, Israel, Luana, Lucas Moreira, Lucas Sousa, Mateus Lira, Matheus Pires, Nilso e Renata que me acompanharam durante todo o curso, sem vocês eu não estaria aqui hoje, espero que nossa jornada esteja apenas começando.

Aos meus amigos do Petran em especial a Cassiano, Davi, Diego, Gabriel, Jullie, Matheus, Mayara, Nara e Vanessa, por sempre me mostrarem como a vida acadêmica mesmo sendo dura é recompensadora.

Aos meus avaliadores, Moraes e Alessandro, por sua disposição em avaliar esse trabalho.

Aos demais professores do DET, que me ajudaram em diversas etapas da minha vivência acadêmica, em especial ao professor Bruno, Professor Manoel e Professor Moraes, pelo auxílio quando foi preciso e também por serem humanos nesse mundo tão duro.

A todas as demais pessoas que contribuíram de alguma forma para que esse projeto acontecesse.

RESUMO

Gestores das mais diversas esferas do planejamento urbano, se preocupam com a qualidade do sistema de transportes de uma cidade, devido a seus impactos na qualidade de vida da população e na economia. Para decidir corretamente necessitam de informações sobre a efetividade de intervenções, e o sistema de transportes é uma área extremamente complexa devido a suas inúmeras variáveis muitas vezes extremamente difíceis e caras de se coletar em campo. Devido a dificuldade de coletar indicadores mais refinados em campo, a microssimulação surge como uma ferramenta de modelagem que consegue o nível de acurácia necessário para tais indicadores. Esse trabalho tem como objetivo propor um método de avaliação *ex-post* de intervenções no sistema de transporte, do tipo binário, em vias urbanas arteriais. Busca-se seguir as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana que é a lei magna do planejamento de transportes no Brasil. Usou-se também, o manual HCM 2010 que é referências de indicadores para sistemas de transporte. O trabalho utilizou o software VISSIM e passou por etapas de modelagem microscópica onde se calibrou diversos modelos de comportamento do motorista para que a simulação multimodal seja o mais verossímil possível. Tudo isso tem por objetivo final avaliar os benefícios e prejuízos de intervenções desse tipo.

Palavras chave: Binário, Microssimulação, Modelagem multimodal, VISSIM, avaliação de intervenções.

ABSTRACT

Managers from the most diverse spheres of urban planning are concerned about the quality of a city's transportation system because of its impacts on the population's quality of life and economy. To make the right decision, they need information about the effectiveness of interventions, and the transport system is an extremely complex area because of its many variables that are often extremely difficult and expensive to collect in the field. Due to the difficulty of collecting more refined indicators in the field, microsimulation emerges as a modeling tool that achieves the level of accuracy required for such indicators. This paper aims to propose a method for ex-post evaluation of interventions in binary ways transport system on arterial roads. We seek to follow the guidelines of the National Urban Mobility Policy, which is the major law of transport planning in Brazil. We also used the HCM 2010 manual which is a reference of indicators for transportation systems. The work used the VISSIM software and went through microscopic modeling stages where several driver behavior models were calibrated to make the multimodal simulation as believable as possible. All of this has the ultimate objective of evaluating the benefits and harms of such interventions.

Keywords: binary ways, microsimulation, multimodal modeling, VISSIM, evaluation of interventions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de planejamento	17
Figura 2 - Método para definição de nível de serviço	19
Figura 3 - Nível de detalhamento dos modelos	21
Figura 4 - Blocos de parâmetros e suas estratégias de calibração	23
Figura 5 - Distribuição normal	26
Figura 5 - Processo de planejamento adotado	27
Figura 6 - Método de identificação utilizado.....	28
Figura 7 - Método de caracterização utilizado	29
Figura 8 - Método de avaliação da intervenção.....	29
Figura 9 - Região de estudo.....	31
Figura 10 - Avenida Santos Dumont antes	32
Figura 11 - Avenida Dom Luís antes	32
Figura 12 - Seção transversal das vias antes.....	33
Figura 13 - Avenida Santos Dumont depois	33
Figura 14 - Avenida Dom Luís depois.....	34
Figura 15 - Seção transversal das vias depois	34
Figura 16 - Árvore de Problemas	37
Figura 17 - Codificação da rede	40
Figura 18 - Método de modelagem da faixa exclusiva.....	41
Figura 19 - Codificação do link.....	41
Figura 20 - Veículos bloqueados	42
Figura 21 - Divisão do link.....	42
Figura 22 - Desbloqueio do link intermediário	43
Figura 23 - Faixa exclusiva modelada.....	43
Figura 24 - Link.....	44
Figura 25 - Posicionamento do Node	44
Figura 26 - Queue Counter	45
Figura 27 - Vehicle Travel Time	45
Figura 28 - Linha e parada de transporte público	46
Figura 29 - Vehicle Route	47
Figura 30 - Regras de prioridade	48
Figura 31 - Calibração Bicicletas	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tempo de Viagem na Avenida Santos Dumont	55
Gráfico 2 - Tempo de viagem na Avenida Dom Luís	55
Gráfico 3 - Número médio de paradas.....	56
Gráfico 4 - Densidade Veicular	57
Gráfico 5 - Atraso do modo carro na avenida Dom Luís	57
Gráfico 6 - Atraso do modo ônibus na avenida Dom Luís	58
Gráfico 7 - Atraso do modo carro na avenida Santos Dumont.....	59
Gráfico 8 - Atraso do modo ônibus na avenida Santos Dumont	59
Gráfico 9 - Tamanho de fila em semáforos	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de serviço de vias urbanas	20
Tabela 2 - Indicadores.....	39
Tabela 3 - Parâmetros de Calibração	48
Tabela 4 - Tempo de viagem nas avenidas Santos Dumont e Dom Luís.....	50
Tabela 5 - Nível de serviço	51
Tabela 6 - Número médio de paradas	51
Tabela 7 - Densidade veicular	51
Tabela 8 - Atraso decorrente de interseções semaforizadas	52
Tabela 9 - Atraso das secundarias de interseções semaforizadas	52
Tabela 10 - Filas em semáforos	53
Tabela 11 - Emissão de poluentes.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Questões motivadoras.....	15
1.2 Objetivos.....	15
1.3 Justificativa	15
1.4 Estrutura da Monografia.....	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 Processo de planejamento	17
2.2 Indicadores	18
2.3 Modelos de simulação.....	20
2.4 Microsimulação	21
2.5 Modelo de comportamento do motorista.....	22
2.6 Calibração	23
2.7 Emissão de poluentes através de microsimulação.....	24
2.8 Teste estatístico.....	25
3 MÉTODO	27
4 IDENTIFICAÇÃO DA PROBLEMÁTICA.....	30
4.1 Contextualização do sistema.....	30
4.1.1 <i>Cenário A</i>	31
4.1.2 <i>Cenário B</i>	33
4.1.3 <i>Comparação entre os cenários</i>	34
4.2 Justificativa dos problemas.....	35
4.3 Representação da problemática	36
4.4 Definição de indicadores	37
4.4.1 <i>Elevado tempo de viagem</i>	37
4.4.2 <i>Baixa fluidez no tráfego</i>	38
4.4.3 <i>Grande número de paradas ao cruzar o trecho</i>	38
4.4.4 <i>Elevada densidade veicular</i>	38
4.4.5 <i>Atraso decorrente de interseções semaforizadas</i>	38
4.4.6 <i>Grandes filas em semáforos</i>	38
4.4.7 <i>Elevada emissão de poluentes</i>	39
5 CARACTERIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA	40
5.1.1 <i>Modelagem faixa exclusiva</i>	40
5.1.2 <i>Links</i>	43
5.1.3 <i>Posicionamento de nodes</i>	44
5.1.4 <i>Queue Counter</i>	45
5.1.5 <i>Vehicle travel time</i>	45

5.1.6 Transporte publico	46
5.1.7 Vehicle inputs e vehicle routes	46
5.2 Calibração da rede.....	47
5.3 Calculo dos indicadores.....	50
5.4 Caracterização dos cenários	50
5.4.1 Elevado tempo de viagem.....	50
5.4.2 Baixa fluidez no tráfego.....	50
5.4.3 Grande número de paradas ao cruzar o Binário	51
5.4.4 Elevada densidade veicular.....	51
5.4.5 Atraso decorrente de interseções semaforizadas.....	51
5.4.6 Grandes filas em semáforos	52
5.4.7 Elevada emissão de poluentes.....	53
6 AVALIAÇÃO DA INTERVENÇÃO	54
6.1 Comparação entre os cenários.....	54
6.1.1 Elevado tempo de viagem.....	54
6.1.2 Baixa fluidez no tráfego.....	55
6.1.3 Grande número de paradas ao cruzar o binário.....	56
6.1.4 Elevada densidade veicular.....	56
6.1.5 Atraso decorrente de interseções semaforizadas.....	57
6.1.6 Grandes filas em semáforos.....	60
6.1.7 Elevada emissão de poluentes.....	60
6.2 Discussão da avaliação	61
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
7.1 Limitações	63
7.2 Recomendações para trabalhos futuros	63
REFERÊNCIAS	64
APÊDICE A – TESTES ESTATISTICOS.....	66

1 INTRODUÇÃO

As cidades passam por constante crescimento econômico e populacional e o sistema de transporte tem que ser pensado para permitir o deslocamento nesse meio urbano. Caso esse sistema não seja preparado para receber esse aumento de viagens decorrente do crescimento das cidades, surgem problemas ligados ao deslocamento dos indivíduos, que vão de atrasos até a acidentes. Intervenções no sistema de transporte surgem como ferramenta para remediar esses problemas.

No Brasil desde 2014 qualquer proposta de intervenção no sistema de transportes deve se basear na nova política nacional de mobilidade urbana (PNMU) que define diretrizes para o planejamento de tais intervenções. Entre essas diretrizes estão a valorização de transporte coletivo e de transportes ativos como bicicletas, isto é descrito na Política nacional de mobilidade urbana (2012) capítulo I seção II. Na cidade de Fortaleza a partir de 2014 ocorreram várias intervenções no sistema viário entre elas estão os binários, que consistem em duas vias paralelas cada uma com um sentido único. Diversas vias que são utilizadas na criação de binários em Fortaleza passaram por reconfiguração de sentido, pois muitas eram duplo sentido. Além da reconfiguração de sentidos e número de faixas diversos binários também contam com faixas exclusivas para transporte público e ciclofaixas. Essas mudanças são um exemplo de adequação ao PNMU.

As intervenções necessitam de estudos prévios para uma maior acurácia quanto aos impactos de sua implantação, pois é necessário avaliar qual a intervenção mais adequada para cada local da rede de tráfego. Dito isso faz se necessário um método prático e preciso para analisar essas intervenções. E acredita-se que modelos de microsimulação são mais adequados para suprir essa necessidade devido a sua modelagem carro a carro. Comercialmente existem diversos microsimuladores que são utilizados tais como o VISSIM, Transmodeler e AimSum

Um dos principais desafios de um modelo e microsimulação é a calibração e validação do modelo microscópico. Existem diversas metodologias para calibração e validação de modelos dentre elas a do FHWA (2004) que recomenda uma calibração de 3 passos que são: calibração de capacidade, calibração da escolha de rota e calibração de performance no sistema. Embora esse método seja bem genérico, não especificando nenhum software em si, ele é válido para o desenvolvimento dessa metodologia. No processo de calibração busca-se atingir medidas alvo, por meio do ajuste de parâmetros. A medida alvo capacidade é recomendada por autores como Barceló (2010), a ser utilizada em qualquer modelagem de vias urbanas

independente da medida de desempenho que se busca alcançar, devido ao seu impacto direto em todo o comportamento da rede.

1.1 Questões motivadoras

- Como desenvolver um modelo de avaliação de binários?
- Quais os melhores indicadores para avaliar uma intervenção desse tipo?
- Como modelar vias com diversos modais simultaneamente em um microsimulador?
- Como os diferentes modais se comportam em conjunto antes e depois dessa intervenção?

1.2 Objetivos

Objetivo Geral

Avaliar os impactos da implantação de um binário em vias arteriais.

Objetivos Específicos

- Contextualizar a região de abrangência da intervenção;
- Identificar e representar a problemática na região;
- Propor indicadores para caracterizar a problemática;
- Codificar a região por meio de microsimulação, cenários 2014 e 2015;
- Calibrar o modelo de microsimulação;
- Calcular indicadores para caracterização dos cenários;
- Avaliar a intervenção com base nos indicadores.

1.3 Justificativa

O tema foi escolhido devido a necessidade de auxiliar a comunidade técnica e acadêmica, com um método de análise de intervenção baseado em microsimulação, para assim permitir uma maior acurácia quanto aos impactos da intervenção do tipo binário.

Existem diversos manuais para avaliação de vias urbanas, dentre eles um dos mais relevantes se trata do Highway Capacity Manual, HCM, que é um manual norte americano sobre diversos tipos de vias, urbanas e rurais. Embora esse manual seja mundialmente respeitado a diversas diferenças entre a realidade estadunidense e a brasileira como dito por Setti (2009), ele demonstra por meio desse artigo que o HCM não se adequa bem a realidade brasileira, tendo grandes taxas de erro.

Diante do exposto, acredita-se que a modelagem microscópica tem grande funcionalidade nesse tipo de avaliação, pois há a possibilidade de modelar cada veículo individualmente. Além de permitir observar a influência dos mais diversos modos de transporte, além de apresentar grande facilidade de gerenciamento de cenários, sendo necessário um pequeno esforço para alterações na rede, facilitando assim a avaliação de cenários a serem implementados no futuro. A microssimulação também abre portas para a inserção de outras problemáticas além de problemas de tráfego, como emissão de poluentes e segurança viária.

1.4 Estrutura da Monografia

Esta monografia conta com 7 capítulos, sendo estes: introdução, que conta com objetivos, justificativa e a estrutura da monografia. O capítulo 2, Revisão da literatura, trata de uma revisão bibliográfica que se apoia em trabalhos já existentes para permitir a realização deste. No capítulo 3, Método, são feitas considerações sobre o processo de planejamento utilizado. No capítulo 4, Identificação da problemática, a contextualização da problemática é discutida junto com o levantamento e representação de problemas, este capítulo tem como produto final uma árvore representando a problemática e a definição dos indicadores. O capítulo 5, caracterização da problemática, será tratado nele a modelagem por meio de microssimulador, esta auxiliará no cálculo dos indicadores, o resultado final desse capítulo se dará por meio dos indicadores calculados o que resultará na problemática caracterizada. Capítulo 6 tratará de uma avaliação dos impactos da intervenção, onde será calculado se as diferenças entre os cenários são estatisticamente significantes e será discutido sobre essas diferenças. Por fim o capítulo 7 serão as considerações finais, limitações e sugestões para trabalhos futuros.

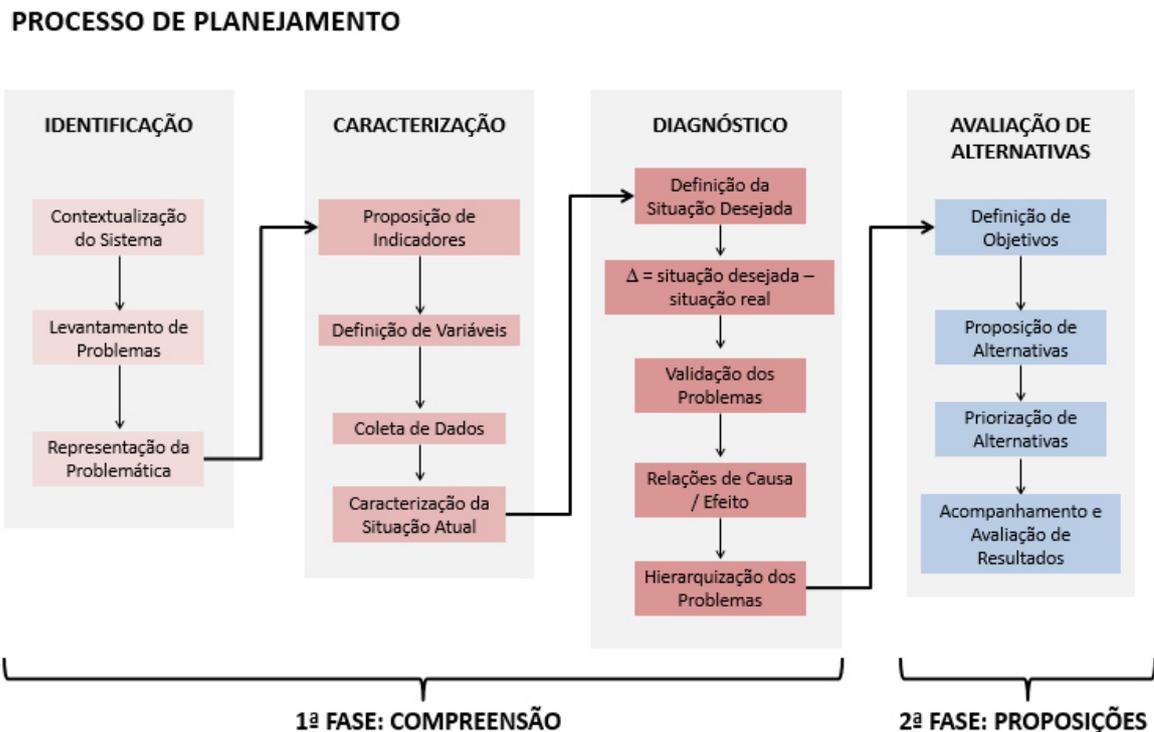
2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será realizada uma revisão sobre a literatura utilizada como apoio para a realização deste trabalho, ela tem por finalidade auxiliar o cumprimento dos objetivos propostos no capítulo passado.

2.1 Processo de planejamento

Soares (2014) desenvolveu um processo de planejamento que tem como foco o problema. Esse método se difere de várias abordagens convencionais devido a não ter um planejamento voltado a solução. A necessidade de um planejamento integrado entre os diversos sistemas da cidade dentre eles podemos destacar o sistema de transportes o de uso do solo e o de transportes. O produto mais relevante de Soares (2014) para essa monografia será o processo de planejamento dividido em duas fases: compreensão da problemática e avaliação de alternativas. A Figura 1 representa o processo de planejamento de Soares (2014).

Figura 1 - Processo de planejamento



Fonte: Soares 2014

A fase de compreensão da problemática possui 3 grandes grupos com diversos passos. Identificação da problemática é o primeiro grande agrupamento, ele tem por objetivo descobrir os problemas da região de estudo e representa-los. A caracterização busca demonstrar por meio de indicadores a situação atual da região. Por fim o diagnóstico avalia a criticidade da situação

comparado a uma situação ideal e hierarquiza os problemas. Após tudo isso pensa-se em alternativas para a solução dos problemas levantados.

O método de Soares (2014) é um método bastante genérico de planejamento, ele pode ser utilizado nos mais diversos níveis como estratégico, tático e operacional. Porém ele não se mostra tão útil para uma situação de avaliação *ex-post* de cenários, a etapa de diagnóstico é desnecessária para essa avaliação, pois o objetivo da comparação de cenários é mostrar o delta entre os indicadores de cada cenário e não com um cenário ideal. A proposição de alternativas também é algo desnecessário devido que a intervenção já foi realizada.

A definição de indicadores é uma das partes mais fundamentais para a realização de uma boa avaliação pois eles que definem as medidas de desempenho a serem comparadas na avaliação.

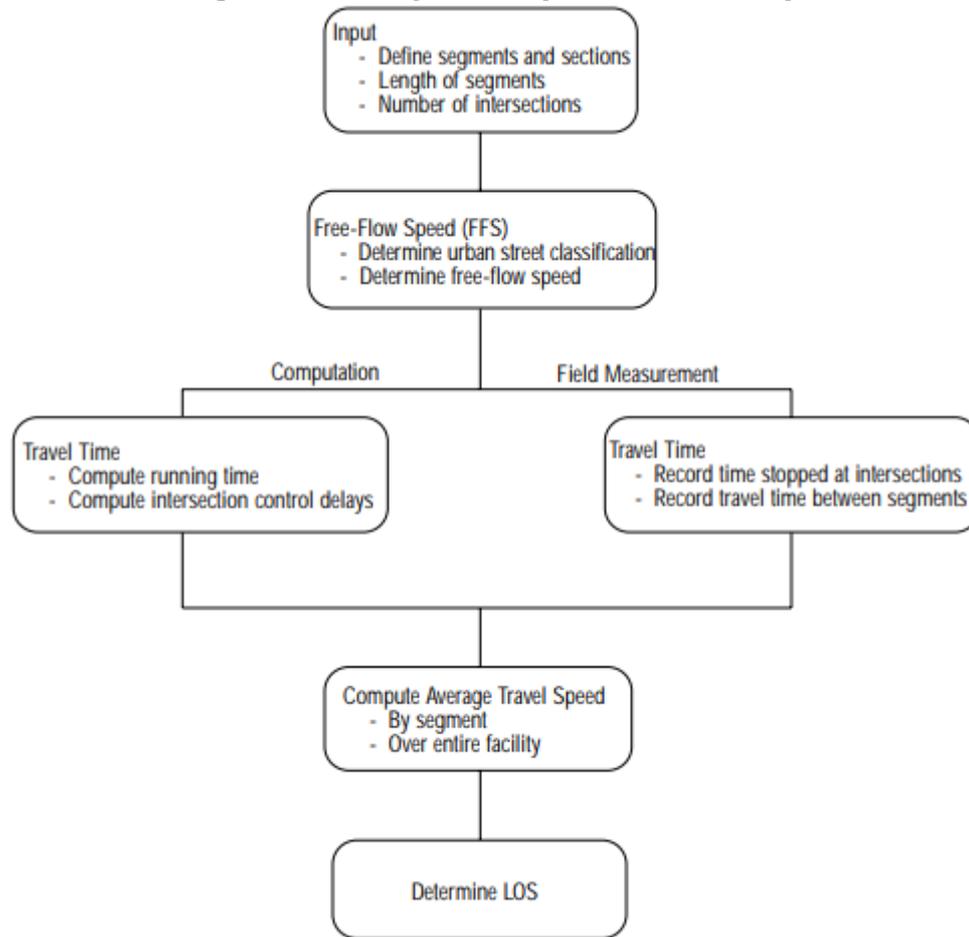
2.2 Indicadores

Indicadores, segundo JANNUZI (2003) são medidas quantitativas, que são usados para quantificar e/ou operacionalizar um conceito, e podem ser tanto de interesse à pesquisa acadêmica e à formulação de políticas públicas.

Na literatura existem diversos manuais que definem métodos de avaliação de situações no trânsito. Dentre eles o mais famoso é o norte-americano HCM, *Highway Capacity Manual*, que define métodos de cálculo de nível de serviço para as mais diversas situações, desde pedestres em uma via urbana até *highways* de alta capacidade.

O método para definição do nível de serviço de vias urbanas segundo o HCM é demonstrando pelo fluxograma presente na Figura 2.

Figura 2 - Método para definição de nível de serviço



Fonte: HCM 2010

Segundo HCM 2010, o nível de serviço de uma via urbana é definido pela sua velocidade média em comparação a velocidade de fluxo livre, para as diferentes classes de via. A classificação viária utilizada nos Estados Unidos da América é diferente da brasileira, mas se utilizarmos a velocidade de fluxo livre como um fator de comparação é possível fazer uma relação entre as distintas classificações. Essa comparação é representada na Tabela 1.

Tabela 1 - Nível de serviço de vias urbanas

Classe de Via urbana	I	II	III	IV
Velocidade de fluxo livre	70 a 90 km/h	70 a 55 km/h	55 a 50 km/h	55 a 40 km/h
Velocidade típica de fluxo livre	80 km/h	65 km/h	55 km/h	45 km/h
LOS	Velocidade média de viagem (km/h)			
A	>72	>59	>50	>41
B	>56-72	>46-59	>39-50	>32-41
C	>40-56	>33-46	>28-39	>23-32
D	>32-40	>26-33	>22-28	>18-23
E	>26-32	>21-26	>17-22	>14-18
F	<26	<21	<17	<14

Fonte: HCM 2010 adaptado

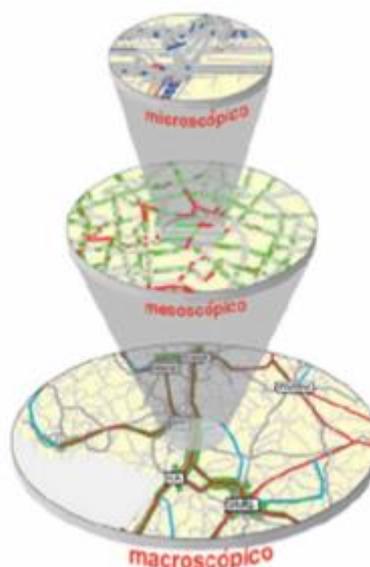
A Política Nacional de Mobilidade Urbana também define diretrizes para o planejamento urbano de sistemas de transportes. Dessas diretrizes é possível definir indicadores com base no que se deseja para o sistema de transportes do futuro.

A uma grande limitação ao calcular indicadores de tráfego devido à dificuldade de observar vários indicadores em campo. Para isso surgem ferramentas de simulação que conseguem coletar tais indicadores, por meio de modelos calibrados para simular a realidade.

2.3 Modelos de simulação

Na literatura existem diversos modelos de simulação de tráfego, esses modelos podem ser diferenciados na literatura quanto ao nível de agregação. Os modelos do mais agregado para o menos agregado são: macroscópico, mesoscópico e microscópico, esses modelos podem ser melhor visualizados na Figura 3. A escolha do tipo de modelo depende de diversos fatores como a disponibilidade de dados, cada um deles possui vantagens e desvantagens.

Figura 3 - Nível de detalhamento dos modelos



Fonte: Vilarinho (2008)

Modelos macroscópicos podem ser utilizados para modelagem de grandes redes eles seguem o modelo 4 etapas de geração, distribuição, escolha modal e alocação, além de não exigirem um grande nível de desagregação de dados, porém seu cálculo de indicadores como velocidade média é bem simples se baseando somente em uma relação fluxo/velocidade, considerando igual o comportamento de todos os veículos em cada link.

Por outro lado, modelos microscópicos são o mais desagregados possíveis, modelando cada veículo individualmente, para esses modelos também é necessário a calibração do comportamento do motorista por meio de modelos de comportamento do motorista, esses modelos tem como vantagem a informação de indicadores mais sensíveis a alterações na rede, já que qualquer alteração nos *links* da rede afetará cada veículo individualmente ao contrário de apenas uma média de veículos como é o caso dos outros modelos.

O modelo de microssimulação devido a desagregação dos dados é o mais adequado para a visualização de alterações dentro da via, pois como cada veículo é simulado individualmente é mais perceptível o efeito de mudanças no tráfego.

2.4 Microssimulação

A microssimulação tem como principal vantagem a modelagem de diversos cenários com grande facilidade de alterações, a possibilidade de modelar vários modos de transporte diferentes bem como o comportamento de cada condutor. E trabalhos como o de May (1990) destacam a vantagem da simulação de tráfego, vantagens essas como permitir um melhor

entendimento do sistema estudado, permitir simulação de cenários alternativos a realidade com pouco esforço, o estudo do sistema em tempo real, tempo reduzido ou estendido, dentre outras vantagens.

Ela também permite a obtenção de diversos outros indicadores não relacionados ao tráfego como indicadores de emissão de poluentes e indicadores de segurança viária. Existem diversos trabalhos que tratam sobre o assunto. O trabalho de Dias (2014) trata sobre a modelagem integrada da emissão de poluentes de veículos de transportadoras. Nesse trabalho ele simula um veículo de carga no tráfego de uma via e compara com um veículo real que teve dados coletados em campo. Astarita et al. (2012), trabalham com simulação de acidentes de segurança viária em microsimulação. Ele compara dois cenários, um com uma interseção não semaforizada controlada somente por um sinal de pare e outro com uma rotatória de 4 vias. Para essa comparação ele utiliza dois indicadores: *Deceleration Rate to Avoid the Crash* e *Time to collision*, fornecendo assim medidas que auxiliem o tomador de decisão sobre o que estiver sendo analisado.

O microsimulador VISSIM se mostra bastante eficiente com modelos de microsimulação sendo considerado como o estado da arte da simulação multimodal, segundo a própria empresa desenvolvedora. Ele também vem sendo utilizado em diversos trabalhos técnicos e científicos como Astarita et al. (2012), Lacerda (2016), Martín (2018), dentre outros.

2.5 Modelo de comportamento do motorista

O VISSIM possui dois modelos Carro Seguidor de *Wiedmann* para representar o comportamento do motorista, são eles o modelo de *Wiedmann 74 (W74)* e *Wiedmann 99 (W99)*. O manual do software recomenda que o W74 seja utilizado para vias urbanas enquanto o W99 seja utilizado para estradas rurais. O W74 tem como principais parâmetros ax que se trata da distância entre veículos parados e bx_{add} e bx_{mult} que são fatores de distância segura entre veículos em movimento, eles são a parte aditiva e multiplicativa da equação. A equação de distância segura em movimento que os veículos adotam está mostrada na equação abaixo:

$$bx = (bx_{add} + bx_{mult} * z) * \sqrt{v}$$

O modelo de Comportamento do Motorista do VISSIM possui diversos outros submodelos, dentre eles o submodelo Mudança de Faixa que busca modelar a mudança de faixas entre veículos e como eles interagem com outros objetos nesse movimento. E o modelo Lateral que simula a interação entre veículos com outros objetos laterais.

Para que o modelo microscópico seja valido o comportamento do motorista deve ser calibrado de modo que o comportamento se assemelhe a realidade, alterando-se os parâmetros do modelo para que se atinja uma medida alvo coletada em campo.

2.6 Calibração

Diversos trabalhos acadêmicos e técnicos têm como tema a calibração de modelos microscópicos. no modelo de carro seguidor ASAMER *et al.* (2013) indica que para facilitar a calibração os parâmetros *bx_add* e *bx_mult* devem ser iguallados, mesmo isso sendo contrário aos próprios valores *default* do programa.

Trabalhos como o de Lacerda (2016) e Martín (2018), são mais direcionados a modelagem em um software específico que é o PTV VISSIM, e tem como estudo de caso a cidade de Fortaleza.

Lacerda (2016) trata sobre a estimação da velocidade média em vias urbanas. Ele define uma estratégia de calibração do modelo de *Wiedmann 74* baseada em 3 blocos: no primeiro constam os valores medidos em campo, o segundo bloco segue o processo de calibração manual tendo como medida-alvo o fluxo de saturação, e no último bloco é utilizada calibração automatizada com algoritmo genético, AG. Os parâmetros de cada bloco estão mostrados na Figura 4. Vale ressaltar que o trabalho de Lacerda (2016) calibrou apenas os submodelos de Carro Seguidor e Mudança de Faixa.

Figura 4 - Blocos de parâmetros e suas estratégias de calibração

Parâmetros	Estratégia de Calibração / Medidas-Alvo
Velocidade Desejada Tempo médio de parada <i>ax</i> (W74)	Medição em campo
<i>bx_add</i> (W74) <i>bx_mult</i> (W74)	Calibração manual tendo Fluxo de Saturação como medida-alvo
<i>Dur. Temporary lack of attention (Car-following)</i> <i>Prob. Temporary lack of attention (Car-following)</i> <i>Min. Headway front/rear (Lane-changing)</i> <i>Safety Dist. Red. Factor (Lane-changing)</i>	Calibração automatizada com AG

Fonte: Lacerda (2016)

O trabalho de Martín (2018) propõe uma metodologia para modelagem de interseções semaforizadas multimodais. Esse trabalho tem grande contribuição para calibração multimodal descrevendo a calibração de cada modal separadamente. Os pedestres foram calibrados

considerando diferenças variados fatores, como idade, entre outros. O modelo de Carro seguidor do modal carro foi calibrado de modo semelhante à de Lacerda (2016) com o parâmetro ax . Esse parâmetro foi coletado em campo e os parâmetros bx_add e bx_mult foram calibrados de acordo com o fluxo de saturação. Na calibração dos ônibus foram apresentados 3 modelos de tempo parado do veículo: o modelo de distribuição de tempo, que considera somente o tempo médio e o desvio para criar uma distribuição, o modelo avançado de passageiros que considera parâmetros de operação de embarque, desembarque, ocupação e capacidade, e por fim o modelo *VISWALK*, que modela o deslocamento dos pedestres na rede antes e depois da subida do ônibus.

2.7 Emissão de poluentes através de microssimulação

Existem diversos modelos computacionais para emissão de poluentes, dentre eles podemos citar o *Panis et al*, o *Enviver* e o VT Micro. Eles são modelos agregados a microssimuladores e conseguem fazer uma modelagem integrada de tráfego e poluentes, permitindo a modelagem da emissão de cada veículo individualmente.

O *Panis et al* vinculado ao microssimulador AIMSUM trabalha com a emissão de poluentes considerando fatores como velocidade e aceleração no seu modelo, além de fatores constantes de emissão. Nesse modelo também existem um valor mínimo de emissão para cada veículo. A fórmula a seguir demonstra o funcionamento do *Panis et al*.

$$E_n(t) = \max [E_0, f_1 + f_2 v_n(t) + f_3 v_n(t)^2 + f_4 a_n(t) + f_5 a_n(t)^2 + f_6 v_n(t) a_n(t)]$$

E_n = quantidade emitida em (g/s)

v_n = velocidade no instante t

a_n = aceleração no instante t

E_0 = limite mínimo de emissão para cada veículo

f_1 ao f_6 = emissões constantes especificadas para cada tipo de veículo.

O modelo *Enviver* segue o modelo de emissão *Vistro* associado ao microssimulador VISSIM. Ele utiliza um modelo baseado na potência do motor do veículo e em parâmetros transientes para cada poluente de acordo com veículos pré-definidos.

$$E_{trans} = EQS + PRated . F_{trans}$$

E_{trans} = quantidade emitida (g/h)

EQS = Valor emitido no período estacionário (g/h)

$PRated$ = potência do motor (kW)

$Ftrans$ = função de correção dinâmica (g/h/kW)

Esse modelo é limitado devido aos fatores transientes serem fixos para veículos europeus o que dificulta sua utilização em diversos outros locais.

Por fim o Virginia Tech MICROscopic (VT-Micro) é um modelo de emissão e consumo de combustível baseado em uma regressão de termos lineares, quadráticos e cúbicos. Esse modelo utiliza uma equação básica tem o coeficiente alterado dependendo se a aceleração é positiva ou negativa, permitindo assim modelar melhor instantes de aceleração e desaceleração.

$$MOE_e = e^{\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 (K^e_{i,j} \cdot u^i \cdot a^j)}$$

MOE_e = emissão ou consumo

$K^e_{i,j}$ = coeficiente do modelo de regressão

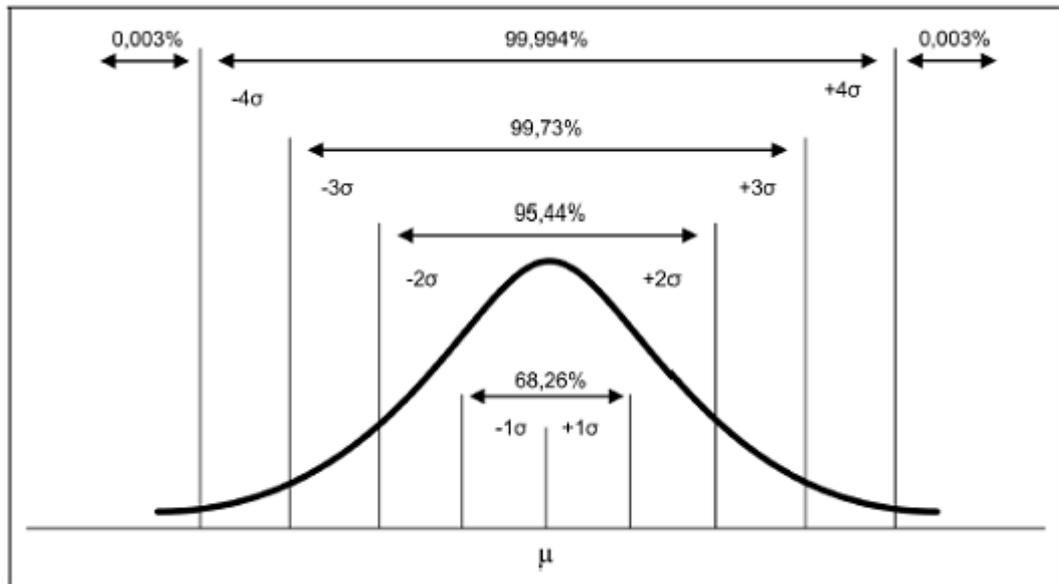
u^i = velocidade instantânea

a^j = aceleração instantânea

2.8 Teste estatístico

Essa comparação entre cenários busca verificar se realmente houve diferença entre os indicadores nos cenários por meio de análise estatística. Utiliza-se a distribuição T de Student para avaliar se a média do cenário pós intervenção é suficientemente diferente da média do cenário pré intervenção, houveram 30 replicações da simulação e estamos utilizando um grau de confiança de 95%, isso nos gera uma função inversa à distribuição T de aproximadamente 2 desvios padrões para mais e para menos. Devido ao tamanho da amostra esse resultado se assemelha ao resultado da utilização de escore z. A Figura 5 mostra os intervalos de confiança para diferentes graus de liberdade.

Figura 5 - Distribuição normal



Fonte: FM2S (2018)

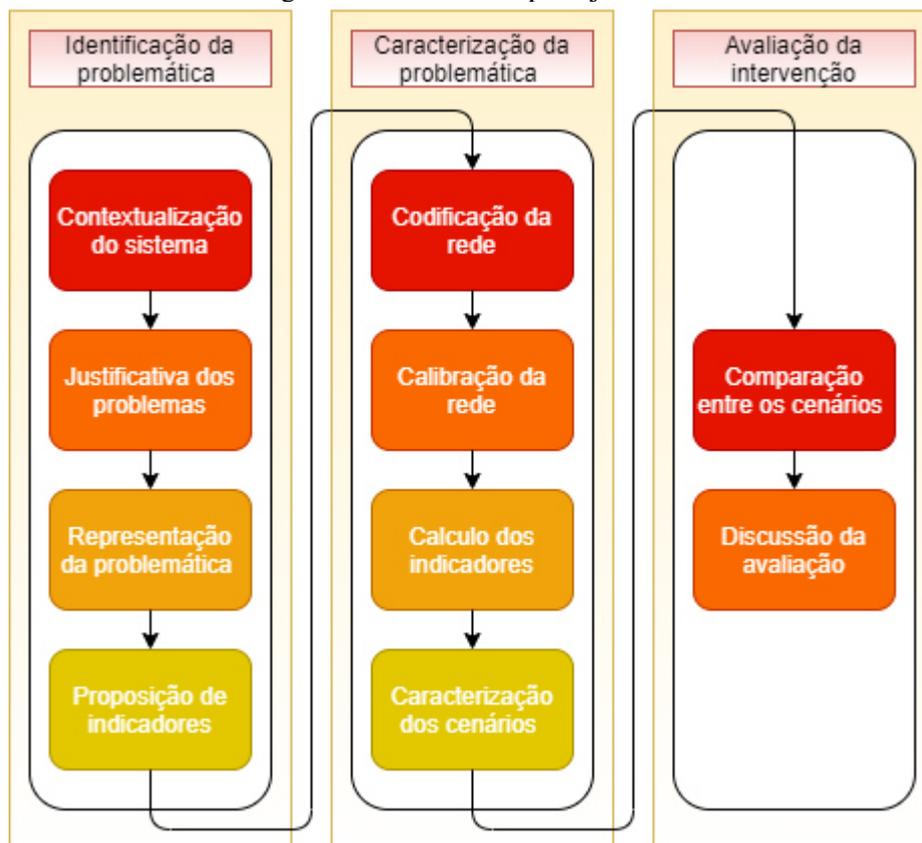
Para avaliar se houve ou não diferença significativa entre os cenários se utilizou de um teste de hipótese em que $h_0: u_a = u_b$ e $h_a: u_a \neq u_b$, utilizou-se um t crítico de 2,048 que corresponde a um grau de confiança de 95%.

3 MÉTODO

Este capítulo tem por objetivo apresentar o método utilizado no processo de planejamento deste trabalho. Nele serão mostradas o modelo para que se adeque aos objetivos do presente trabalho.

O método proposto para ser utilizado na realização dos objetivos desta monografia será um modelo em 3 etapas, em que serão distribuídos os passos necessários para a realização da avaliação. Este método pode ser utilizado tanto para uma avaliação *ex-post* quanto para uma *ex-ante*, nesse trabalho foi realizada uma avaliação *ex-post* de comparação entre dois cenários existentes. O método utilizado neste trabalho está presente na Figura 6.

Figura 6 - Processo de planejamento adotado

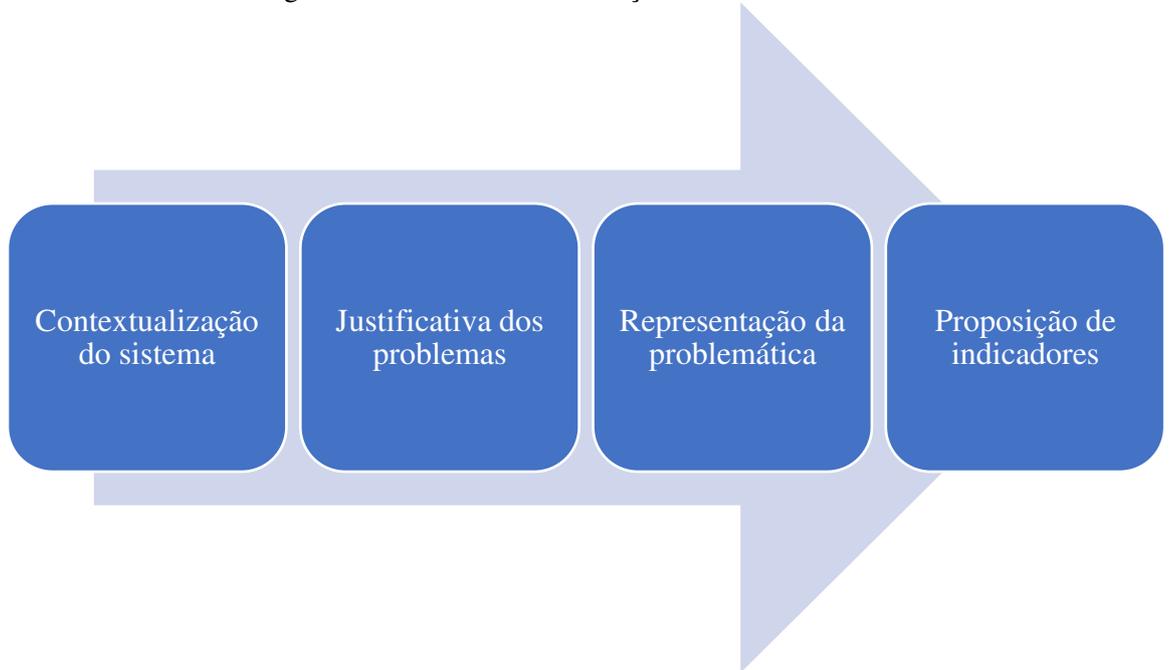


Fonte: O autor

A primeira etapa do método é a identificação da problemática, essa etapa consiste em representar os problemas da região após uma breve contextualização para entender o sistema e os cenários existentes no mesmo, os problemas serão justificados por meio de estudos já realizados sobre o assunto com base em leis e manuais, e os indicadores serão propostos de acordo com os problemas já apresentados. O produto final dessa etapa é uma árvore de

problemas que representa a problemática e também um conjunto de indicadores necessários para caracterizar a problemática. Esta etapa está representada pela Figura 7.

Figura 7 - Método de identificação utilizado

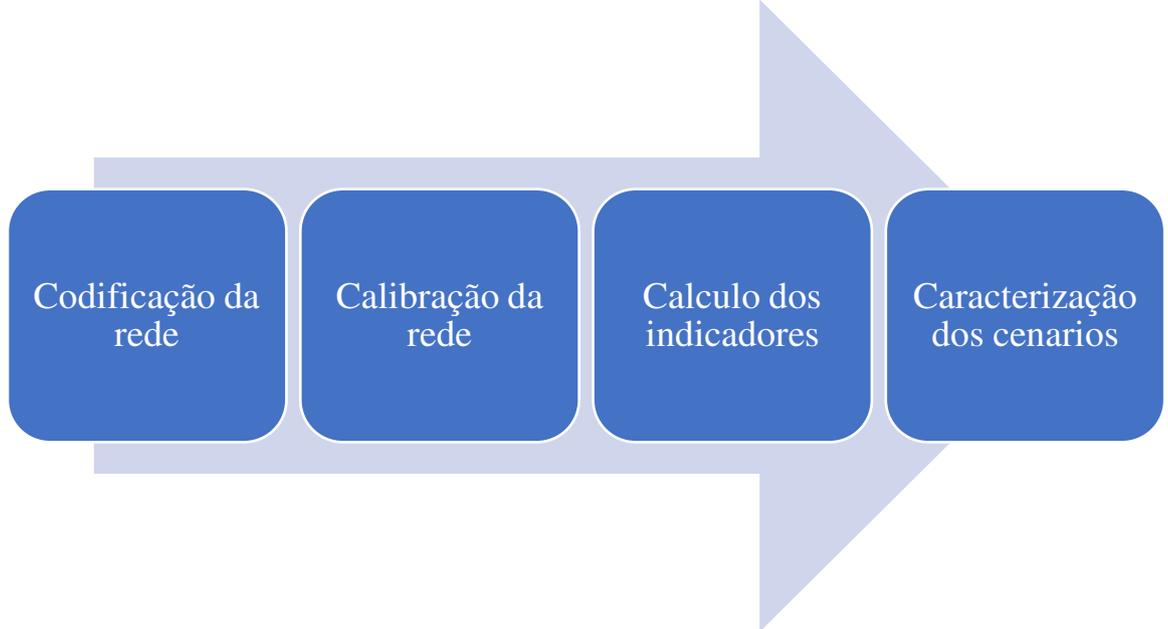


Fonte: O autor

Após a identificação entra-se na etapa de caracterização, essa também será a etapa em que os cenários serão modelados no microssimulador para a coleta de dados, todo o processo está representado na Figura 8. Suas etapas são a codificação da rede, em que a rede será modelada com todos os elementos necessários para que ela seja funcional e que os indicadores sejam calculados. A próxima etapa é a calibração do comportamento dos motoristas, nela o modelo comportamental do motorista será calibrado para que a rede seja o mais verossímil possível. Após isso os indicadores serão calculados com base nos dados de saída do simulador,

esses dados serão coletados por meio de elementos de coleta na rede. Por fim os cenários serão caracterizados o que dará apoio a avaliação

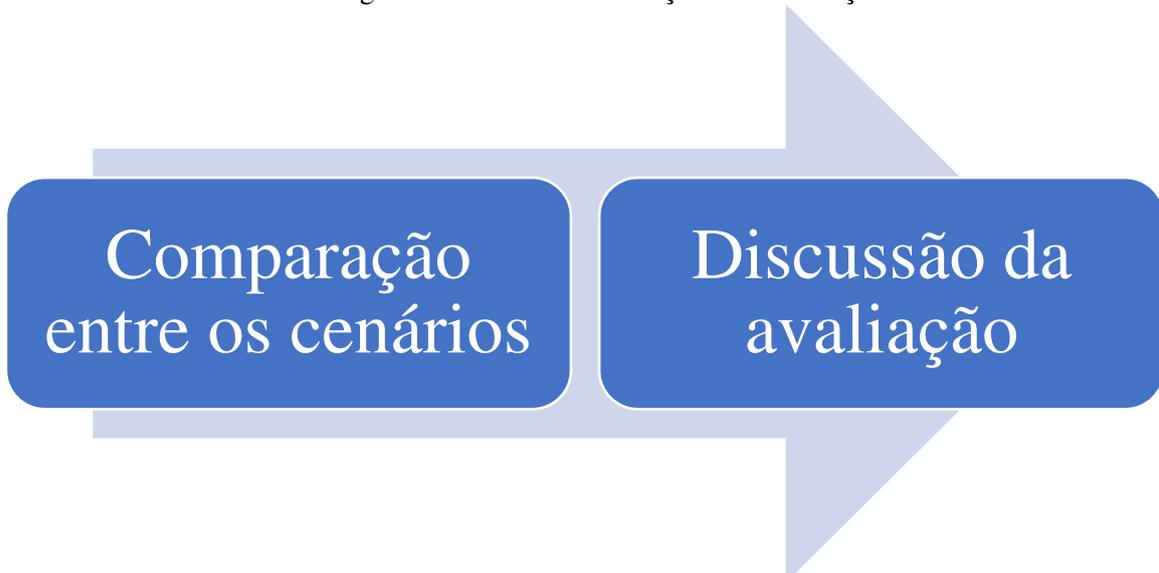
Figura 8 - Método de caracterização utilizado



Fonte: O autor

A etapa final de todo este processo é a avaliação da intervenção. Nela terão duas etapas, a etapa de comparação entre os cenários, onde os indicadores serão expostos e comparados, nesse passo a diferença entre os indicadores nos cenários serão testadas para saber se foram estatisticamente significantes. A discussão da avaliação será feita por meio de uma análise de causa e efeito entre os problemas, comparando com as relações da árvore do capítulo de identificação da problemática. Esse método de avaliação será mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Método de avaliação da intervenção



Fonte: O autor

4 IDENTIFICAÇÃO DA PROBLEMÁTICA

Neste capítulo será tratado o processo descrito na Figura 7 que tem por objetivo contextualizar a região de estudo, identificar os problemas da região por meio de diretrizes, representar a problemática e definir um conjunto de indicadores para que se possa caracterizá-los. Como se trata de uma análise *ex-post* os dois cenários serão descritos nesse capítulo, visto que o objetivo deste trabalho é avaliar dois cenários que já ocorreram.

4.1 Contextualização do sistema

O sistema escolhido para ser o estudo de caso foi o binário implantado nas vias arteriais Santos Dumont e Dom Luís em 2014. Ele está presente na região nordeste de Fortaleza é uma região com grande concentração de atividades além de diversos prédios de residências. Outro ponto importante da região é o elevado número de linhas de ônibus que passam pelo local, diversas linhas de ônibus. Dentre os principais polos geradores de viagens, PGVs, da região pode-se ressaltar o shopping aldeota e diversos bancos como Caixa e Itaú.

Vale ressaltar que este binário foi o primeiro projeto desenvolvido pelo plano de ações imediatas de transporte e trânsito, PAITT, na cidade de Fortaleza com o intuito de melhorar o trânsito na cidade.

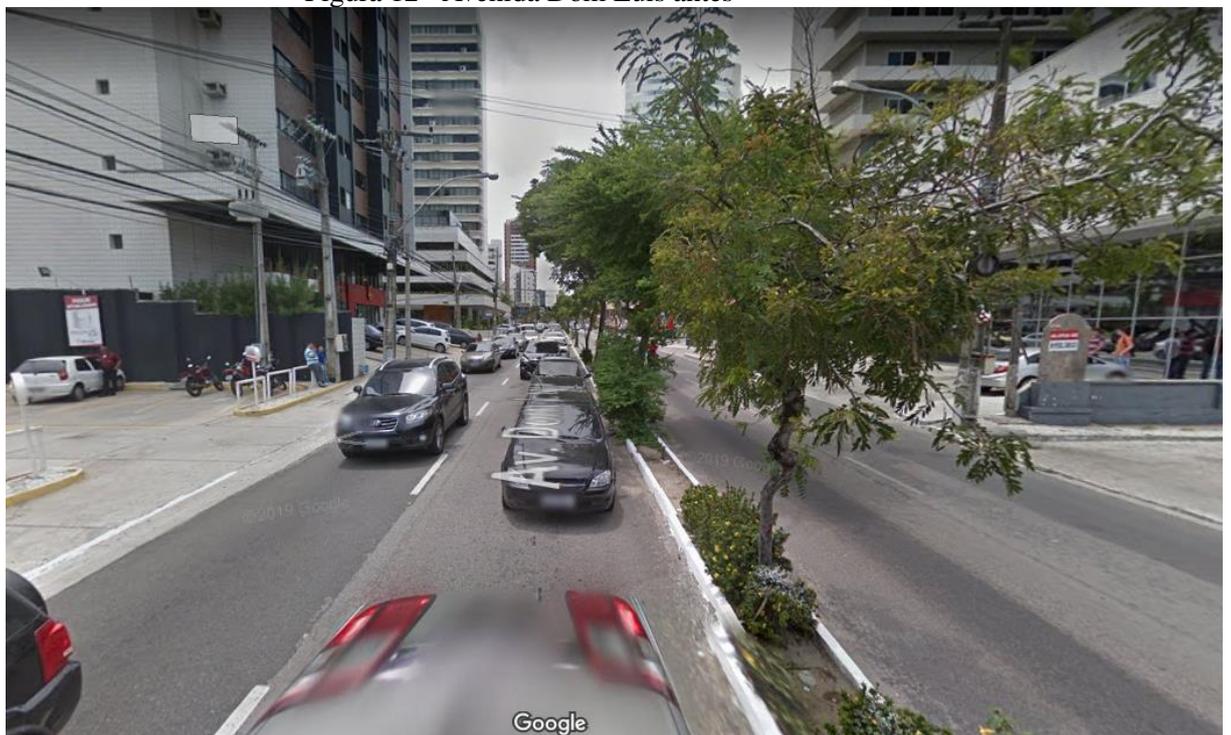
A zona de estudo será o binário na extensão das vias Santos Dumont e Dom Luís começando na rua Tibúrcio Cavalcante até a avenida Engenheiro Santana Júnior, além das vias que constituem o binário também são contempladas na análise as vias transversais que cruzam ambas. A Figura 10 representa delimitação da região estudada.

Figura 11 - Avenida Santos Dumont antes



Fonte: Google Earth

Figura 12 - Avenida Dom Luís antes



Fonte: Google Earth

As seções das vias estão mostradas na Figura 13

Figura 13 - Seção transversal das vias antes

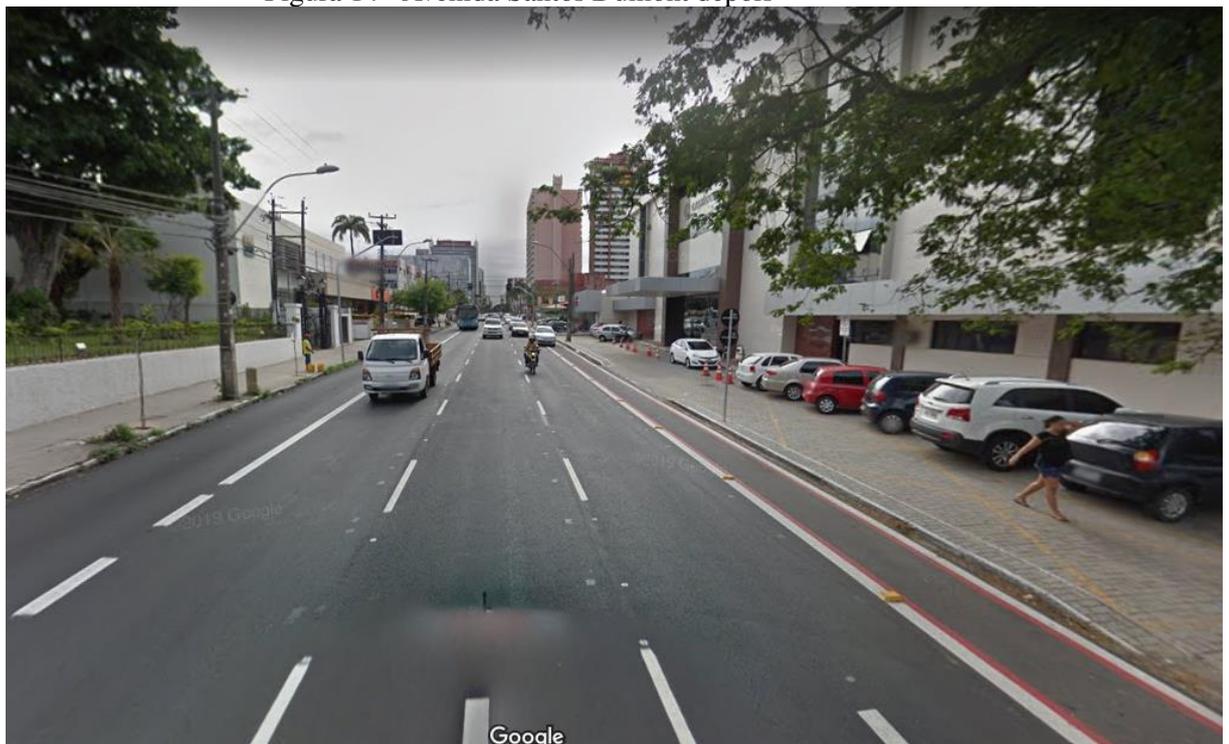


Fonte: O autor

4.1.2 Cenário B

O cenário B compreende o cenário de 2015, pós implantação do binário e requalificação das vias para se adequar ao novo PNMU, política nacional de mobilidade urbana. As vias principais agora contam com 4 faixas de tráfego em sentido único, sendo a mais à direita exclusiva para ônibus, o que gera uma priorização do transporte público coletivo, outra mudança foi a criação de ciclofaixas a esquerda da via beneficiando os ciclistas. Essas mudanças se adequam ao PNMU que prevê a priorização de meios de transportes alternativos em detrimento do individual motorizado. A Figura 14 e Figura 15 representam as vias no cenário B.

Figura 14 - Avenida Santos Dumont depois



Fonte: Google Earth

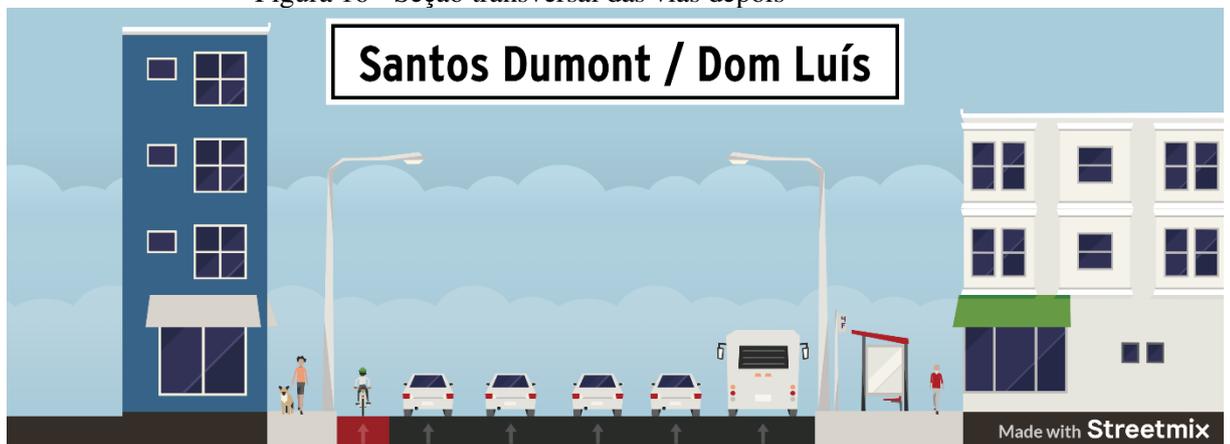
Figura 15 - Avenida Dom Luís depois



Fonte: Google Earth

As seções das vias estão demonstradas na Figura 16.

Figura 16 - Seção transversal das vias depois



Fonte: O autor

4.1.3 Comparação entre os cenários

Com a implantação do binário pudemos notar que o volume de veículos nas avenidas principais do binário aumentou em grande quantidade, na avenida Santos Dumont subiu cerca de 85% enquanto na avenida Dom Luís aumentou cerca de 95%. O fluxo nas vias paralelas não teve alterações significativas com exceção da avenida Desembargador Moreira no sentido Norte-Sul que teve um aumento no volume de 50%.

Quanto a quantidade de semáforos na avenida Santos Dumont foram implantados 4 semáforos extras em interseções. Enquanto na avenida Dom Luís foram implantados 6 semáforos, destes 5 em interseções e um de pedestres no meio de uma quadra entre as ruas Monsenhor Catão e Coronel Jucá.

4.2 Justificativa dos problemas

O binário, segundo o Plano de Ações Imediatas de Trânsito e Transporte (PAITT) tem uma série de possíveis benefícios que justificam sua implantação, são eles:

- Aumento na fluidez por sentido;
- Permissão de conversão (à esquerda);
- Maior facilidade de alocação de veículos;
- Ausência de defasagem negativa em um sentido da via nos semáforos.

Dito isso os problemas propostos foram definidos com base nesses benefícios que a intervenção se propõe a realizar, além de tópicos levantados pelo próprio PNMU.

Os problemas definidos a serem analisados nesse trabalho são:

4.2.1 Elevado tempo de viagem

Tratando o transporte sempre como atividade meio e nunca como fim, esse problema se mostra interessante partindo da perspectiva de que o maior objetivo de um trecho de via arterial é ser atravessado pelos veículos. Esse problema aflige todos os modais de transporte presentes na via.

4.2.2 Baixa fluidez no trafego

Esse problema é uma das coisas que esse tipo de intervenção se propõe a melhorar, também partindo do mesmo ponto de vista do problema anterior em que transporte é apenas uma atividade meio.

4.2.3 Grande número de paradas ao cruzar o trecho

Esse problema retrata o conforto dos condutores, sendo que cada vez que o veículo para completamente devido a um semáforo ou ao congestionamento gera um desconforto ao condutor do veículo.

4.2.4 Elevada densidade veicular

Um alto número de veículos no trecho reduz a mobilidade, podendo gerar congestionamentos.

4.2.5 Atraso decorrente de interseções semaforizadas

A defasagem em um grupo semafórico serve para gerar uma onda verde o que facilita a um motorista pegar sinais verdes em série facilitando seu deslocamento, porém se a via for duplo sentido um dos sentidos sofre defasagem negativa o que gera o efeito contrário. O binário por definição buscar resolver esse problema de defasagem negativa.

4.2.6 Grandes filas em semáforos

Os semáforos por natureza geram filas, o que gera desconforto e atraso para os motoristas.

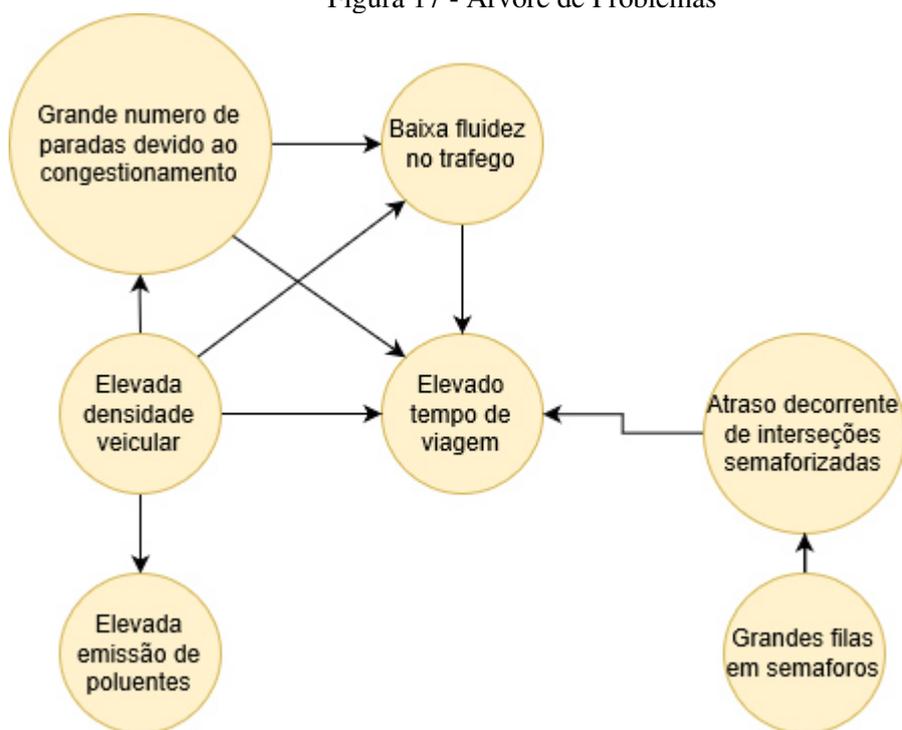
4.2.7 Elevada emissão de poluentes

De acordo com o artigo 23 inciso VII do PNMU, as emissões de gases de efeito local e estufa devem ser monitoradas e controladas.

4.3 Representação da problemática

A problemática será representada por meio de uma árvore de problemas de forma a facilitar a compreensão dos problemas e como eles se conectam podemos ver a árvore representada na Figura 17.

Figura 17 - Árvore de Problemas



Fonte: O autor

Podemos relacionar todos os problemas na árvore entre si, formando assim uma estrutura de rede de forma que nenhum deles ocorre de forma isolada. A elevada densidade veicular compromete a fluidez por conta do grande número de paradas e da velocidade reduzida na via pela quantidade de carros, também é importante explicar que devido a essa elevada densidade veicular acredita-se haver uma maior emissão de poluentes emitidos na via. A questão do atraso nas interseções semaforizadas está diretamente ligada as filas, pois acredita-se que quanto maior as filas maiores o atraso nessas interseções devido ao tempo de reação dos motoristas.

4.4 Definição de indicadores

Para cada problema foi definido um indicador de modo a representar bem o problema, permitindo quantifica-lo para que seja possível a comparação entre cenários. Os indicadores serão propostos de acordo com os problemas apresentados no tópico 4.3 na Figura 17.

4.4.1. Elevado tempo de viagem

Para esse problema o indicador escolhido será o tempo gasto para cruzar o binário de uma ponta a outra pelas avenidas Santos Dumont e Dom Luís.

4.4.2 Baixa fluidez no tráfego

O indicador definido para esse problema está presente no manual do HCM, e é o indicador de nível de serviço para vias arteriais, esse indicador se baseia na velocidade em comparação a velocidade projetada para a via. A Tabela 1 representa esse indicador.

4.4.3 Grande número de paradas ao cruzar o trecho

Esse problema terá como indicador o número de paradas médio no trecho, ele será calculado por meio da equação a seguir

$$P = \frac{(n^{\circ} P)}{V}$$

Onde:

P = Número médio de paradas

n°P = Número de paradas total

V = Volume de veículos

4.4.4 Elevada densidade veicular

A densidade veicular será calculada por meio da relação fundamental do tráfego apresentada na equação abaixo.

$$K = V/F$$

Onde:

K = Densidade em veic/km

V = Velocidade média

F = Fluxo de veículos

4.4.5 Atraso decorrente de interseções semaforizadas

O indicador de atraso será calculado por meio da diferença de tempo que o veículo leva para cruzar a intersecção e o tempo que ele levaria caso não fosse atrapalhado por nenhum fator externo como outros veículos ou semáforo.

4.4.6 Grandes filas em semáforos

Esse problema será caracterizado com o tamanho da fila formada nos semáforos em metros, por meio do elemento *Queue conter*.

4.4.7 Elevada emissão de poluentes

A emissão de poluentes será quantificada por meio de emissão de CO₂, NO_x e VOC dos veículos passantes no trecho em g/h, de acordo com o modelo Enviver do VISSIM, a descrição deste modelo bem como a equação foi descrito no capítulo de revisão da literatura.

A Tabela 2 resume todos os indicadores e seus respectivos problemas:

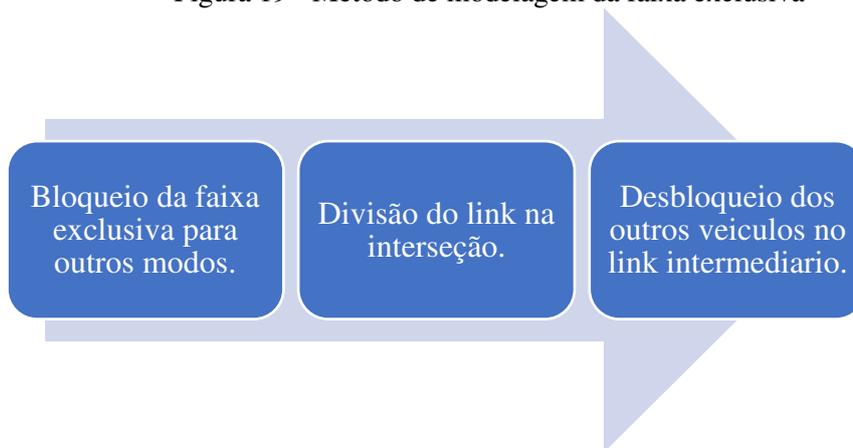
Tabela 2 - Indicadores

PROBLEMA	INDICADOR
ELEVADO TEMPO DE VIAGEM	Tempo para cruzar o binário
BAIXA FLUIDEZ NO TRAFÉGO	Nível de serviço HCM 2010
GRANDE NUMERO DE PARADAS AO CRUZAR O TRECHO	Número médio de paradas no percurso
ELEVADA DENSIDADE VEICULAR	Densidade em veículo/km
ATRASO DECORRENTE DE INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS	Atraso em cada interseção semaforizada
GRANDES FILAS NOS SEMÁFOROS	Tamanho da fila em metros
ELEVADA EMISSÃO DE POLUENTES	Emissão veicular em g/h

Fonte: O autor

conversão se realizada. Nesse link intermediário não existem faixas exclusivas o que permite conversões passando por faixas exclusivas assim tornando o modelo mais verossímil, o passo a passo é descrito a seguir: primeiro se bloqueia o link da faixa exclusiva de ônibus para os demais veículos, após isso nas interseções o link é dividido em três de modo que o link intermediário tenha todas as faixas livres para movimentação, após isso os veículos poderão convergir pela faixa exclusiva. A Figura 19 representa o passo a passo.

Figura 19 - Método de modelagem da faixa exclusiva



Fonte: O autor

A primeira etapa é o bloqueio da faixa exclusiva para os demais tipos de veículos, isso é mostrado na Figura 20.

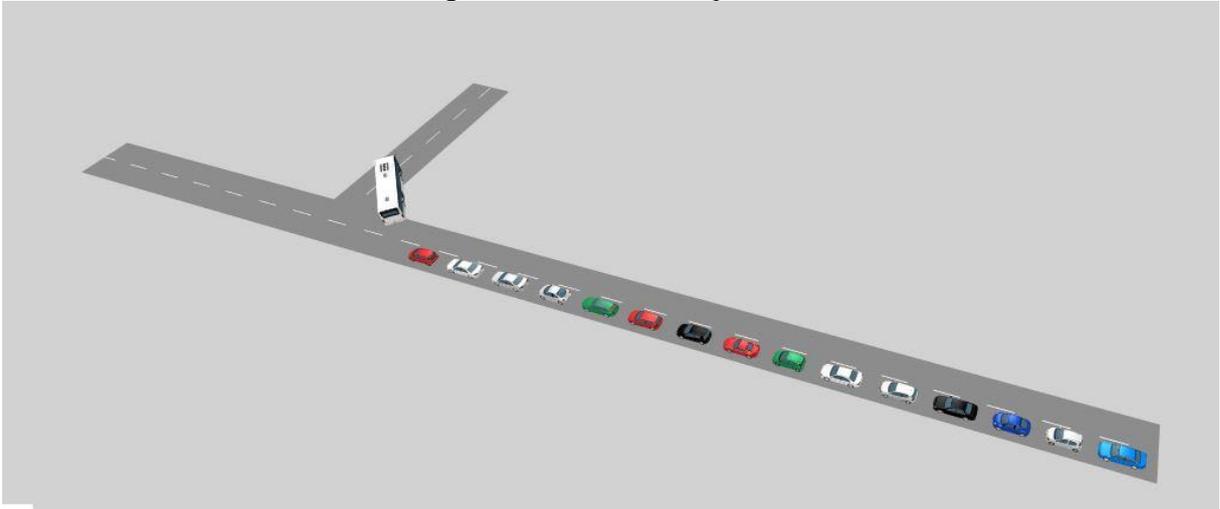
Figura 20 - Codificação do link

Count	Index	Width	BlockedVeh	DisplayType	NoLnChLAI	NoLnChRAI	NoLnChLVe	NoLnChRVe
1	1	3,50	<input checked="" type="checkbox"/> 10: Car		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
2	2	3,50	<input checked="" type="checkbox"/> 20: HGV <input type="checkbox"/> 30: Bus <input checked="" type="checkbox"/> 40: Tram <input checked="" type="checkbox"/> 50: Pedestrian <input checked="" type="checkbox"/> 60: Bike		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: O autor

Mesmo com a conversão de iniciando da faixa não bloqueada, como o link deve passar por uma faixa bloqueada os veículos não conseguem completar o movimento ficando parados e atrapalhando o trânsito. A Figura 21 representa esse problema.

Figura 21 - Veículos bloqueados

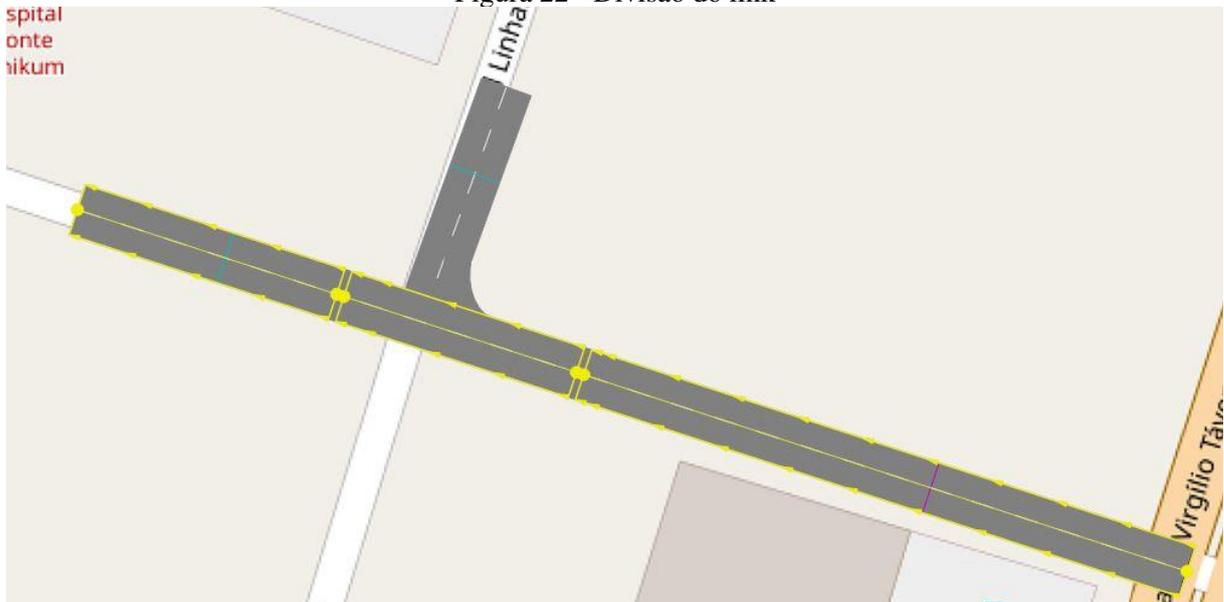


Fonte: O autor

Como pode-se observar os veículos individuais motorizados não conseguem realizar a conversão a direita por conta da faixa exclusiva.

A codificação correta para resolver esse problema é mostrada na Figura 22.

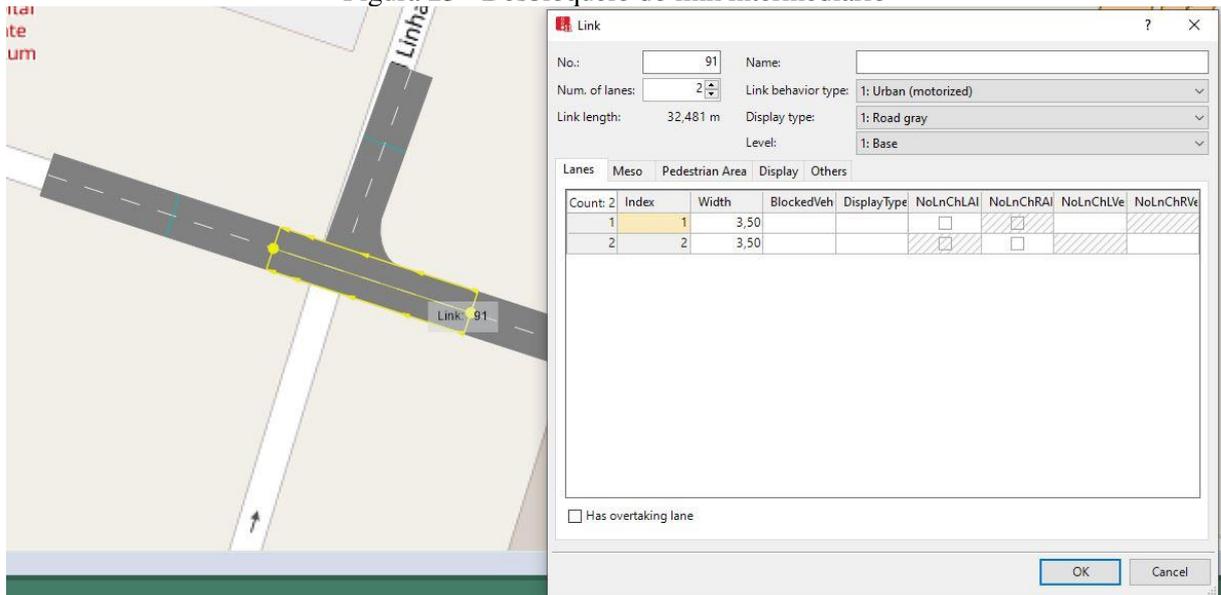
Figura 22 - Divisão do link



Fonte: O autor

O link é dividido em 3 partes de modo a conseguir mudar as proibições de veículos em cada link. No link intermediário as proibições de faixas são suspensas como mostrado na Figura 23.

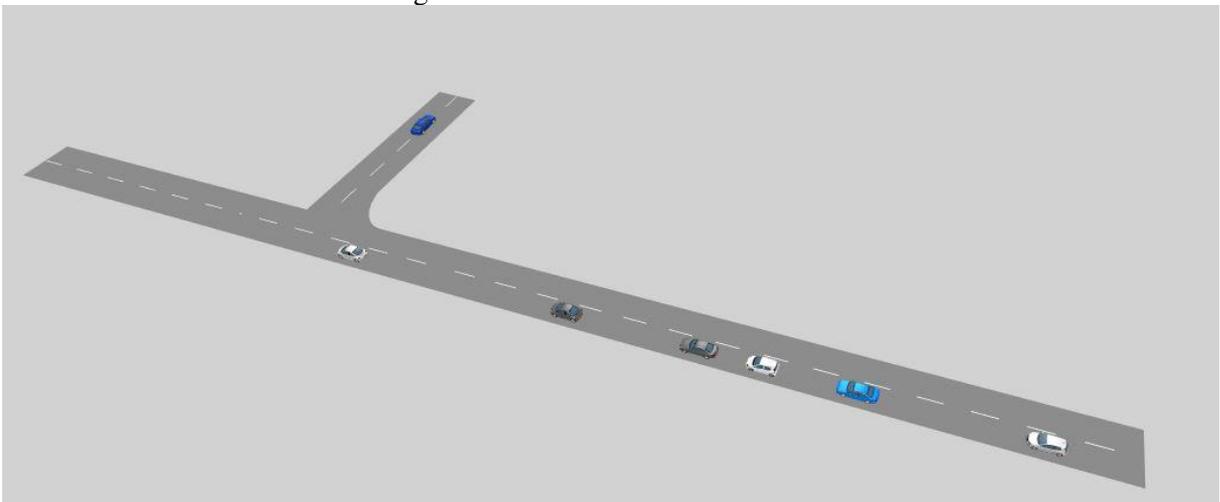
Figura 23 - Desbloqueio do link intermediário



Fonte: O autor

Após todo esse processo a faixa exclusiva funciona como deveria. Podemos ver isso na Figura 24, onde todas as movimentações estão ocorrendo de acordo com o planejado e a faixa exclusiva está funcionando corretamente.

Figura 24 - Faixa exclusiva modelada

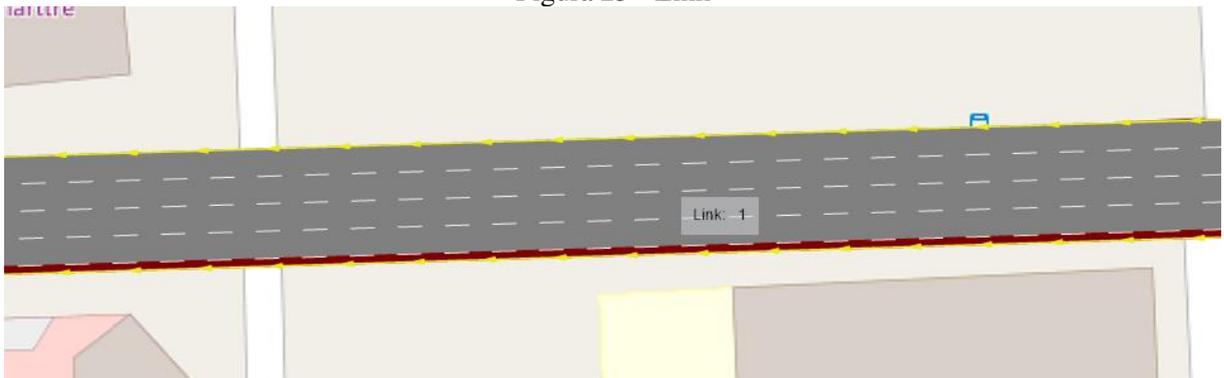


Fonte: O autor

5.1.2 Links

Os *links*, que são a unidade básica de caminho dos veículos, também tem por função coletar algumas medidas ao longo da sua extensão, essas medidas são: Densidade veicular, atraso relativo, velocidade média, e volume que passou pelo link. A codificação do link pode ser vista na Figura 25.

Figura 25 - Link



Fonte: O autor

5.1.3 Posicionamento de nodes

Os *nodes*, ou nós, são elementos de coleta de dados no VISSIM que servirão para a coleta de diversos indicadores. Os que serão calculados para esse trabalho serão: atraso decorrente de interseções semaforizadas, emissão de poluentes. Os *nodes* são postos em interseções para coletar esses indicadores, O posicionamento dos *nodes* é demonstrado pela Figura 26:

Figura 26 - Posicionamento do Node

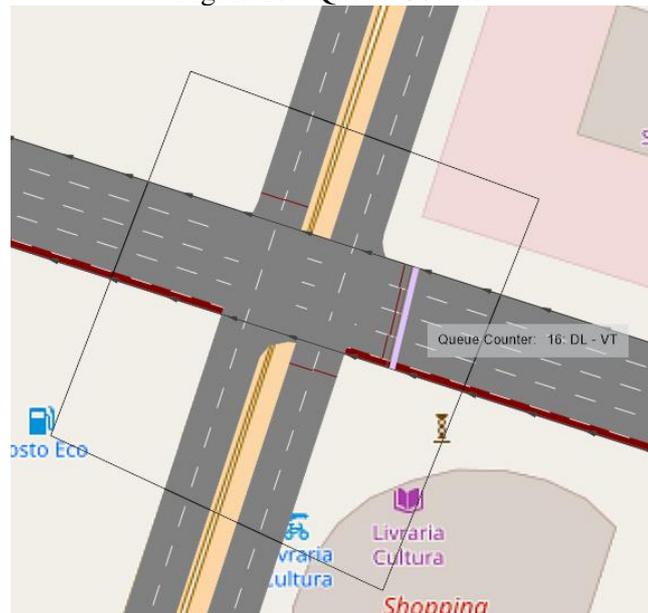


Fonte: O autor

5.1.4 Queue Counter

Esse elemento do VISSIM funciona da seguinte maneira, é definido uma linha na via e são contados todos os veículos que ficam após essa linha, essa contagem é em metros e fornece dois resultados por elemento, fila média em metros e fila máxima em metros. O Posicionamento do *Queue Counter* pode ser visto na Figura 27.

Figura 27 - Queue Counter



Fonte: O autor

5.1.5 Vehicle travel time

Esse elemento é utilizado para calcular o tempo de travessia da rede. Ele consiste em dois pontos faixas que são colocados em 2 pontos de um *link*, em que é contabilizado o tempo que o veículo leva para ir da primeira faixa até a segunda. A Figura 28 representa esse elemento, o ponto laranja indica o começo e o ponto verde o fim do trajeto no qual o tempo é medido.

Figura 28 - Vehicle Travel Time

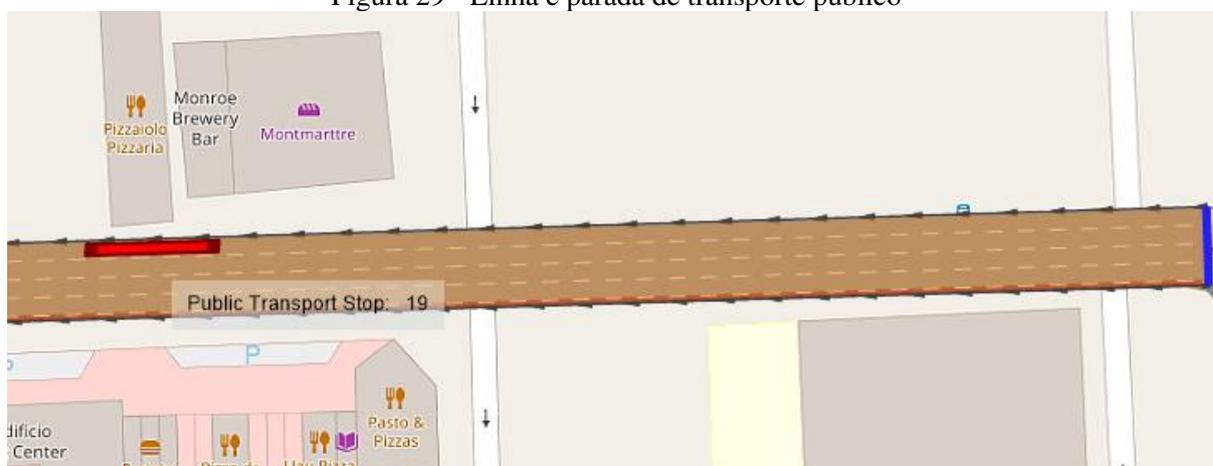


Fonte: O autor

5.1.6 Transporte público

O sistema de transporte público do VISSIM funciona com base na estrutura de definição de linhas e paradas. Primeiro as linhas são definidas de acordo com o que é pedido e são adicionados horário de entrada na rede, ocupação inicial e características operacionais da linha como velocidade desejada. As paradas são definidas como pontos onde o ônibus pode ou não parar e demorar uma certa quantidade de tempo. Para esse trabalho baseou-se no estudo de Lacerda (2016), onde é considerado um tempo fixo de 10 segundos parado em cada parada que o ônibus passa. Na Figura 29 é mostrado um exemplo de linha e paradas de ônibus.

Figura 29 - Linha e parada de transporte público



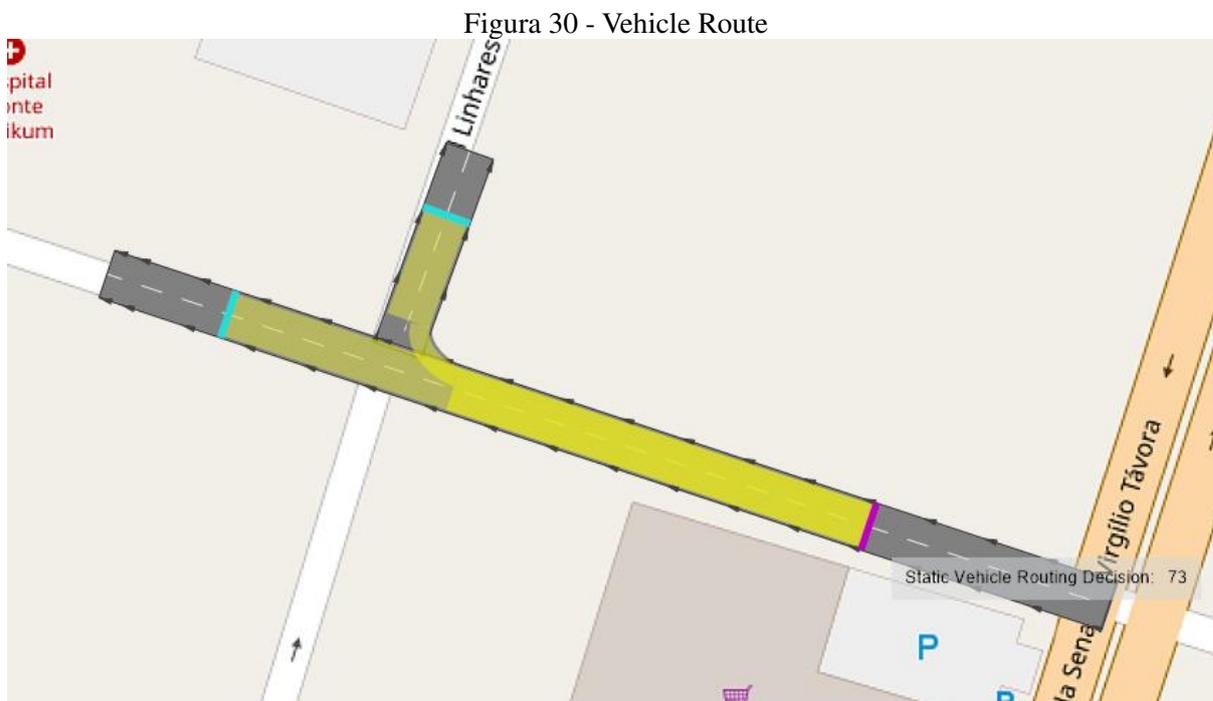
Fonte: O autor

5.1.7 Vehicle inputs e vehicle routes

Os inputs de veículos foram definidos com base na alocação macroscópica realizada no software VISUM. Essa modelagem foi feita com base no modelo 4 etapas, que é composto pelas etapas de geração, distribuição, escolha modal e alocação. As três primeiras etapas foram modeladas no software Transus seguindo um modelo ALUTI (*activity, land use and transports*) por Sousa (2019), que considera, além do sistema de transportes o sistema de uso do solo e o de atividade. Esse tipo de modelagem tem uma eficácia maior em comparação a modelagens tradicionais que consideram somente o sistema de transportes. Um exemplo disso é que distribuições geradas a partir de modelos gravitacionais são menos precisas já que se limitam a apenas distribuir as viagens com base em algum aspecto do local. A alocação foi realizada no software PTV VISUM, a partir das matrizes OD's por modo geradas no Transus.

Após tudo isso considerou-se como *input* os resultados da alocação nas bordas da rede e as rotas foram definidas de modo que o volume de veículos fique igual ao resultado da alocação. Para os *inputs* são fornecidos dados de quantidade de veículos e a composição veicular que entra naquele *link*, enquanto que para as rotas são definidas apenas as direções para

onde aqueles veículos irão e a porcentagem que vai para cada direção. Como as linhas de transporte público são fixas elas não levam em consideração as rotas definidas na rede. A Figura 30 mostra o elemento *Routing decision*.



Fonte: O autor

5.2 Calibração da rede

Os dados de input para calibração, velocidade e modelo de *Wiedmann 74*, serão calibrados por meio do trabalho de Lacerda (2016), essa calibração foi realizada por meio de algoritmo genético e calibração manual. Foram calibrados cenários para diversas vias arteriais de Fortaleza, os parâmetros de calibração utilizados foram a velocidade desejada, ax , bx_add , bx_mult , *Dur. lack of attention*, *Prob. Lack of attention*, *Min headway front/rear* e *safety Dist. Reduc. Factor*.

A calibração foi feita para atingir o parâmetro de velocidade média, mas para os fatores ax , bx_add e bx_mult , foi-se calibrado tendo como medida alvo o fluxo de saturação. Os resultados de Lacerda (2016) estão presentes da Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros de Calibração

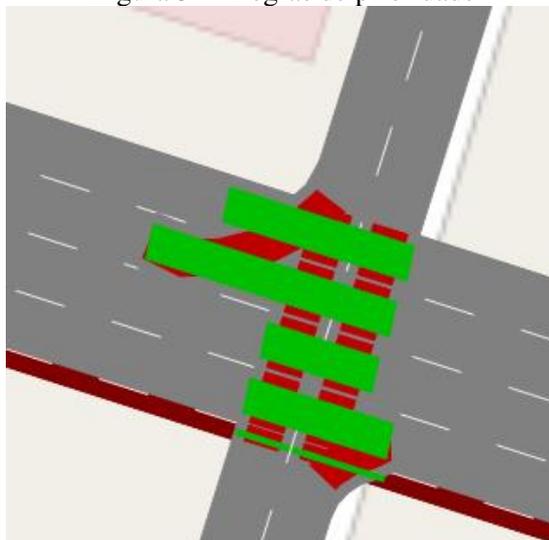
Parâmetro / Cenário	0	1	2	3	4	5
Velocidade Desejada	50 Manual	50 Manual	50 Manual	50 AG	50 Manual	40 AG
<i>ax</i>	2,2 Manual	2,2 Manual	2,4 AG	1,3 AG	2,2 Manual	2,5 AG
<i>bx_add</i>	5,0 Manual	5,1 AG	4,2 AG	5,0 AG	5,0 Manual	3,3 AG
<i>bx_mult</i>	5,0 Manual	3,7 AG	4,0 AG	7,5 AG	5,0 Manual	4,6 AG
<i>Dur. Lack of attention</i>	0,0 Default	0,0 Default	0,0 Default	0,0 Default	0,7 AG	0,6 AG
<i>Prob. Lack of attention</i>	0,0% Default	0,0% Default	0,0% Default	0,0% Default	2,7% AG	5,3% AG
<i>Min. Headway front/rear</i>	0,5 Default	0,5 Default	0,5 Default	0,5 Default	0,5 AG	1,8 AG
<i>Safety Dist. Reduc. Factor</i>	0,6 Default	0,6 Default	0,6 Default	0,6 Default	0,2 AG	0,5 AG
EPAM (%)	6,0%	12,8%	13,1%	12,3%	10,3%	10,9%

Fonte: Lacerda 2016

Pela Tabela 3 podemos perceber que o melhor cenário de calibração é o cenário 0, pois ele gerou o menor EPAM (erro percentual absoluto médio).

A modelagem de bicicletas nessa rede se deu da seguinte forma, no cenário futuro as bicicletas andam na ciclofaixa então não há conflitos com veículos na maioria dos casos, com exceção de cruzamentos, nesse caso as bicicletas tem prioridade na conversão como mostrado na Figura 31.

Figura 31 - Regras de prioridade



Fonte: O autor

As linhas verdes representam as movimentações preferenciais enquanto as vermelhas as que tem que esperar. Como podemos observar se um veículo quiser converter a esquerda passando pela ciclofaixa ele deve verificar se não há nenhuma bicicleta cruzando naquele momento.

Já no cenário passado houve uma maior dificuldade do ponto de vista da calibração já que existe uma concorrência direta entre bicicletas e veículos motorizados pela via. Utilizou-se um recurso de *Driving behaviour* por modo de transporte e não por tipo de via, que é o *default* do VISSIM. Nesse caso foi utilizado uma modelagem diferente para as bicicletas de modo a permitir que elas andem em paralelo com veículos motorizados se houver espaço na via e que também andem entre os veículos caso o trânsito esteja parado. Para isso foi utilizado o submodelo lateral, os parâmetros definidos para esse modo de transporte estão expostos na Figura 32. Esses parâmetros foram definidos com base em observações visuais do comportamento.

Figura 32 - Calibração Bicicletas

Desired position at free flow:		Right
<input type="checkbox"/>	Observe adjacent lane(s)	
<input checked="" type="checkbox"/>	Diamond queuing	
<input type="checkbox"/>	Consider next turn	
Collision time gain:	2,00 s	
Minimum longitudinal speed:	3,60 km/h	
Time between direction changes:	0 s	
Default behavior when overtaking vehicles on the same lane or on adjacent lanes		
Overtake on same lane		Minimum lateral distance
<input checked="" type="checkbox"/>	Overtake left (default)	Distance standing: 0,10 m at 0 km/h
<input checked="" type="checkbox"/>	Overtake right (default)	Distance driving: 0,30 m at 50 km/h

Fonte: O autor

A posição desejada do ciclista foi colocada como a faixa da direita e foi permitido que ele ultrapasse outros veículos na mesma faixa, suas distancias mínimas laterais também foram diminuídas de modo a permitir a passagem desses veículos entre outros. Por fim os carros também tiveram a ultrapassagem na mesma faixa permitida para que eles conseguissem passar por bicicletas.

5.3 Cálculo dos indicadores

O cálculo dos indicadores foi feito por meio dos coletores de dados descritos anteriormente, com uma repetição de 30 simulações para cada cenário, para a caracterização do problema por meio do respectivo indicador, foi utilizado o valor médio das 30 simulações.

5.4 Caracterização dos cenários

Após a rede ser codificada e calibrada, os indicadores foram calculados por meio dos elementos inseridos na rede. Os indicadores foram calculados servem para caracterizar os cenários estudados nessa monografia. Eles foram calculados a partir da média de 30 simulações. Foram caracterizados os cenários antes e depois da intervenção, os dados estão expostos em tabelas. Para indicadores de interseções foram escolhidas as vias do binário com maior hierarquia, visto que é sabido que modelos de alocação em macrosimulação, como foi utilizado de *input* para este trabalho, tendem a subestimar vias de menor porte o que geraria um resultado longe da realidade.

5.4.1 Elevado tempo de viagem

O tempo de viagem gasto para atravessar as vias do binário em segundos foi medido em cada via, vale ressaltar que foi comparado apenas um sentido de cada via no cenário passado, esse sentido foi o que seria implantado o binário os resultados estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Tempo de viagem nas avenidas Santos Dumont e Dom Luís

Dom Luís		
Modo	Cenários	
	Antes	Depois
Carro	269 s	659 s
Ônibus	373 s	747 s

Santos Dumont		
Modo	Cenários	
	Antes	Depois
Carro	551 s	222 s
Ônibus	636 s	380 s

Fonte: O autor

5.4.2 Baixa fluidez no tráfego

A baixa fluidez de tráfego indicado pelo indicador do HCM será exposto na Tabela 5, a velocidade regulamentada para a via é 60 km/h.

Tabela 5 - Nível de serviço

Nível de serviço		
Via	Cenários	
	Antes	Depois
Dom Luís	F	F
Santos Dumont	F	E

Fonte: O autor

5.4.3 Grande número de paradas ao cruzar o Binário

As paradas são calculadas para toda a rede, com os modais separados. A unidade desse indicador é parada por veículo.

Tabela 6 - Número médio de paradas

Número médio de paradas		
Modo	Cenários	
	Antes	Depois
Carro	5,2	12,55
Ônibus	13,11	10,56
Bicicleta	12,24	8,26

Fonte: O autor

5.4.4 Elevada densidade veicular

A densidade veicular foi calculada nas vias principais do binário, também como considerado anteriormente foi considerado para análise somente para o sentido que se tornou o sentido do binário. Para o cálculo desse indicador foi considerado a densidade dos modos motorizados no pior trecho de cada via. A unidade desse indicador é veículo por quilometro por faixa.

Tabela 7 - Densidade veicular

Densidade veicular		
Via	Cenários	
	Antes	Depois
Dom Luís	63	76
Santos Dumont	35	41

Fonte: O autor

5.4.5 Atraso decorrente de interseções semaforizadas

Para esse indicador foram escolhidas as interseções com maior relevância para o binário, essa relevância foi definida por meio de hierarquia viária e volume das vias. Os valores de atraso em segundos da tabela x correspondem as vias principais do binário.

Tabela 8 - Atraso decorrente de interseções semaforizadas

Atraso Carro Antes				
Interseção	Virgílio Távora	Vicente Leite	Leonardo Mota	Desembargador Moreira
Dom Luís	40	48	20	-
Santos Dumont	36	31	198	68
Atraso Ônibus Antes				
Interseção	Virgílio Távora	Vicente Leite	Leonardo Mota	Desembargador Moreira
Dom Luís	38	62	54	-
Santos Dumont	64	11	190	63
Atraso Carro Depois				
Interseção	Virgílio Távora	Vicente Leite	Leonardo Mota	Desembargador Moreira
Dom Luís	61	82	70	-
Santos Dumont	20	14	18	84
Atraso Ônibus Depois				
Interseção	Virgílio Távora	Vicente Leite	Leonardo Mota	Desembargador Moreira
Dom Luís	12	20	70	-
Santos Dumont	20	1	77	92

Fonte: O autor

A Tabela 9 apresenta os dados de atraso em segundos na via secundária da interseção

Tabela 9 - Atraso das secundárias de interseções semaforizadas

Atraso Carro Antes				
Interseção	Virgílio Távora	Vicente Leite	Leonardo Mota	Desembargador Moreira
Dom Luís	32	37	51	-
Santos Dumont	7	46	66	14
Atraso Carro Depois				
Interseção	Virgílio Távora	Vicente Leite	Leonardo Mota	Desembargador Moreira
Dom Luís	33	23	34	-
Santos Dumont	7	26	34	13

Fonte: O autor

5.4.6 Grandes filas em semáforos

Para a caracterização desse problema será utilizada apenas a interseção que acreditasse ser mais relevante, que é o cruzamento das duas vias principais do binário com a avenida Virgílio Távora, essa relevância foi definida de acordo com a hierarquia viária, o volume e a via cruzar ambas as vias do binário. O tamanho de fila é medido em metros e no caso do cenário passado o sentido da via analisado é o sentido do binário.

Tabela 10 - Filas em semáforos

Interseção	Cenário	
	Antes	Depois
Santos Dumont	299	19
Dom Luís	446	148

Fonte: O autor

5.4.7 Elevada emissão de poluentes

A emissão de poluentes será analisada apenas de maneira comparativa visto que o modelo Enviver é calibrado para um padrão de veículo europeu, então não há sentido em comparar dados absolutos de emissão. Considera que todos os valores de emissão do cenário passado são iguais a 1 para realizar essa comparação.

Tabela 11 - Emissão de poluentes

Poluente	Cenário	
	Antes	Depois
CO	1	1,38
NOx	1	1,38
VOC	1	1,38

Fonte: O autor

6 AVALIAÇÃO DA INTERVENÇÃO

Esse capítulo terá dois tópicos que serão: comparação entre os cenários e discussão de resultados. No primeiro serão comparados os indicadores nos cenários por meio de uma análise estatística buscando verificar se as diferenças entre os cenários foram estatisticamente significantes e não apenas flutuações em torno da média.

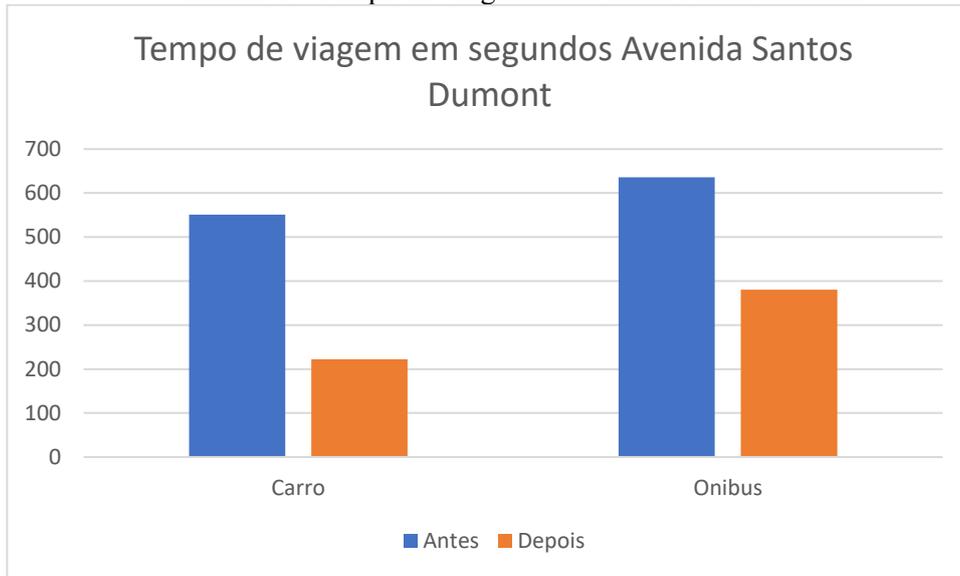
6.1 Comparação entre os cenários

6.1.1 Elevado tempo de viagem

No indicador de elevado tempo de viagem pudemos observar um crescimento no tempo de deslocamento da avenida Dom Luís e uma queda de tempo de viagem na avenida Santos Dumont. Ambas as alterações foram estatisticamente significantes.

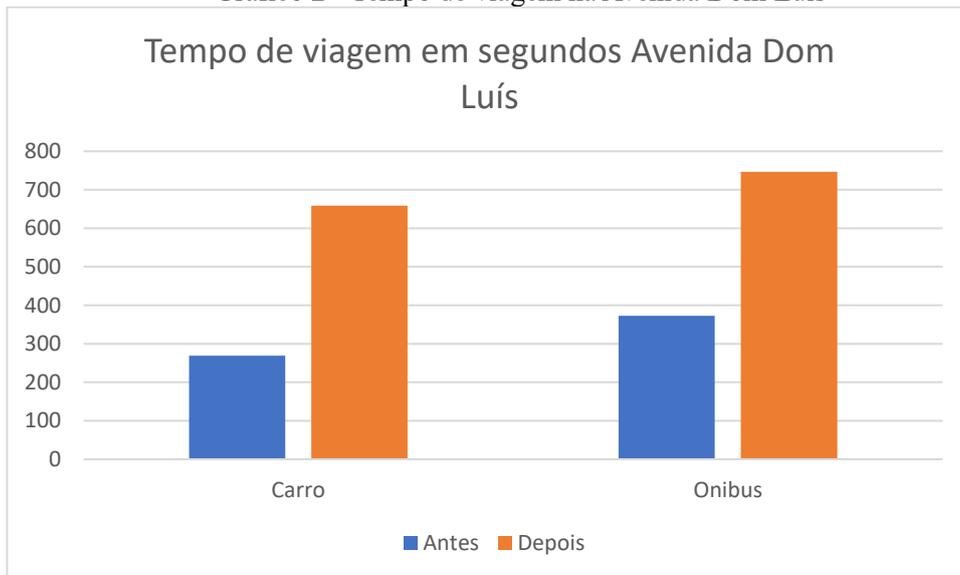
Em relação ao primeiro indicador, elevado tempo de viagem, a intervenção teve efeito diferente sobre as vias do binário, no caso da Avenida Dom Luís houve uma piora nesse indicador enquanto na Avenida Santos Dumont o indicador teve uma melhora. Acredita-se que isso tenha ocorrido devido a implantação de semáforos na Avenida Dom Luís em diversas interseções além de semáforos de pedestres em meio de quadra, outro fator importante é a quantidade de veículos que foi alocado para a avenida Dom Luís nesse cenário que cresceu 95%. Vale ressaltar que a modelagem é feita com base em dados do período da manhã, nesse período o fluxo da avenida Dom Luís é substancialmente maior devido a ela ser em direção ao centro da cidade, espera-se que no período da manhã a maioria das viagens sejam por motivo trabalho.

Gráfico 1 - Tempo de Viagem na Avenida Santos Dumont



Fonte: O autor

Gráfico 2 - Tempo de viagem na Avenida Dom Luís



Fonte: O autor

6.1.2 Baixa fluidez no tráfego

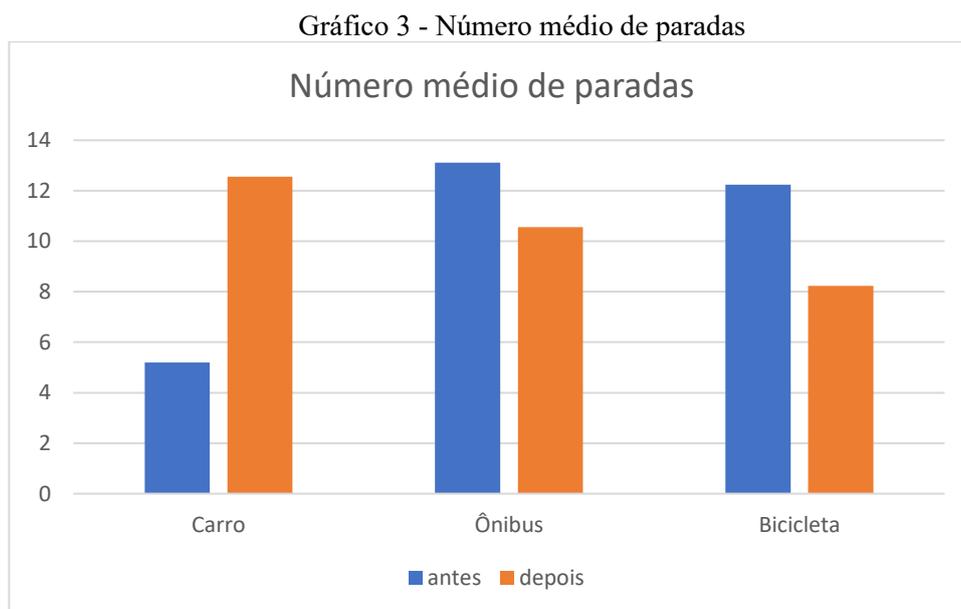
O indicador de nível de serviço apenas foi elevado na avenida Santos Dumont, embora a velocidade média tenha aumentado nas vias não foi o suficiente para elevar o nível de serviço da avenida Dom Luís, que continua F, pior nível de serviço do HCM.

No indicador de baixa fluidez de tráfego, observou-se uma mudança no nível de serviço apenas na Avenida Santos Dumont que alterou seu nível de serviço de F para E, como no indicador anterior a implantação de semáforos provavelmente resultou em uma maior

dificuldade para veículos motorizados de atingirem velocidades mais elevadas, que é o fator de cálculo para esse indicador.

6.1.3 Grande número de paradas ao cruzar o binário

O número médio de paradas apresentou um aumento na rede aumentou para o modo de transporte carro, mas diminuiu para os modos ônibus e bicicleta, essas diferenças foram estatisticamente significantes.



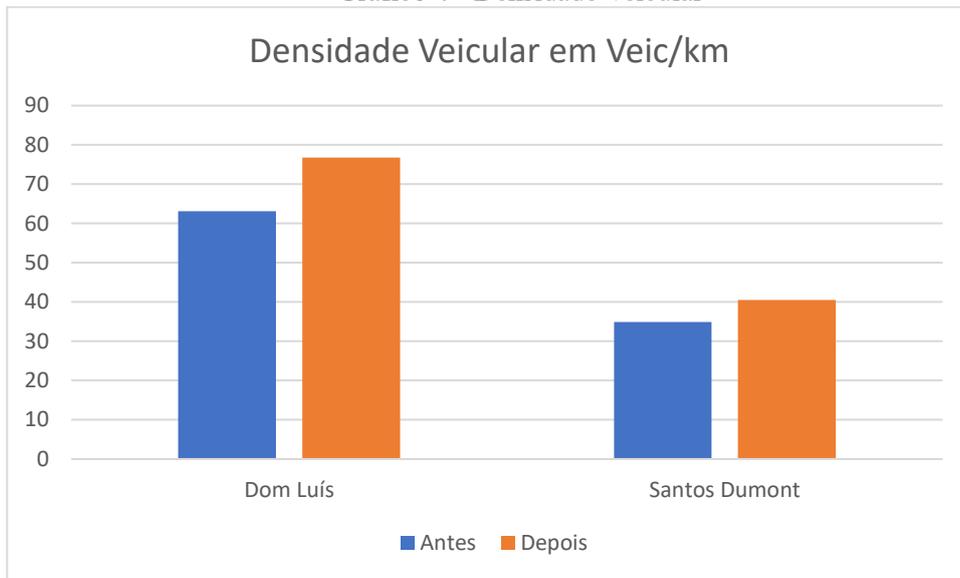
Fonte: O autor

No indicador de número de paradas no trecho também houve divergência entre os modos de transporte. O modo carro teve um aumento no número médio de paradas enquanto os modos ônibus e bicicleta tiveram uma redução nesse número, acredita-se que os carros tiveram maior número médio de paradas devido ao aumento do número de semáforos. Os outros modos tiveram uma redução desse indicador devido a criação de faixas exclusivas, o que diminuiu a competição desses modos de transporte com outros.

6.1.4 Elevada densidade veicular

A densidade veicular aumentou em ambas as vias, essa diferença foi estatisticamente significativa nas duas vias.

Gráfico 4 - Densidade Veicular



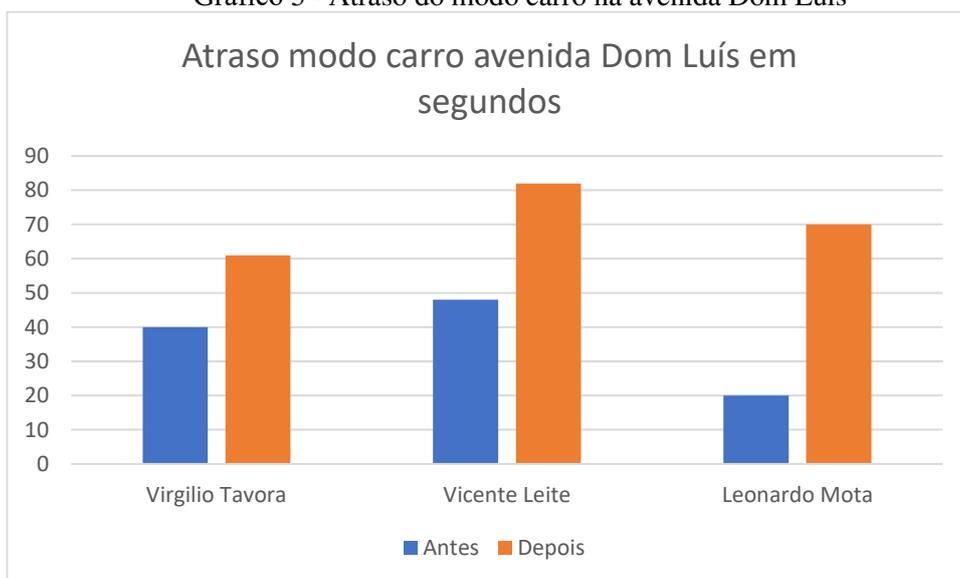
Fonte: O autor

A densidade veicular nas faixas de carro aumentou em ambas as vias após a intervenção, acredita-se que isso ocorra devido a diminuição do número efetivo de faixas para esse modo de transporte, antes eram 8 faixas juntando as duas vias e após a intervenção passou para 6 faixas, se contarmos apenas as faixas em que veículos individuais motorizados podem circular.

6.1.5 Atraso decorrente de interseções semaforizadas

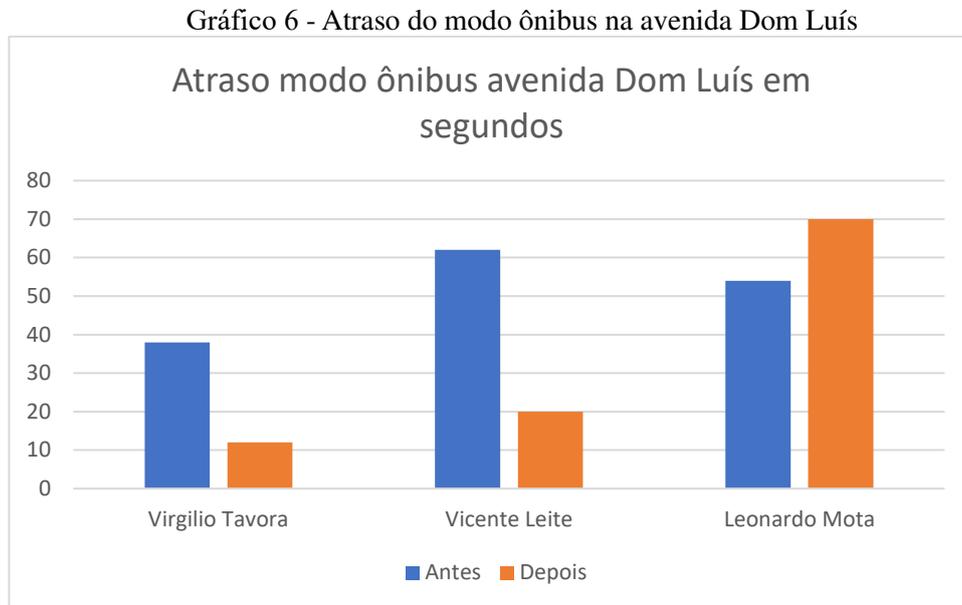
Os atrasos aumentaram em todas as interseções avaliadas na avenida Dom Luís, todas essas diferenças foram estatisticamente significantes.

Gráfico 5 - Atraso do modo carro na avenida Dom Luís



Fonte: O autor

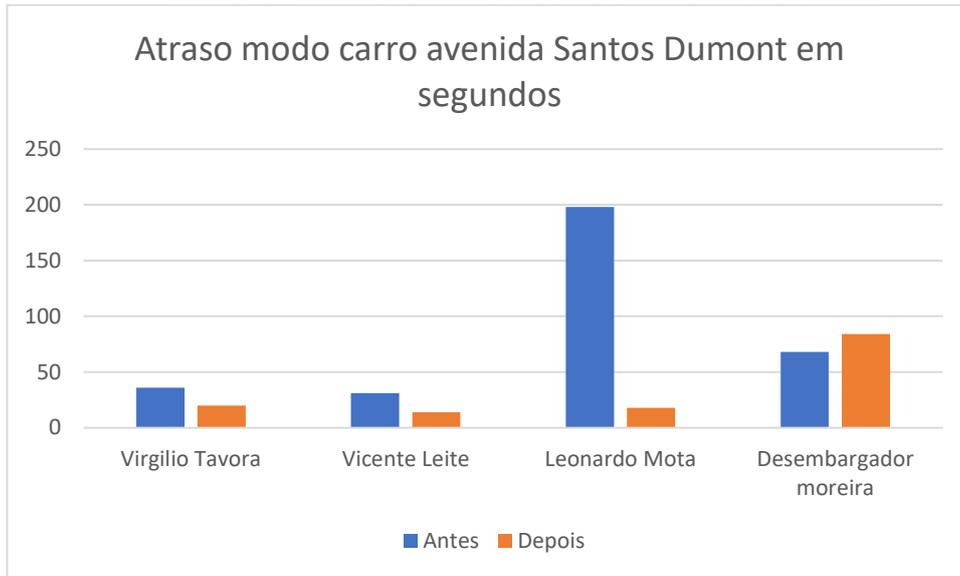
O atraso no modo ônibus foi reduzido em duas das três interseções analisadas. As duas interseções em que houve queda são as duas primeiras no sentido da via, enquanto a que houve um aumento é a última que foi analisada no sentido da via, todas essas diferenças são estatisticamente significantes.



Fonte: O autor

O atraso caiu grandemente em três das quatro interseções da avenida Santos Dumont, principalmente na rua Leonardo Mota, na avenida Desembargador Moreira houve um pequeno aumento no atraso. Esse aumento de atraso na interseção da avenida Desembargador Moreira se deu devido essa interseção ser mais próxima ao início da rede então forma-se uma fila maior e os veículos individuais motorizados tem dificuldade de converter a direita por conta da faixa prioritária de ônibus. todas as diferenças foram estatisticamente significantes.

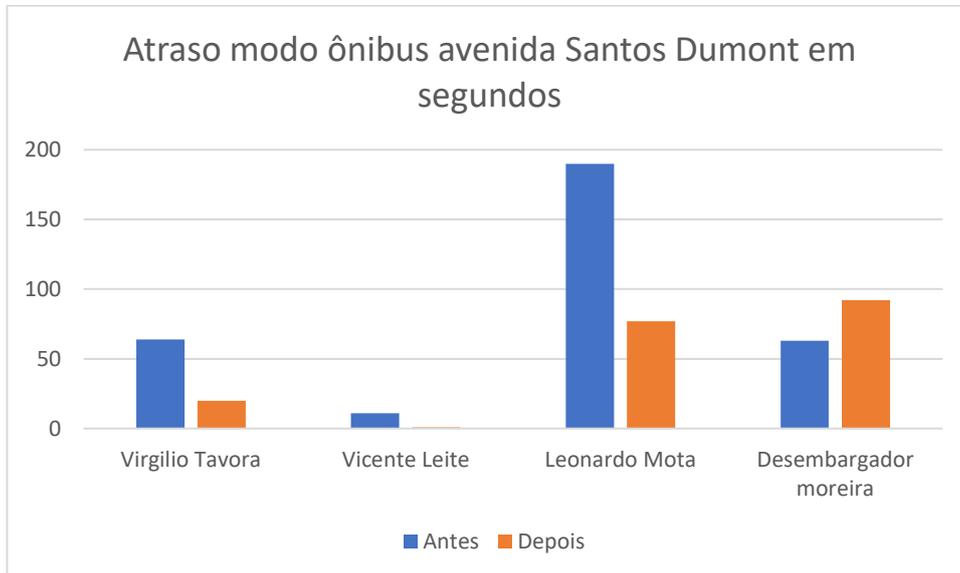
Gráfico 7 - Atraso do modo carro na avenida Santos Dumont



Fonte: O autor

Tal qual o modo carro o modo ônibus se comportou de maneira semelhante ao do modo carro com redução do atraso em três das quatro interseções e um aumento do atraso na avenida Desembargador Moreira, todas as diferenças foram estatisticamente significantes.

Gráfico 8 - Atraso do modo ônibus na avenida Santos Dumont



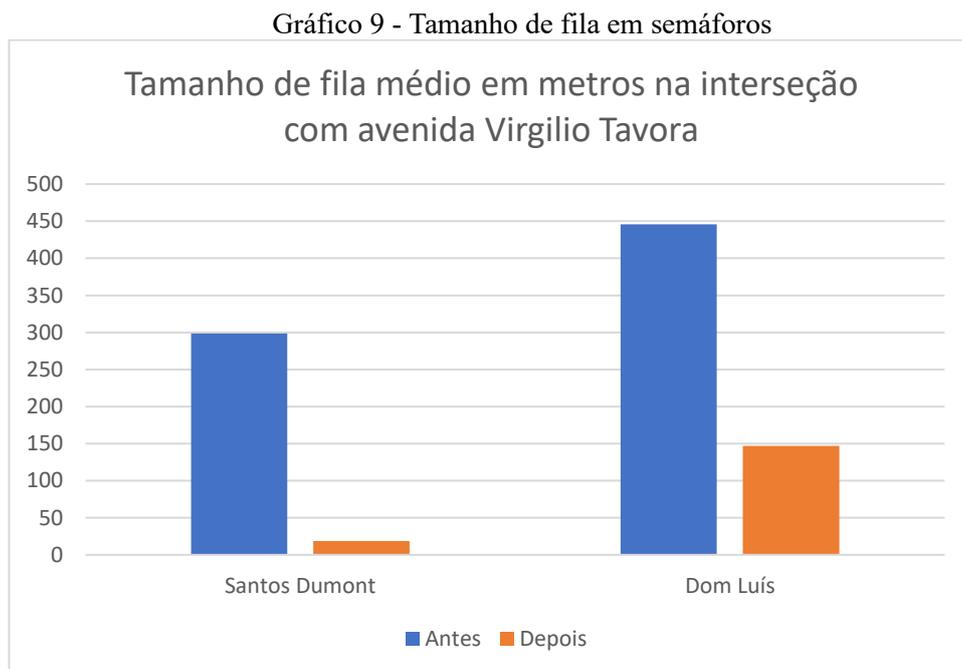
Fonte: O autor

O atraso do modo carro se comportou de maneira semelhante ao indicador do tempo de viagem, tendo todos os atrasos das interseções analisadas da avenida Dom Luís com aumento de atraso enquanto as interseções da avenida Santos Dumont tiveram seu atraso diminuído. Acredita-se que isso ocorra devido a uma má programação semafórica na avenida Dom Luís indiciada pelo grande número de paradas nessa interseção e que é possível que a onda verde

não esteja ocorrendo. No modo ônibus houve queda em quase todas as interseções acredita-se que devido a faixa prioritária para ônibus o aumento do atraso ocorreu apenas na interseção com a avenida Desembargador Moreira, acredita-se que devido ao aumento das linhas de ônibus que passam na região e de que como essa interseção está bem próximo ao início da rede os ônibus se acumulem perto dela antes de se dispersarem pela rede, gerando um maior atraso. O atraso nas vias secundárias permaneceu o mesmo após a intervenção nas vias Desembargador Moreira e Virgílio Távora, isso ocorreu devido a essas vias já serem consolidadas como grandes avenidas então a intervenção surtiu efeito mínimo nelas no sentido de atraso, sendo que seu volume de veículos praticamente não mudou.

6.1.6 Grandes filas em semáforos

O indicador de grandes filas em semáforos teve uma diferença estatisticamente relevante entre os cenários, com uma redução do tamanho de fila nas duas vias do binário.



Fonte: O autor

O tamanho de fila reduziu drasticamente na interseção analisada após a intervenção, isso ocorreu devido aos novos semáforos que conseguem controlar melhor o trânsito, além da ausência de defasagem negativa o que facilita a onda verde nas avenidas principais.

6.1.7 Elevada emissão de poluentes

A comparação desse indicador foi feita de forma comparativa, entre as taxas de emissão fornecidas pelo modelo Enviver. Tendo um crescimento de 38% no cenário pós intervenção.

A emissão de poluentes aumentou, pois como já foi discutido anteriormente o Enviver não considera o ciclo de condução do motorista, apenas o tempo em que o veículo passa se movimentando, como os veículos passam mais tempo na rede conseqüentemente aumenta a emissão de poluentes. Nota-se também que as emissões aumentaram igualmente, isso ocorre porque a equação considera fatores transientes para diferenciar a emissão de cada poluente e como o indicador está exposto em taxa o fator transiente é ignorado. Por isso os fatores aumentam igualmente já que as outras variáveis da equação são iguais para todos os poluentes, essas variáveis são potência do motor e consumo parado.

6.2 Discussão da avaliação

Como pudemos ver no tópico 6.1 a intervenção do binário juntamente com a requalificação das vias teve efeito diferente sobre os indicadores e também sobre as vias.

Se compararmos os resultados dos indicadores com as relações de causa e efeito da árvore de problemas da Figura 17, pudemos perceber que o aumento da densidade foi observado conjuntamente com o aumento do número de paradas, o aumento da emissão de poluentes e o indicador de fluidez que permaneceu praticamente constante. Isso reforça as relações de causa e efeito da árvore, a exceção a essa regra foi os modais alternativos ao carro que tiveram uma redução do número de paradas, mas essa redução se deu a fatores da via como faixas exclusivas. No outro ramo da árvore houve uma grande redução da fila nos semáforos, mas isso resultou apenas na redução do atraso em apenas uma das vias do binário. Esse atraso reduzido é compatível com o tempo necessário para cruzar o binário, na avenida Dom Luís aumentou o atraso na interseção e também se aumentou o tempo necessário para cruzar o binário, já na Santos Dumont o oposto aconteceu.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todo o esforço realizado nesse trabalho, foi para a consolidação de uma avaliação coerente e com indicadores baseados em diretrizes do PNMU e em manuais internacionais como o HCM.

O trabalho teve início com uma revisão da literatura, que teve por objetivo utilizar trabalhos anteriores, manuais e leis para definir diretrizes da avaliação. E ainda auxiliar na realização da modelagem da rede, por meio da escolha de um microssimulador e de calibrações do modelo de *driving behaviour* já realizados na cidade de Fortaleza. Também nessa etapa foi definido o processo de planejamento que norteia esse trabalho.

Seguindo para a etapa de identificação da problemática, contextualizou-se a região em ambos os cenários da avaliação, foram definidos os principais problemas que seriam avaliados nessa situação e foi montado uma árvore de problemas e suas inter-relações. E por último, foram definidos os indicadores utilizados.

A etapa de caracterização tratou principalmente da modelagem computacional no *software* VISSIM. Foram expostos todos os detalhes da modelagem: a obtenção dos dados de entrada; as adaptações necessárias para tornar o cenário o mais verossímil possível; e todas as ferramentas de coletas de dados necessários para o cálculo dos indicadores. Essa etapa culminou em uma caracterização de ambos os cenários que foram calculados indicadores para embasar a avaliação.

Na avaliação da intervenção, a etapa mais relevante deste trabalho, os resultados da comparação entre os cenários mostraram um desempenho bastante diferente entre os diversos indicadores. Enquanto percebemos que modos como ônibus e bicicleta foram beneficiados com a intervenção, carros sofreram perdas em indicadores de densidade veicular e número médio de paradas. Outro ponto foi a diferença de desempenho entre as diferentes vias do binário, alguns indicadores mostraram que a Dom Luís foi prejudicada com a implantação do binário enquanto a Santos Dumont foi privilegiada. Demais indicadores como fila tiveram benefícios para todos os modais em todos os cenários.

Como conclusão desse trabalho percebemos que a intervenção, tendo como base as diretrizes do PNMU, foi benéfica para a cidade, pois priorizou modos alternativos de transporte como transporte público e bicicletas.

7.1 Limitações

Esse trabalho teve como limitações os dados de entrada de fluxo e conversões que foram escassos, precisando ser modelados por macrossimuladores. Outra limitação foi a calibração do modelo *Lateral* que não é muito abordada na literatura.

7.2 Recomendações para trabalhos futuros

Por fim para trabalhos futuros recomenda-se a simulação desse binário novamente com dados coletados em campo para uma maior precisão do resultado, e uma comparação dos resultados de dados coletados em campo com dados simulados por macrossimuladores.

Também se recomenda uma análise incluindo o modal pedestre, pois esse é o modal mais vulnerável de todo o sistema de transportes, sendo assim necessário avaliar como a intervenção agiu sobre seus indicadores.

E uma análise de conflitos de trânsito, já que os pilares do binário são fluidez e segurança, é necessário avaliar se a segurança foi realmente aumentada com a implantação desse tipo de intervenção.

REFERÊNCIAS

ASAMER, J.; VAN ZUYLEN, H. J.; HELMANN, B. **Calibrating car-following parameters for snowy road conditions in the microscopic traffic simulator VISSIM**. IET Int. Transp.Systems, Vol. 7, n. 1, p. 114-121, 2013.

ASTARITA, Vittorio et al. **A new microsimulation model for the evaluation of traffic safety performances**. Rende: European Transport, 2012.

BARCELÓ, J. **Fundamentals Traffic Simulations**. International Series in Operations Research & Management Science, v.145, Ed. Springer, 2010.

DIAS, Helry Luvillany Fontenele. **ANÁLISE DA MODELAGEM INTEGRADA DA EMISSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DE VEÍCULOS TRANSPORTADORES DE CARGA EM ÁREA URBANA**. 2014. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Departamento de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

FHWA. **Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software**. v. III, 2004

JANNUZI, P. d. M. **Indicadores Sociais no Brasil**. 3a . ed. Campinas, São Paulo: Alínea Editora, 2003.

LACERDA, Victor M. **Metodologia de calibração dos modelos comportamentais do microssimulador VISSIM para vias arteriais urbanas**. Dissertação de Mestrado -Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, 2016

MARTÍN, Lisel Expósito. **PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MODELAGEM MICROSCÓPICA DE INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS MULTIMODAIS**. 2018. 204 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

MAY, A. **Traffic Flow Fundamentals**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., EUA, 1990.

POLITICA NACIONAL DE MOBILIDADE URBANA. **Lei nº 12.587**, de 3 de janeiro de 2012.
Brasília,

PTV. VISSIM 11.0. Manual do Usuário. Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe, Germany, 2018.

SETTI, José Reynaldo. **HIGHWAY CAPACITY MANUAL OU UM MANUAL DE CAPACIDADE RODOVIÁRIA BRASILEIRO?** Anpet. São Paulo, 2009.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB). **Highway Capacity Manual**. Washington, DC: Transportation Research Board, 2010.

VILARINHO, C. A. T. **Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

APÊNDICE A: TESTES ESTATÍSTICOS

NÚMERO MÉDIO DE PARADAS

		Carro	ônibus	bike
ANTES	média	5,2	13,11	12,24
	desvpad	0,33	1,55	1,43
DEPOIS	média	12,55	10,56	8,23
	desvpad	0,71	0,66	0,46
		Diferente	Diferente	Diferente

FILA

ANTES	Average	36: DL1 - VT	445,8139
	Average	37: SD1 - VT	298,5371
	Standard deviation	36: DL1 - VT	26,53519
	Standard deviation	37: SD1 - VT	97,91988
DEPOIS	Average	16: DL - VT	147,1122
	Average	9: SD - VT	18,69308
	Standard deviation	9: SD - VT	2,998821
	Standard deviation	16: DL - VT	7,479836
	tobs	tcrit	
DOM LUÍS	59,34351	2,048	Diferente
SANTOS DUMONT	15,64596	2,048	Diferente

TRAVEL TIME

ANTES	Average	2: dom Luís bairro-centro	269,3436	372,8431
	Average	3: SD centro-bairro	551,243	635,6239
	Standard deviation	2: dom Luís bairro-centro	17,52638	17,86938
	Standard deviation	3: SD centro-bairro	121,1527	104,4556
DEPOIS	Average	5: Santos Dumont	222,4286	380,3255
	Average	6: Dom Luís	658,9786	746,9103
	Standard deviation	5: Santos Dumont	10,60485	2,034589
	Standard deviation	6: Dom Luís	48,15812	81,58657

CARRO

	tobs	tcrit	
DOM LUÍS	-41,6428	2,048	diferente

SANTOS DUMONT	14,80883	2,048	diferente
ONIBUS			
	tobs	tcrit	
DOM LUÍS	24,53109	2,048	diferente
SANTOS DUMONT	13,38427	2,048	diferente

ATRASO

CARRO				
INTERSEÇÃO	Virgílio Távora	Vicente Leite	Leonardo Mota	Desembargador Moreira
DOM LUÍS	diferente	diferente	diferente	-
SANTOS DUMONT	diferente	diferente	diferente	diferente

ÔNIBUS

INTERSEÇÃO	Virgílio Távora	Vicente Leite	Leonardo Mota	Desembargador Moreira
DOM LUÍS	diferente	diferente	diferente	-
SANTOS DUMONT	diferente	diferente	diferente	diferente

ATRASO CARRO SECUNDARIA

INTERSEÇÃO	Virgílio Távora	Vicente Leite	Leonardo Mota	Desembargador Moreira
DOM LUÍS	igual	diferente	diferente	-
SANTOS DUMONT	igual	diferente	diferente	diferente

DENSIDADE

		Dom Luís	Santos Dumont
ANTES	média	63,084652	34,868447
	desvpad	3,518301	9,404771
DEPOIS	média	76,73550725	40,535143
	desvpad	9,188089	7,196618
	tobs	tcrit	
DOM LUÍS	7,599484057	2,048	diferente
SANTOS DUMONT	2,620915375	2,048	diferente