

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES**

Davi Antônio Avelar Brêtas

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO PARA ESTIMAR O NÍVEL DE SERVIÇO EM  
INTERSEÇÕES DO TIPO ROTATÓRIA ALONGADA NÃO VAZADA  
LOCALIZADAS EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES**

Belo Horizonte

2022

Davi Antônio Avelar Brêtas

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO PARA ESTIMAR O NÍVEL DE SERVIÇO EM  
INTERSEÇÕES DO TIPO ROTATÓRIA ALONGADA NÃO VAZADA  
LOCALIZADAS EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Transportes

Orientador: José Elievam Bessa Júnior

Belo Horizonte

2022

B844d

Brêtas, Davi Antônio Avelar.

Desenvolvimento de método para estimar o nível de serviço em interseções do tipo rotatória alongada não vazada localizadas em rodovias de pista simples [recurso eletrônico] / Davi Antônio Avelar Brêtas. – 2022.

1 recurso online (121 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: José Elievam Bessa Júnior.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 103-121.

Bibliografia: f. 98-102.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Transportes - Teses. 2. Engenharia de tráfego - Teses.  
3. Rodovias - Teses. 4. Rotífero - Teses. I. Bessa Júnior, José Elievam.  
II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 656(043)

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Roseli Alves de Oliveira CRB/6 2121  
Biblioteca Prof. Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
COLEGIADO DO CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

### FOLHA DE APROVAÇÃO

#### DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO PARA ESTIMAR O NÍVEL DE SERVIÇO EM INTERSEÇÕES DO TIPO ROTATÓRIA ALONGADA NÃO VAZADA LOCALIZADAS EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES

DAVI ANTÔNIO AVELAR BRÊTAS

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOTECNIA E TRANSPORTES, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, área de concentração TRANSPORTES. Aprovada em 26 de agosto de 2022, pela banca constituída pelos membros:

Prof. José Elievam Bessa Junior - Orientador (UFMG)

Prof. André Luiz Barbosa Nunes da Cunha (USP)

Prof. Daniel Sergio Presta García (UFRGS)

Belo Horizonte, 26 de agosto de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **André Luiz Barbosa Nunes da Cunha, Usuário Externo**, em 26/08/2022, às 11:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Elievam Bessa Junior, Professor do Magistério Superior**, em 26/08/2022, às 11:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Sergio Presta García, Usuário Externo**, em 26/08/2022, às 11:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1690851** e o código CRC **F8B3B28C**.

*À minha mãe, Shirley, por todo amor e por  
toda liberdade proporcionada.*

*À minha esposa, Pequena, parceira em tudo,  
por todo amor, incentivo e alegria em nossa  
vida.*

*Ao meu filho, Dante, sol da minha vida, que  
me faz brilhar os olhos todos os dias com sua  
alegria.*

*Dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe por todo amor que me foi dedicado, por toda liberdade que me foi proporcionada e pelo exemplo de força e persistência em sua caminhada.

À minha esposa Cimara (Pequena) por todo incentivo e apoio no desenvolvimento desse trabalho e pelos imensuráveis amor, alegria, companheirismo, cumplicidade, palhaçadas e vinhos que compartilhamos nessa nossa trajetória.

Ao meu filho Dante, minha maior motivação e fonte de inspiração para a vida.

Às minhas irmãs, Fernanda e Renata, meu Avô Antônio, minha Avó Celeste, minhas tias, tio, primas e a toda família que sempre me apoiaram.

À família Gomes, por toda alegria e boas vibrações compartilhadas.

Um agradecimento especial ao meu orientador, prof. Elievam, por todos os ensinamentos, motivação, paciência, confiança e parceria. Grande ser humano e exemplo de dedicação ao ensino e à pesquisa.

Aos professores André Cunha e Daniel Garcia pelas contribuições dadas a esse trabalho, tanto na etapa de qualificação quanto na defesa desta dissertação.

Aos amigos da ENGETRAF, Getúlio, Rodrigo, Thalles, Isabelle e Felipe, por todo apoio, troca de ideias e compreensão ao longo dessa jornada. Em especial ao amigo Getúlio por ter me apresentado a engenharia.

Aos amigos, Igor Vieira, André, Higor, Marcus e Thiago, pela amizade e apoio de sempre.

Ao Rafael Quintão pela generosidade e pelo grande apoio na elaboração dos scripts do Aimsun.

Aos Professores e servidores do Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia da UFMG, em especial a Prof<sup>a</sup> Leise Kelli, pelo exemplo de dedicação aos alunos e a pesquisa, e a Secretária Larissa. À Aimsun pelo fornecimento da licença do simulador Aimsun Next. Ao CNPq e à FAPEMIG, pelo apoio no financiamento de projetos de pesquisa. A todos que contribuíram de alguma forma para minha formação acadêmica, profissional e pessoal, meus sinceros agradecimentos.

*Existe um momento na vida de cada pessoa que é possível sonhar e realizar nossos sonhos... e esse momento tão fugaz chama-se presente e tem a duração do tempo que passa. (Mario Quintana - A idade de ser feliz)*

## RESUMO

BRÊTAS, Davi A. A. Desenvolvimento de método para estimar o nível de serviço em interseções do tipo rotatória alongada não vazada localizadas em rodovias de pista simples. 121f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

No Brasil, a elaboração de projetos de interseções ocorre a partir dos preceitos contidos em manuais elaborados por órgãos oficiais governamentais. Todavia, existem alguns tipos de interseções não contempladas nesses documentos, denominadas de interseções alternativas, sendo a rotatória alongada não vazada (*RANV*) um desses casos. A principal referência mundial relacionada a avaliação de capacidade e nível de serviço rodoviária, o *Highway Capacity Manual* (HCM), amplamente utilizado no Brasil, não apresenta um método específico para determinação do nível de serviço desse tipo de interseção, assim como ocorre na literatura nacional e internacional. Isso impossibilita a avaliação operacional desse tipo de interseção e seu correto dimensionamento para atendimento a condições específicas de fluxos de veículos. Nesse contexto, o presente trabalho propôs um método para estimar o nível de serviço desse tipo de interseção em rodovias de pista simples. Para tanto, foram coletados dados de tráfego em vias brasileiras para obtenção de uma diversidade de fluxos de tráfego e para caracterização das velocidades desejadas no segmento de entrecruzamento e nos segmentos adjacentes da interseção. Após a realização de uma análise de sensibilidade, não foi verificada a necessidade de calibração dos parâmetros comportamentais do *software* de simulação de tráfego Aimsun Next. Dessa forma, o Aimsun Next foi utilizado para a criação de diversos cenários hipotéticos, em termos de tráfego e de geometria viária, o que permitiu a extração de modelos para obtenção das medidas de desempenho escolhidas: o atraso médio ( $d_i$ ) e o tempo de viagem de distância extra (*EDTT*). Após serem verificadas as correlações entre essas medidas de desempenho e potenciais variáveis explicativas, foram gerados alguns modelos, por meio de regressão linear, para estimação de  $d_i$  e *EDTT*. Foi realizada a validação do método proposto, comparando os resultados das medidas de desempenho obtidas pelos modelos e pelos dados coletados em campo, tendo sido observado que esses dois conjuntos de dados estiveram bem próximos.

Palavras-Chaves: Simulação de tráfego, Interseções alternativas, Nível de Serviço, Rodovias de Pista Simples.

## ABSTRACT

BRÊTAS, Davi A. A. Development of a method to estimate the level of service at elongated roundabout type intersections located on two-lane highways. 121f. Dissertation (Master in Geotechnics and Transportation) – Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

In Brazil, the elaboration of intersection designs takes place from the precepts contained in manuals prepared by official government agencies. However, some types of intersections do not include these documents, called in the literature as alternative intersections, the elongated roundabout (*ER*) being one of these cases. The main world reference regarding road capacity assessment and level of service, the Highway Capacity Manual (HCM), widely used in Brazil, does not provide a method to determine the level of service of this type of intersection, as well as in the national and international literature. This makes it impossible to evaluate an operational evaluation of this type of intersection and its correct dimensioning to meet the specific conditions of traffic flow streams. In this context, the present work proposed a method to estimate the level of service of this type of intersection on two-lane highways. For that, traffic data on Brazilian roads were collected to obtain a diversity of traffic flows and to characterize the desired speeds in the weaving segment and the adjacent segments of the intersection. After performing a sensitivity analysis, the need to calibrate the behavioral parameters of the Aimsun Next traffic simulation software was not verified. Thus, Aimsun Next was used to create several hypothetical scenarios, in terms of traffic and road geometry, which allowed the extraction of models to obtain the chosen performance measures: the average delay ( $d_i$ ) and the time of extra distance travel (*EDTT*). After verifying the correlations between these performance measures and potential explanatory variables, some models were generated, using linear regression, to estimate  $d_i$  and *EDTT*. The validation of the proposed method was carried out, comparing the results of the performance measures obtained by the developed models and by the data collected in the field, having observed that these two sets of data were very close.

Keywords: Traffic simulation, Alternative intersections, Level of Service, Two-lane highways.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rotatória Alongada Não Vazada (RANV).....	20
Figura 2 - Fluxos de conflito em vários tipos de interseção (AASHTO, 2018).....	24
Figura 3 - Tipos básicos de movimentos (DNIT, 2005).....	25
Figura 4 - Tipos de interseção em nível (Adaptado de DNIT, 2005).....	27
Figura 5 - Rotatória não vazada (DER/MG, 2013) .....	30
Figura 6 - Diretrizes de tratamento para virar à esquerda com base nos resultados de avaliações de custo-benefício para interseções em rodovias de pista simples em áreas rurais (Fitzpatrick <i>et al.</i> , 2014).....	31
Figura 7 – Tipos de retornos para canteiro central (DNIT (2005)).....	32
Figura 8 - <i>Right Turn Followed by U-turn (RTUT) e Median U-turn (MUT)</i> (Hummer <i>et al.</i> , 2014).....	34
Figura 9 - <i>Unconventional Median U-Turn</i> (El Esawey <i>et al.</i> , 2011).....	36
Figura 10 - <i>New Mega Elliptical Roundabout Intersection</i> (Mohamed <i>et al.</i> , 2020).....	38
Figura 11 – Exemplo de “tempo de viagem experimentado” (adaptado de TRB, 2016).....	42
Figura 12 – Interseções objeto das pesquisas de campo.....	48
Figura 13 – Equipamento de filmagem em solo.....	49
Figura 14 – Pesquisas realizadas nos quilômetros 572 (a) e 583 (b) da BR-262/MG .....	49
Figura 15 – Pesquisas realizadas na interseção do quilômetro 580 (BR-262/MG) – câmera 1 (a) e 2 (b) e na BR-135/MG (c).....	50
Figura 16 – Localização das câmeras dos postos de pesquisas (a) BR-262/MG; (b) MG-010; (c) BR-135/MG.....	51

Figura 17 – Imagem obtida por meio de veículo aéreo não tripulado.....	54
Figura 18 – Frequência acumulada de velocidades desejadas nos segmentos adjacentes a interseção.....	56
Figura 19 – Frequência acumulada de velocidades desejadas nos entrecruzamentos das interseções .....	56
Figura 20 - Etapas do Método Proposto .....	71
Figura 21 – Modelo de simulação de três aproximações.....	74
Figura 22 – Modelo de simulação de quatro aproximações .....	74
Figura 23 – Movimentos conflitantes para interseções de três e quatro aproximações .....	76
Figura 24 - Modelos de $d_{i1}$ gerados para $FFS = 60$ km/h; e $P_{HV} =$ (a) 10%; (b) 20%; (c) 30%; (d) 40%; e (e) 50%.....	82
Figura 25 - Modelos de $d_{i2}$ gerados para $FFS = 60$ km/h .....	84
Figura 26 - Modelos de $d_{i3}$ gerados para $FFS = 60$ km/h .....	85
Figura 27 - Modelos de $EDTT_1$ gerados para entrecruzamento = 55 m; $FFS = 60$ km/h; $P_{HV} =$ (a) 10%; (b) 20%; (c) 30%; (d) 40%; e (e) 50%.....	88
Figura 28 - Modelos de $EDTT_2$ gerados para entrecruzamento = 65 m; $FFS = 60$ km/h; $P_{HV} =$ (a) 10%; (b) 20%; (c) 30%; (d) 40%; e (e) 50%.....	88
Figura 29 – Comparação entre os valores de $ETT$ obtidos com o método proposto e com os dados coletados em campo .....	91
Figura 30 – Percentagem de nível de serviço obtidos por meio dos dados coletado em campo e do método proposto .....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Velocidade de projeto recomendadas para rótulas convencionais (DNIT, 2005) ...	28
Tabela 2 - Comprimentos mínimos dos trechos de entrecruzamento das rótulas convencionais (DNIT, 2005).....	28
Tabela 3 – Diretrizes de tratamento para virar à esquerda com base nos resultados de avaliações de custo-benefício para interseções em rodovias de pista simples em áreas rurais (Fitzpatrick <i>et al.</i> , 2014).....	30
Tabela 4 – Dimensões mínimas para retorno em “U” (DNIT, 2005).....	32
Tabela 5 – Resumo dos experimentos (Adaptado de El Esawey e Sayed (2013)).....	38
Tabela 6 – Medidas de desempenho analisadas nos estudos (Adaptado de El Esawey e Sayed (2013)) .....	40
Tabela 7 – Medidas de desempenho analisadas nos estudos (Adaptado de El Esawey e Sayed, 2013).....	41
Tabela 8 – Dados de entrada necessários, fontes de dados potenciais e valores padrão para análise de veículos motorizados TWSC (TRB, 2022).....	43
Tabela 9 – Critério para cálculo do NS em interseções alternativas, baseado no <i>ETT</i> (TRB, 2022).....	46
Tabela 10 – Fluxos e velocidade desejada observados nos segmentos viários .....	57
Tabela 11 – Fluxos das interseções .....	58
Tabela 12 – Velocidades desejadas observadas nos segmentos de entrecruzamentos das interseções .....	59
Tabela 13 – Amostragem de veículos pesados (adaptado de Silva, 2019).....	60
Tabela 14 – Caracterização das categorias dos veículos pesados (adaptado de Silva, 2019) ..	61

Tabela 15 – Análise estatística dos parâmetros calibráveis (Atraso Médio – BR-262/MG)....	64
Tabela 16 – Análise estatística dos parâmetros calibráveis (Fila média – BR-262/MG).....	66
Tabela 17 - Análise estatística dos parâmetros calibráveis (Atraso Médio – BR-135/MG) ....	67
Tabela 18 - Análise estatística dos parâmetros calibráveis (Fila média – BR-262/MG) .....	68
Tabela 19 - Resumo dos parâmetros a serem utilizados nos experimentos.....	73
Tabela 20 - Avaliação Estatística de Correlação das Variáveis .....	77
Tabela 21- Exemplo de coeficientes do modelo para obter $d_{i1}$ , com $P_{HV} = 10\%$ a $50\%$ ; e $FFS = 60$ km/h, e seus respectivos valor- $p$ .....	78
Tabela 22 - Coeficientes do modelo para obter $d_{i2}$ , com $P_{HV} = 10\%$ a $50\%$ ; e $FFS = 60$ a $90$ km/h, e seus respectivos valor- $p$ .....	80
Tabela 23 - Coeficientes do modelo para obter $d_{i3}$ , com $P_{HV} = 10\%$ a $50\%$ ; e $FFS = 60$ a $90$ km/h, e seus respectivos valor- $p$ .....	81
Tabela 24 - Coeficientes do modelo para obter $EDTT_1$ , para Entrecruzamento de 55 metros, com $P_{HV} = 10\%$ a $50\%$ ; e $FFS = 60$ a $90$ km/h, e seus respectivos valor- $p$ .....	86
Tabela 25 - Coeficientes do modelo para obter $EDTT_2$ , para Entrecruzamento de 65 metros, com $P_{HV} = 10\%$ a $50\%$ ; e $FFS = 60$ a $90$ km/h, e seus respectivos valor- $p$ .....	87
Tabela 26 - – Funções Fitness para os Modelos de “ $ETT$ ” .....	91
Tabela 27 - Coeficientes do modelo para obter $d_{i1}$ , $FFS = 60$ km/h, e seus respectivos valor- $p$ .....	103
Tabela 28 - Coeficientes do modelo para obter $d_{i1}$ , $FFS = 70$ km/h, e seus respectivos valor- $p$ .....	104
Tabela 29 - Coeficientes do modelo para obter $d_{i1}$ , $FFS = 80$ km/h, e seus respectivos valor- $p$ .....	105

Tabela 30 - Coeficientes do modelo para obter $d_{i1}$ , $FFS = 90$ km/h, e seus respectivos valor- $p$ .....	106
Tabela 31 - Coeficientes do modelo para obter $d_{i2}$ e seus respectivos valor- $p$ .....	107
Tabela 32 - Coeficientes do modelo para obter $d_{i3}$ e seus respectivos valor- $p$ .....	108
Tabela 33 - Coeficientes do modelo para obter $EDTT_1$ , para Entrecruzamento de 35 metros e seus respectivos valor- $p$ .....	109
Tabela 34 - Coeficientes do modelo para obter $EDTT_1$ , para Entrecruzamento de 45 metros e seus respectivos valor- $p$ .....	110
Tabela 35 - Coeficientes do modelo para obter $EDTT_1$ , para Entrecruzamento de 55 metros e seus respectivos valor- $p$ .....	111
Tabela 36 - Coeficientes do modelo para obter $EDTT_1$ , para Entrecruzamento de 65 metros e seus respectivos valor- $p$ .....	112
Tabela 37 - Coeficientes do modelo para obter $EDTT_1$ , para Entrecruzamento de 75 metros e seus respectivos valor- $p$ .....	113
Tabela 38 - Coeficientes do modelo para obter $EDTT_1$ , para Entrecruzamento de 85 metros e seus respectivos valor- $p$ .....	114
Tabela 39 - Coeficientes do modelo para obter $EDTT_2$ , para Entrecruzamento de 35 metros e seus respectivos valor- $p$ .....	115
Tabela 40 - Coeficientes do modelo para obter $EDTT_2$ , para Entrecruzamento de 45 metros e seus respectivos valor- $p$ .....	116
Tabela 41 - Coeficientes do modelo para obter $EDTT_2$ , para Entrecruzamento de 55 metros e seus respectivos valor- $p$ .....	117
Tabela 42 - Coeficientes do modelo para obter $EDTT_2$ , para Entrecruzamento de 65 metros e seus respectivos valor- $p$ .....	118

Tabela 43 - Coeficientes do modelo para obter $EDTT_2$ , para Entrecruzamento de 75 metros e seus respectivos valor- $p$ .....	119
Tabela 44 - Coeficientes do modelo para obter $EDTT_2$ , para Entrecruzamento de 85 metros e seus respectivos valor- $p$ .....	120
Tabela 45 – Parâmetros comportamentais utilizados na análise de sensibilidade para utilização do simulador Aimsun .....	121

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
DER/MG	Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais
$d_i$	Atraso médio na junção da interseção
CVC	Combinações de veículos de carga
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EDTT	Tempo de viagem de distância extra
ETT	Tempo de viagem experimentado
FFS	Velocidade de fluxo livre
FHWA	Federal Highway Administration
HCM	Highway Capacity Manual
km/h	Quilômetros por hora
MNE	Erro normalizado médio
MANE	Erro normalizado absoluto médio
RMSNE	Raiz quadrada do erro normalizado quadrático médio
MUT	Median U-turn
NMER	New mega elliptical roundabout
NS	Nível de serviço
$P_{HV}$	Percentual de veículos pesado
$q_p$	Fluxo da via principal
$q_s$	Fluxo da via secundária
RANV	Rotatória alongada não vazada
RCUT	Restricted crossing U-turn
RTUT	Right turn followed by U-turn
TRB	Transportation Research Board
TWSC	Two-way stop-controlled
UAID	Unconventional arterial intersection design
UMUT	Unconventional median U-turn
veic/h	Veículos por hora
VMD	Volume médio diário

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1	Objetivos do trabalho .....	21
1.2	Estrutura da pesquisa.....	22
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>23</b>
2.1	Interseções aodoviárias .....	23
2.1.1	Disposições gerais .....	23
2.1.2	Elementos de projeto de interseções .....	26
2.2	Interseções alternativas .....	33
2.2.1	Avaliação operacional por meio de simulação de tráfego .....	38
<b>3</b>	<b>COLETA DE DADOS DE TRÁFEGO E CARACTERIZAÇÃO DOS VEÍCULOS PESADOS.....</b>	<b>47</b>
3.1	Coleta de dados de tráfego .....	47
3.1.1	Pesquisas realizadas por câmeras .....	48
3.1.2	Pesquisas realizadas por veículo aéreo .....	53
3.2	Modelagem das correntes de tráfego observadas em campo .....	54
3.3	Caracterização dos veículos pesados .....	59
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS COMPORTAMENTAIS DO AIMSUN NEXT .....</b>	<b>62</b>
<b>5</b>	<b>MÉTODO PROPOSTO.....</b>	<b>70</b>
5.1	Geração dos dados sintéticos .....	72
5.2	Modelos de tráfego.....	76

5.2.1 Estimativa do atraso médio - di.....	78
5.2.2 Tempo de Viagem de Distância Extra - EDTT.....	85
5.3 Validação do método proposto .....	89
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>93</b>
6.1 Coleta de dados .....	93
6.2 Análise de sensibilidade dos parâmetros comportamentais do Aimsun Next.....	94
6.3 Método proposto .....	95
<b>7 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE “A” .....</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE “B” .....</b>	<b>121</b>

# 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a elaboração de projetos de interseções ocorre a partir dos preceitos contidos em manuais elaborados por órgãos oficiais, como o Manual de Projeto de Interseções do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2005), que foi elaborado a partir dos manuais americanos *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* e do *Highway Capacity Manual*, atualmente na 7ª edição (TRB, 2022).

Dessa forma, é comum a adoção de soluções geométricas de interseções não previstas em manuais de tráfego (TRB, 2016) e de projetos viários (AASHTO, 2018; DNIT, 2005), não havendo, assim, um referencial ou metodologias adequadas para um dimensionamento e uma verificação da condição operacional nesses dispositivos. É importante destacar que o HCM é a principal referência mundial para avaliação da capacidade e do nível de serviço, por meio de um conjunto de procedimentos sistematizados (Bessa Jr., 2015; Setti, 2009), inclusive de interseções rodoviárias (DNIT, 2005).

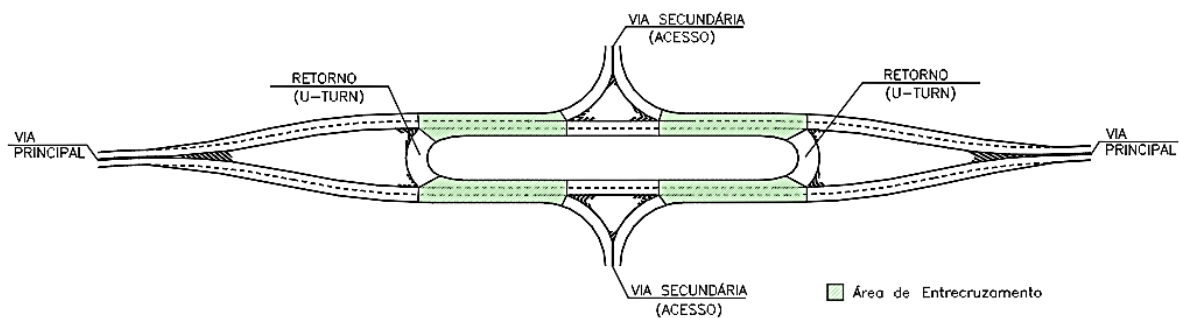
Nesse caso, Segundo FHWA (2014), são denominadas “Interseções Alternativas” aquelas que oferecem soluções onde as vias se cruzam a mesmo nível, com potencial de melhoria dos aspectos operacionais e com menor custo e impacto de implantação. Ainda segundo o documento, os profissionais não estão familiarizados com soluções alternativas, principalmente por elas não estarem presentes em manuais e porque sua implantação, algumas vezes, diz respeito a determinadas realidades locais, não alcançando reconhecimento nacional.

Os estudos de interseções alternativas, ou *unconventional arterial intersection design* (UAIDs), conforme definido por El Esawey *et al.* (2013), têm demonstrado que esses tipos de interseções, não convencionais, podem levar ao aumento da capacidade e da segurança em interseções em nível, com um custo representativamente menor que o tratamento com interseções com dois níveis. Nesse sentido, Dhattrak (2010) e Hummer (1998) colocam que as medidas tradicionais de tratamento de interseções em nível estão esgotadas e não são mais capazes de aliviar consideravelmente os congestionamentos, devido ao acelerado crescimento do tráfego das últimas décadas.

Um desses casos está relacionado com a adoção de solução de interseção alternativa com configuração geométrica do tipo Rotatória Alongada Não Vazada (RANV). Essa interseção

é comumente encontrada no Brasil em contextos de vias com fluxo não interrompido, especificamente em rodovias rurais não semaforizadas e distantes de perímetros urbanos, ou seja, sem a presença significativa de pedestres e ciclistas. A *RANV* é caracterizada pela adoção de rótula central alongada que prioriza o tráfego principal da rodovia, em detrimento das outras aproximações, conforme demonstrado na Figura 1. Esse dispositivo não permite o cruzamento direto da via para realização de giros à esquerda, para entrada ou saída da via secundária, e a troca direta de tráfego entre as vias secundárias, sendo necessário, para isso, a utilização dos movimentos de retorno (*U-turns*), por meio da rótula central. Dessa forma, não existem pontos de cruzamentos diretos entre veículos, e sim áreas de entrecruzamento.

Figura 1 - Rotatória Alongada Não Vazada (*RANV*)



Normalmente, esse tipo de interseção, em rodovias de pista simples, possui seu maior número de faixas (três) nas áreas de entrecruzamento, sendo uma faixa para os movimentos de mudança de velocidade próxima a rótula central, uma faixa para o tráfego de veículos direto pela rodovia, sem interesse de utilização dos acessos, e uma faixa para os movimentos de mudança de velocidade dos acessos lindeiros. DNIT (2005) ressalta a importância da separação do tráfego que gira a esquerda na interseção, por separador físico, do tráfego direto da rodovia, sempre que este for suficientemente elevado, reduzindo assim de 20% a 65% as colisões entre veículos. Esse tipo de interseção tem sido implantado, no Brasil, em rodovias de pista simples com fluxo de tráfego elevado, inclusive sendo recomendada sua adoção em editais de elaboração de projetos do DNIT, diferentemente dos EUA, onde não foram identificadas referências ao se analisar a literatura técnica e acadêmica.

El Esawey *et al.* (2011) e Shahi *et al.* (2009) destacam que uma configuração geométrica de interseção semelhante, denominada *unconventional median U-turn* (UMUT), na qual os movimentos que atravessam a via principal também devem ser realocados em movimentos de retorno na rótula central, tem sido implementada, há muitos anos, no Cairo (Egito) e no Irã, o que indica a aplicabilidade desse tipo de interseção em países em desenvolvimento.

Do ponto de vista do planejamento e da operação, relacionados ao nível de serviço, interseções similares à *RANV* são tratadas no HCM-7 (TRB, 2022) também como interseções alternativas (*alternative intersections*). Os dispositivos presentes no HCM-7 que mais se assemelham ao analisado neste trabalho são a *restricted crossing U-turn* (RCUT) e a *median u-turn* (MUT), que também têm sido estudados em alguns trabalhos (Dash *et al.*, 2017; Zhou *et al.*, 2002; Al-Masaeid, 1999; Hummer, 1998). Todavia, salienta-se que nenhum desses trabalhos reflete a especificidade da *RANV* em termos de aplicabilidade, características geométricas e operacionais.

Posto isso, nota-se a importância do desenvolvimento de estudos que subsidiem o planejamento e a operação de interseções alternativas, especificamente no caso da *RANV* por ser bastante aplicada em rodovias brasileiras, com intuito de garantir aspectos satisfatórios relacionados a sua segurança e a sua operacionalidade (com base no nível de serviço, por exemplo). Portanto, o presente trabalho será desenvolvido no sentido de propor um método capaz de definir a condição operacional desse tipo de interseção.

## 1.1 Objetivos do trabalho

O presente trabalho teve, como objetivo geral, obter um método para estimar o nível de serviço em interseções do tipo rotatória alongada não vazada (*RANV*) em rodovias de pista simples. Para atingir o objetivo geral traçado, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as características geométricas que podem influenciar na operação da *RANV*;
- Identificar parâmetros de tráfego, que possam ser coletados em campo, que caracterizem a operação da interseção;

- Verificar a necessidade de utilizar uma versão calibrada e validada do simulador de tráfego escolhido, o Aimsun Next 8.4, a partir de dados coletados em rodovias de pista simples brasileiras; e
- Propor medidas de desempenho adequadas para o cálculo do nível de serviço em interseções do tipo *RANV*.

## 1.2 Estrutura da pesquisa

A presente dissertação foi estruturada em seis capítulos, incluindo a presente introdução que contextualiza a pesquisa e apresenta os objetivos propostos. O Capítulo 2 apresenta a revisão da literatura, que trata da caracterização geométrica de projetos de interseções rodoviárias, das principais referências normativas de projeto e a caracterização e metodologias para cálculo de níveis de serviço de interseções alternativas.

No Capítulo 3, estão apresentados os métodos de coleta e tratamento de dados de campo, assim como a caracterização dos veículos pesados utilizados na modelagem no presente estudo. O Capítulo 4 apresenta o procedimento realizado para análise de sensibilidade dos parâmetros comportamentais do Aimsun Next, para verificação da necessidade da sua calibração. No capítulo 5, são apresentados os experimentos realizados para geração dos dados sintéticos de simulação, o teste de correlação para determinação das variáveis dos modelos em função das medidas de serviço escolhidas, os modelos propostos para estimação do atraso médio ( $d_i$ ) e do tempo de viagem de distância extra (*EDTT*) e a validação do método proposto. No Capítulo 6, são apresentadas as considerações finais, com conclusões e recomendações para pesquisas futuras.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

Neste capítulo, são apresentados aspectos relacionados às características geométricas de projetos de interseções rodoviárias, focando, sempre que possível, nas características presentes na *RANV*. Foram abordadas as principais referências normativas e realizada uma discussão em torno dos dispositivos viários, assim como a caracterização de interseções alternativas e uma revisão acerca das metodologias para cálculo do seu nível de serviço.

### **2.1 Interseções Rodoviárias**

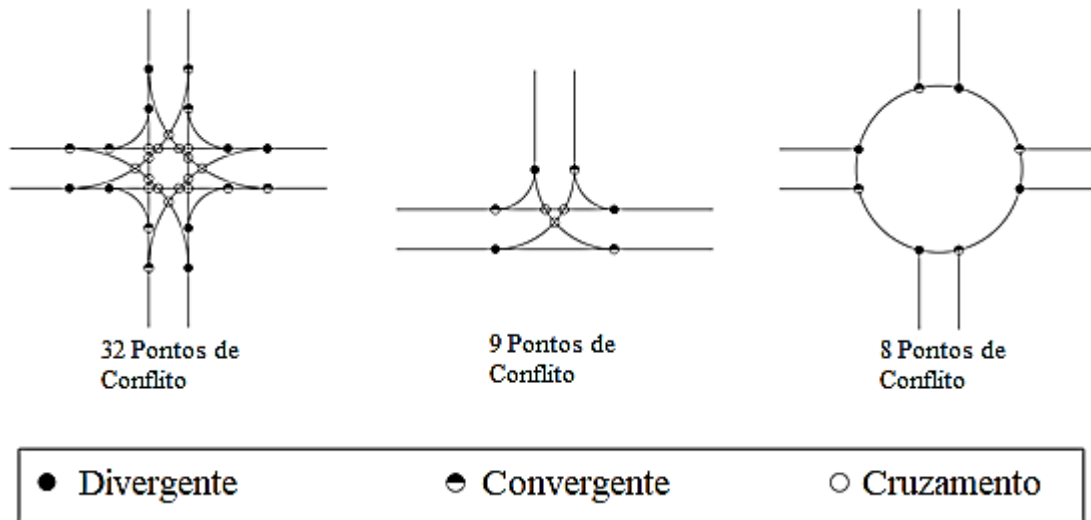
Este item contextualiza as principais características de conflitos de tráfego de interseções e de seus elementos geométricos, relacionando-os às características observadas na *RANV*.

#### **2.1.1 Disposições Gerais**

Interseções rodoviárias são dispositivos destinados ao ordenamento de fluxos de tráfego do cruzamento de duas ou mais vias, em que se priorizam os fluxos principais e se acomodam os secundários, para posterior manobra, a fim de proporcionar uma operação segura e satisfatória. As interseções podem possuir três aproximações, ou ramos, sendo mais comuns os dispositivos dotados de, no máximo, quatro (AASHTO, 2018).

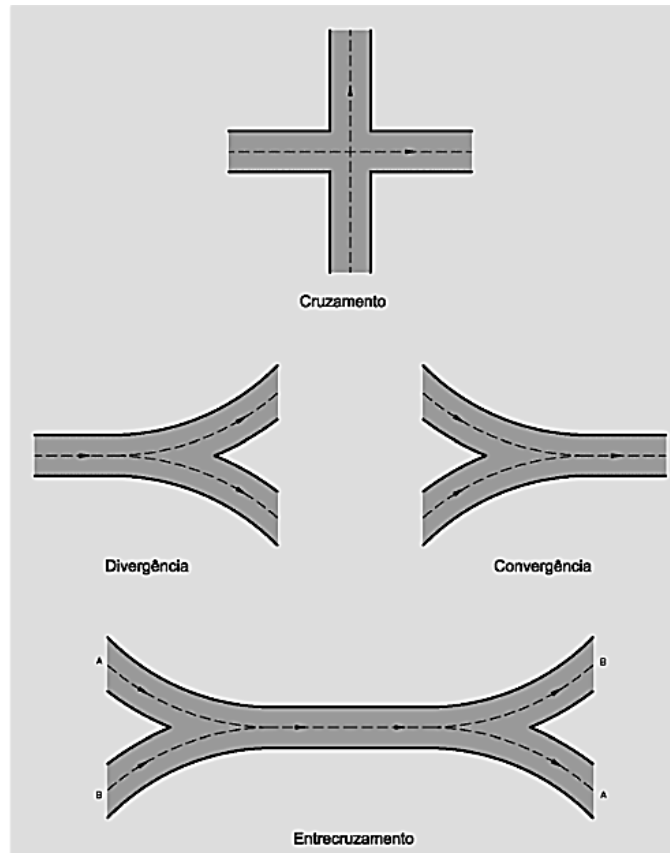
Interseções em nível não semaforizadas, por sua vez, são elementos geralmente destinados a promover o cruzamento de vias de pista simples, e constituem uma alternativa de menor custo com relação a interseções em desnível, porém acentuando os conflitos entre os fluxos de tráfego (Figura 2) o que torna evidente a necessidade de priorização de fluxos (Demarchi e Setti, 1997).

Figura 2 - Fluxos de conflito em vários tipos de interseção (AASHTO, 2018)



Segundo DNIT (2005), os conflitos existentes em uma interseção em nível são oriundos de quatro características de movimentos (Figura 3): (i) cruzamento: quando a trajetória de um veículo intercepta a de outro veículo perpendicularmente, fazendo com que os veículos de uma corrente de tráfego utilizem brechas que surgem na outra aproximação, ou que uma delas seja interrompida momentaneamente; (ii) convergentes: quando as trajetórias de vias distintas se unem em um único movimento, com regulação do direito de passagem dos veículos que convergem; (iii) divergentes: quando o tráfego de uma via se separa em trajetórias diferentes sem necessidade de aguardar uma brecha na corrente de tráfego oposta, para sua inserção, ou reduzir significativamente suas velocidades; (iv) entrecruzamento ou entrelaçamento: é definido como o cruzamento de dois ou mais fluxos de tráfego viajando na mesma direção ao longo de uma certa extensão da rodovia, sendo seu comprimento medido entre o ponto de convergência de duas vias e de posterior divergência de tráfego, quando estes encontram-se próximos o suficiente para não operarem de maneira independente.

Figura 3 - Tipos básicos de movimentos (DNIT, 2005)



Nesse aspecto, existem diversas possibilidades de soluções geométricas de interseções em nível para rodovias em pista simples, conforme suas características planialtimétricas e de demanda, devendo atender as normativas de projeto, conforme DNIT (2005), para o caso brasileiro.

Conforme AASHTO (2018), a chave para qualquer projeto de interseção é atender a um conjunto de princípios de projeto fundamentais que incluem redução de velocidade, alinhamentos horizontal e vertical e necessidades de fator humano. Dessa forma, o objetivo de qualquer projeto de interseção, independentemente do tipo ou localização, deve ser se basear nos seguintes princípios:

- Reduzir a velocidade dos veículos na interseção, conforme estabelecido;
- Fornecer um número apropriado de faixas de tráfego;
- Proporcionar uma canalização que opere suavemente, além de ser intuitiva para os motoristas e que resulte em veículos usando naturalmente as faixas pretendidas;

- Fornecer acomodação adequada para os veículos de projeto;
- Atender as necessidades de pedestres e ciclistas; e
- Fornecer distâncias de visibilidade adequadas.

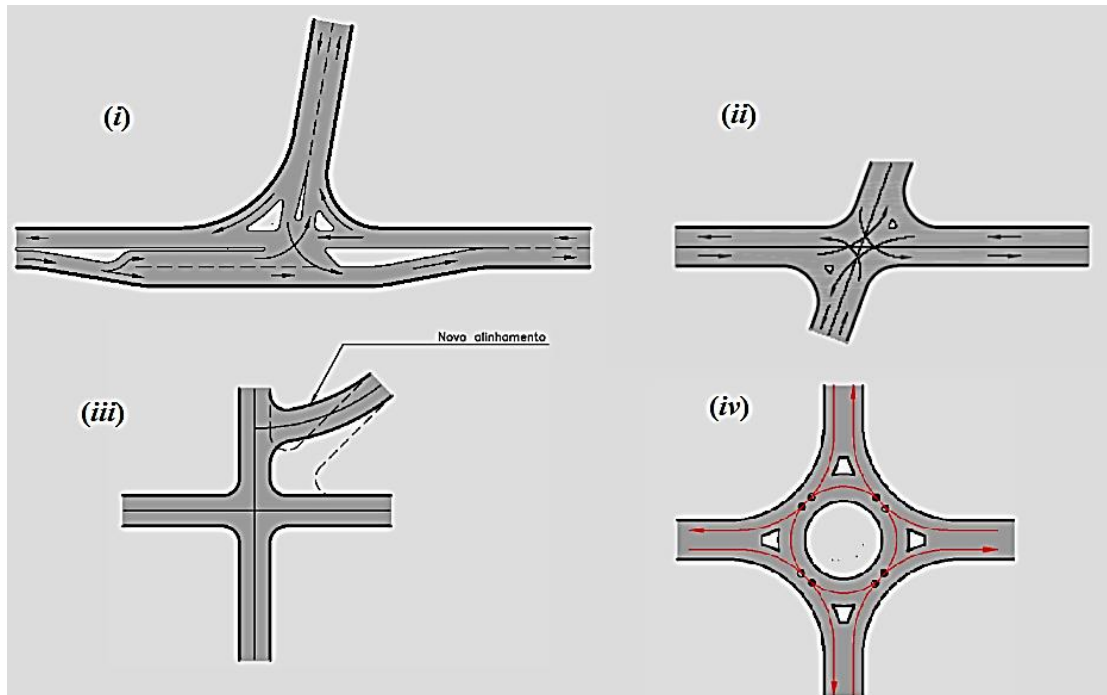
Dessa forma, os elementos básicos a serem considerados em um projeto de interseção estão relacionados, segundo AASHTO (2018), a: *(i)* Fatores humanos: hábito e expectativa dos condutores, habilidade na tomada de decisões, tempo de decisão e reação, conformação dos caminhos naturais aos movimentos e comportamento dos pedestres e ciclistas; *(ii)* Tráfego: classificação da interseção rodoviária, existência e expectativa de acidentes e sua severidade, projeto adequado à frota circulante, movimento de giro na hora de projeto, potencial conflito entre os modos de transporte, movimentos previstos e possíveis na interseção, velocidade dos veículos e presença de transporte público; *(iii)* Elementos Físicos: Característica e uso das propriedades lindeiras, alinhamentos verticais e horizontais, distância de visibilidade, dispositivos de controle de tráfego, tratamento e gerenciamento de acesso, pistas auxiliares, instalações para pedestres e ciclistas, fatores ambientais e elementos de drenagem; *(iv)* Fatores econômicos: custo da melhoria e expectativa dos benefícios, custo e eficácia do controle de pontos de acesso para adjacências residenciais ou comerciais e consumo de energia.

### **2.1.2 Elementos de projeto de interseções**

Conforme mencionado em DNIT (2005) e AASHTO (2018), em virtude da interferência direta de interseções rodoviárias na segurança viária e na capacidade de tráfego, seus projetos devem contemplar o correto dimensionamento e escolha de parâmetros técnicos relacionados ao tipo de interseção, tais como alinhamentos horizontal e vertical; raios de acesso; faixas de mudança de velocidade; faixas de giro a esquerda; faixa de armazenamento; superelevação; curva vertical; canteiro central e retornos. Dessa forma, apresenta-se, nesta seção, uma descrição básica desses elementos de projeto, buscando relacioná-los a interseção RANV, tratada neste trabalho.

De forma geral, as interseções em nível podem ser classificadas em 4 tipos: *(i)* três aproximações, *(ii)* quatro aproximações, *(iii)* múltiplas aproximações e *(iv)* rotatórias (DNIT, 2005 e AASHTO, 2018), como ilustrado na Figura 4. É importante destacar que, para todos esses casos, existem diversas possibilidades de soluções geométricas possíveis, desde que sejam atendidas as condicionantes básicas de projeto.

Figura 4 - Tipos de interseção em nível (Adaptado de DNIT, 2005)



Para a solução do tipo rotatória, DNIT (2005) apresenta duas soluções de projeto, sendo a primeira denominada rótula moderna, caracterizada pela preferência de tráfego para os veículos que giram na rótula central, controlando-se o acesso dos veículos que chegam a rotatória por meio de sinalização de parada obrigatória ou dê a preferência. A segunda é denominada rótula convencional, descrita como uma interseção dotada de rótula central onde a preferência é dos veículos que trafegam no eixo da rodovia, em detrimento dos tráfegos oriundos dos acessos e da rótula (DNIT, 2005). Ainda segundo o documento, sua rótula central pode ser de forma circular, oval ou completamente irregular, sendo constituída basicamente por segmentos de entrecruzamento. Sua implantação é recomendada em casos em que a rodovia principal possui elevado volume de tráfego e é interceptada por vias secundárias de “importância muito inferior”.

Sabe-se que a *RANV* não é uma solução tipo presente nos principais manuais de tráfego (TRB, 2022; DNIT, 2006) e de projetos viários (AASHTO, 2018). Todavia, a descrição da denominada rótula convencional se aproxima das características observadas na *RANV*. A rótula moderna é tratada como rotatória em AASHTO (2018), que, por sua vez, não trata da rótula convencional ou de solução similar, evidenciando a particularidade desse tipo de interseção em redes viárias brasileiras. Esse tipo de interseção alternativa dotada de rótula central alongada

facilita os movimentos diretos do eixo da rodovia e reduzem os conflitos com os movimentos de giro à esquerda e de retorno (Hummer, 1998), uma vez que eliminam os pontos de cruzamento da interseção e os transformam em locais de convergência e divergência de fluxos.

DNIT (2005) define ainda algumas características geométricas e operacionais para projeto e operação das rótulas convencionais. A Tabela 1 ilustra as velocidades de projeto recomendadas para esse projeto de interseção.

Tabela 1 - Velocidade de projeto recomendadas para rótulas convencionais (DNIT, 2005)

Velocidade de projeto da rodovia (km/h)	Velocidade média de operação da rodovia (km/h)	Velocidade de projeto da pista rotatória (km/h)	
		Mínima	Desejável
50	45	30	50
65	55	50	55
≥ 80	65 a 80	55	65

DNIT (2005) relaciona o nível de serviço da interseção diretamente ao nível de serviço dos segmentos de entrecruzamento, tendo como referência o *Highway Capacity Manual* (sem especificar a versão do manual). A Tabela 2 apresenta os comprimentos mínimos de entrecruzamento das rótulas convencionais.

Tabela 2 - Comprimentos mínimos dos trechos de entrecruzamento das rótulas convencionais (DNIT, 2005)

Velocidade de projeto da pista rotatória (km/h)	Comprimento Mínimo do trecho de entrecruzamento (m)
30	35
40	45
50	55
60	65
65	75

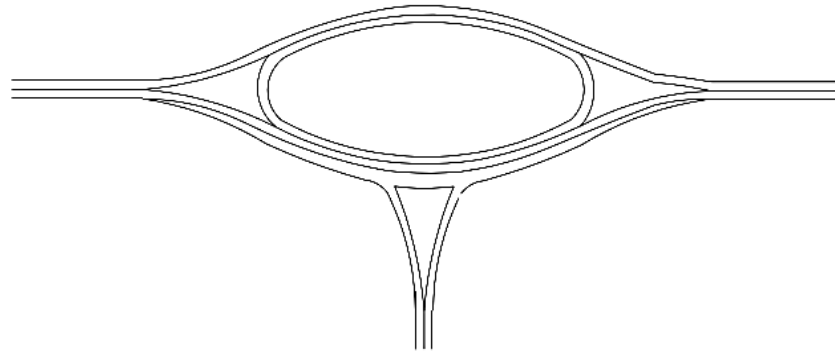
É importante ressaltar que a metodologia do HCM para análise de entrecruzamentos (TRB, 2010, 2016 e 2022) trata de segmentos de “*freeways*” e não de rodovias de pista simples, como caso da RANV no Brasil. Outro ponto que merece destaque é o comprimento do entrecruzamento sugerido em Shahi e Choupani (2009) e El Esawey e Sayed (2011), que recomendam distâncias de 175 a 350 metros e 200 metros, respectivamente, para a distância

entre o alinhamento do acesso secundário e o retorno (*U-turn*), para a interseção com configuração geométrica tipo *unconventional median U-turn* (UMUT), com características similares a descrita em DNIT (2005). Para a interseção tipo MUT, Bared e Kaisar (2002) recomendam 137 metros, AASHTO (2004) entre 125 e 185 metros e Hughes (2010) entre 170 e 230 metros. É importante destacar que as recomendações para dimensionamento do entrecruzamento, tanto para MUT, quanto para UMUT, consideram rodovias de múltiplas faixas, com 2, 3 ou 4 faixas por sentido, o que pode influenciar em sua extensão, significativamente maior a exposta em DNIT (2005), devido a necessidade de um maior número de trocas de faixas para realização da manobra completa de entrecruzamento.

Outras informações contidas em DNIT (2005) dizem respeito à superelevação dos ramos da interseção, sendo indicados os valores de 7% a 8% para velocidade de projeto até 30 km/h, 6% a 7% para velocidades de projeto entre 40 km/h e 50 km/h e 5% a 6% para velocidades de projeto entre 55 km/h e 65 km/h. Tais valores causam estranheza por serem inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a velocidade menor a superelevação. DNIT (2005) especifica ainda que a distância de visibilidade mínima recomendada é de 180 metros da ilha de aproximação da interseção, ou valores superiores, conforme velocidade da via. O manual não apresenta “projeto tipo” ou similar.

Outro documento que faz referência à solução similar a *RANV* é o DER/MG (2013), que trata da “Rotatória não vazada”. Essa interseção é descrita como constituída por uma rótula, preferencialmente alongada, alocada no eixo da rodovia principal e munida de entrecruzamentos (Figura 5). A recomendação do órgão é a adoção dessa interseção para Volumes Médios Diários (VMD's) no eixo da rodovia entre 1000 e 1500 veículos por dia para atender acessos de um ou ambos os lados, para rodovias de pista simples ou dupla. Nesse aspecto, a recomendação difere de DNIT (2005), que recomenda a adoção da solução similar para elevados volumes de tráfego. DER/MG (2013) não apresenta maiores detalhes dessa solução.

Figura 5 - Rotatória não vazada (DER/MG, 2013)

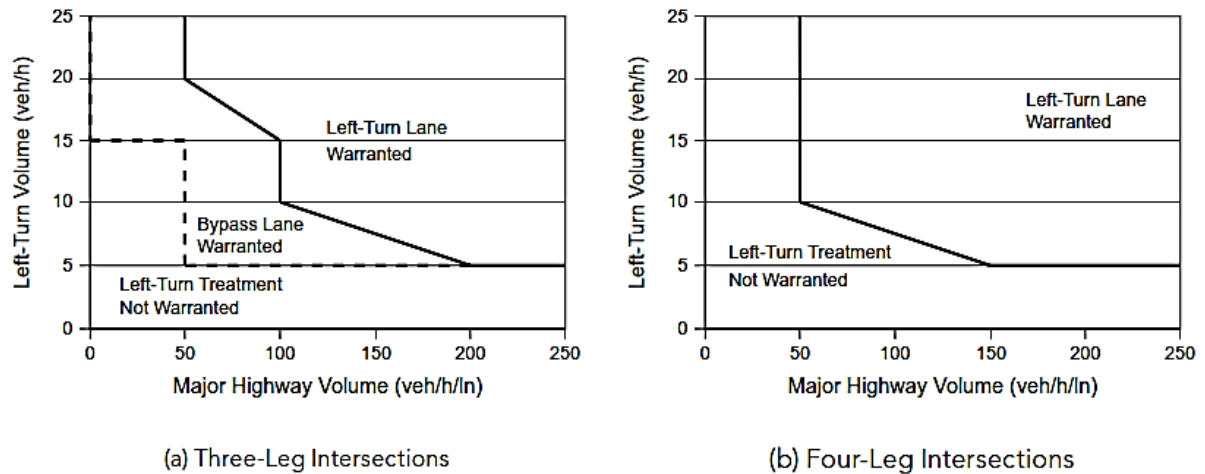


Fitzpatrick *et al.* (2014) desenvolveu pesquisas sobre a acomodação de veículos para conversão à esquerda em rodovias de pista simples, baseadas em volume de tráfego, em cruzamentos não semaforizados, com vias secundárias controladas por “Pare” ou “Dê a preferência”. Essas diretrizes foram incorporadas a AASHTO (2018) e estão sintetizadas na Tabela 3 e na Figura 6.

Tabela 3 – Diretrizes de tratamento para virar à esquerda com base nos resultados de avaliações de custo-benefício para interseções em rodovias de pista simples em áreas rurais (Fitzpatrick *et al.*, 2014)

Faixa de giro a esquerda (volume da hora pico)	Interseção de três aproximações, com volume da hora de pico da rodovia principal de pista simples (veic/hora/faixa) que justifica a implantação de faixa <i>Bypass</i>	Interseção de três aproximações, volume da hora de pico da rodovia principal de pista simples (veic/hora/faixa) que justifica implantação da faixa de giro a esquerda	Interseção de quatro aproximações, volume da hora de pico da rodovia principal de pista simples (veic/hora/faixa) que justifica a implantação da faixa de giro a esquerda
5	50	200	150
10	50	100	50
15	< 50	100	50
20	< 50	50	< 50
25	< 50	50	< 50
30	< 50	50	< 50
35	< 50	50	< 50
40	< 50	50	< 50
45	< 50	50	< 50
50 ou mais	< 50	50	< 50

Figura 6 - Diretrizes de tratamento para virar à esquerda com base nos resultados de avaliações de custo-benefício para interseções em rodovias de pista simples em áreas rurais (Fitzpatrick *et al.*, 2014)



Com relação às especificações para dimensionamento de retorno em canteiro central, DNIT (2005) apresenta três tipos possíveis (Figura 7), assim como suas dimensões (Tabela 4):

- Tipo A: a largura do canteiro central é suficiente para incluir totalmente a envoltória do deslocamento do veículo de projeto sem invasão das faixas de trânsito adjacentes. Dessa forma, as faixas de mudança de velocidade, desaceleração e aceleração, são inseridas no canteiro central, permitindo a operação de retorno e dando a oportunidade de incorporação ao tráfego direto da rodovia;
- Tipo B: o deslocamento do veículo de projeto ocorre com a utilização da largura do conjunto canteiro central e pista oposta. Nesse caso, uma faixa de desaceleração é implantada no canteiro central, para o veículo aguardar protegido a oportunidade de se inserir diretamente na faixa da pista oposta contígua ao acostamento; e,
- Tipo C: o deslocamento do veículo de projeto ocorre com a utilização da largura do conjunto canteiro central, pista oposta e acostamento. Nesse caso, uma faixa de desaceleração é implantada no canteiro central, para o veículo aguardar protegido a oportunidade de se inserir diretamente no acostamento da pista oposta, que funcionará como uma faixa de aceleração para inserção no tráfego direto.

Figura 7 – Tipos de retornos para canteiro central (DNIT (2005))

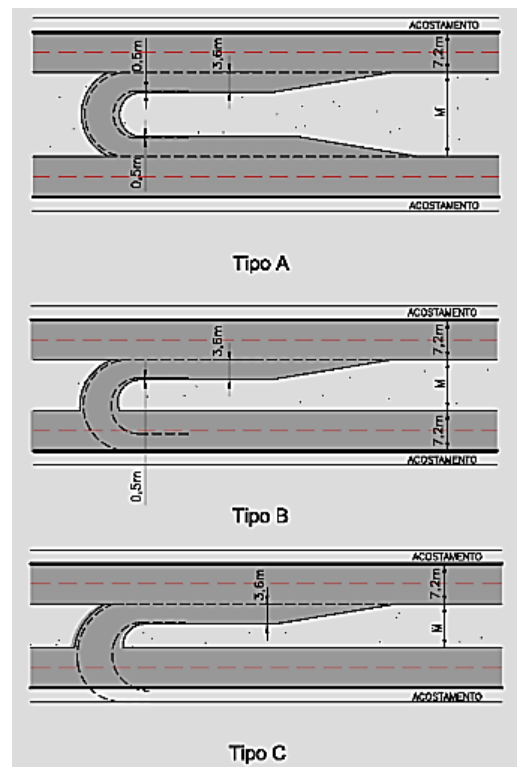


Tabela 4 – Dimensões mínimas para retorno em “U” (DNIT, 2005)

Tipo de Retorno	Tipo de Manobra	Largura mínima do canteiro ( $W$ ) para os veículos de projeto ( $m$ )			
		VP	CO	O	SR
		Tamanho dos Veículos			
		5,8	9,1	12,2	16,8
A	Faixa auxiliar para faixa auxiliar junto ao canteiro central	16	26	28	29
B	Faixa auxiliar junto ao canteiro central para faixa externa	10	19	21	22
C	Faixa auxiliar junto ao canteiro central para acostamento	7	16	18	19

Notadamente, o retorno componente da *RANV* é o Tipo A, em que se realiza o movimento sem interferência com as faixas adjacentes, permitindo ao veículo a incorporação ao fluxo direto da rodovia para seguir em frente ou realizar a manobra de entrecruzamento para o acesso lindeiro. DNIT (2005) define que a faixa de acomodação do veículo e a faixa para giro à esquerda deve ter entre 3,00 metros e 6,00 metros de largura. Nota-se que o referido Manual

é datado de 2005, e que, desde então, a frota de veículos comerciais brasileiros vem sofrendo uma grande transformação no que tange as dimensões dos veículos, cada vez maiores, sendo comum a observação de combinações de veículos de carga (CVC) acima de 20 metros. Tal aspecto pode ter impacto direto no dimensionamento dos elementos geométricos descritos, cabendo, em oportunidade futura, a investigação desses aspectos.

Os demais elementos da interseção como faixas de mudança de velocidade, distâncias de visibilidade, alinhamento vertical e horizontal, superelevação e raios de acesso seguem regras gerais comuns a todas as configurações geométricas de interseções em nível, conforme descrito em AASHTO (2018) e em DNIT (2005).

## 2.2 Interseções Alternativas

As interseções alternativas, ou não convencionais, são assim chamadas devido a sua característica de realocar um ou mais movimentos de seus lugares habituais para junções secundárias, sendo mais comum o reordenamento dos movimentos de giro à esquerda (TRB, 2022). As análises desse tipo de interseção são realizadas mais comumente em vias com fluxo interrompido, semaforizadas e com características predominantemente urbanas (TRB, 2022; FHWA, 2014; El Esawey *et al.*, 2011). Uma das possibilidades que justificam esse tipo de aplicação urbana é a predominância de estudos internacionais, que analisam a sua própria realidade e, no que se refere a interseções rodoviárias, difere da realidade brasileira.

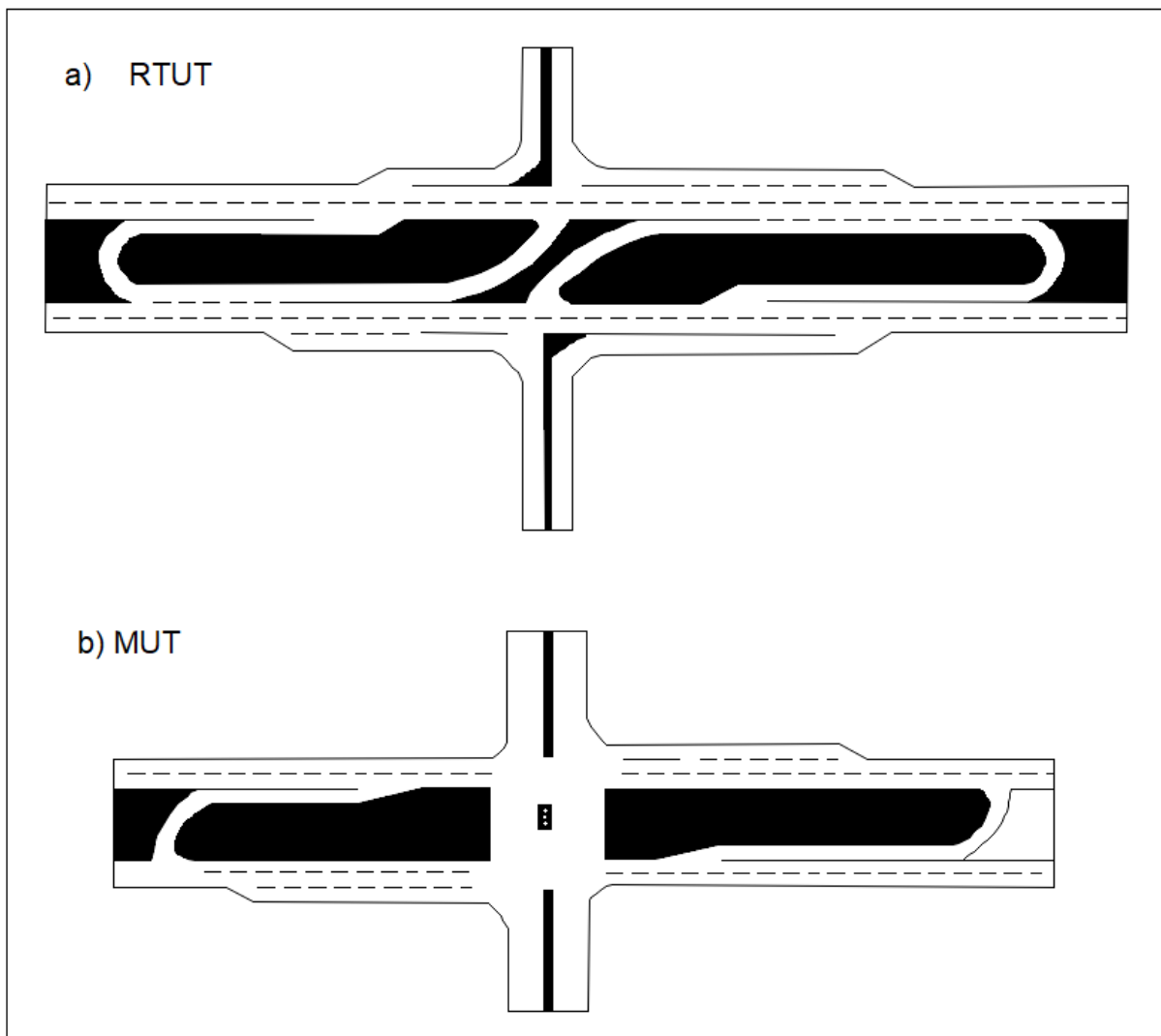
Todavia, El Esawey *et al.* (2011) afirmam que o termo “interseções alternativas” também é utilizado para vias com fluxo não interrompido, visando a redução do atraso, a melhoria da segurança e a redução dos impactos ambientais, além de custo inferior com relação às soluções tradicionais. El Esawey *et al.* (2007) sugerem que interseções alternativas, tratadas por eles como “*unconventional arterial intersection design (UAIDs)*”, são mais adequadas às características rurais, se comparadas à sua aplicação urbana. Portanto, a partir dessas análises, enquadrou-se a rotatória alongada não vazada (RANV) como uma “interseção alternativa”.

A RANV se coloca como uma configuração de interseção ainda não estudada com profundidade, e poderá contribuir positivamente para a melhoria da condição operacional e de segurança de interseções em rodovias de pista simples com elevados volumes de tráfego. Essa

configuração combina elementos de soluções viárias existentes como a rotatória, a MUT, a UMUT e a *New Mega Elliptical Roundabout* (NMER), esta última recentemente proposta por Mohamed *et al.* (2020).

O HCM (TRB, 2022) dedica um capítulo a metodologias para determinação da capacidade e níveis de serviço de interseções alternativas das quais algumas se assemelham a RANV, sendo essas a *Right Turn Followed by U-turn* (RTUT), ou *Restricted Crossing U-turn* (RCUT), e a *Median U-turn* (MUT) (Figura 8), também estudadas em Dash *et al.* (2017), Hughes *et al.* (2010), Zhou *et al.* (2002); Al-Masaeid (1999) e Hummer (1998), sendo essa última a mais semelhante com a RANV.

Figura 8 - *Right Turn Followed by U-turn* (RTUT) e *Median U-turn* (MUT) (Hummer *et al.*, 2014)

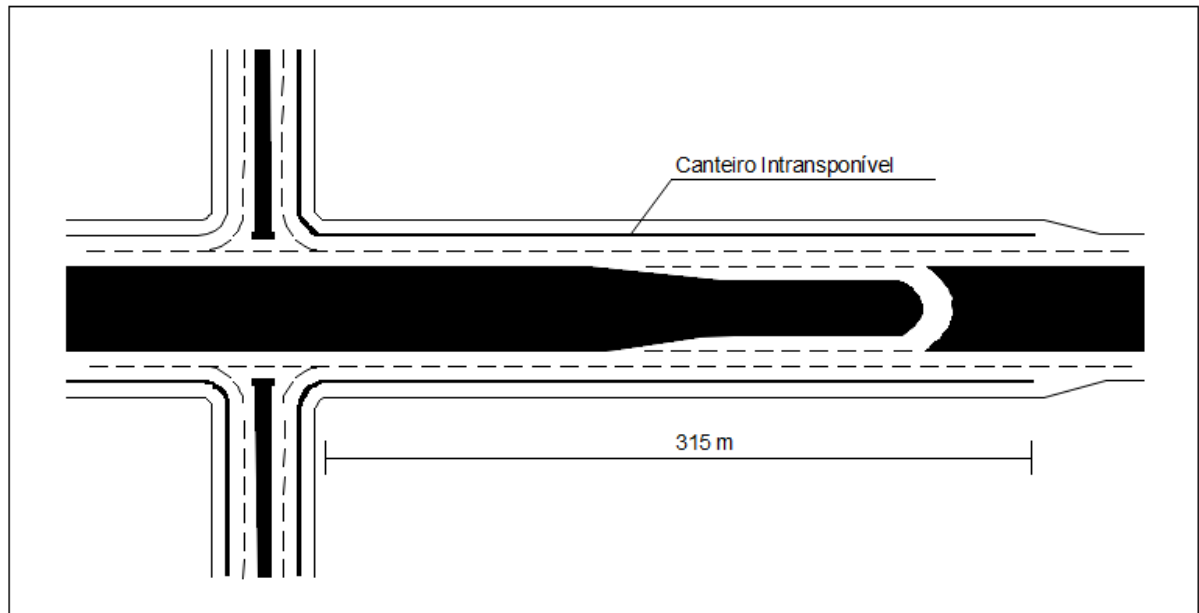


No projeto de uma interseção do tipo “MUT”, os movimentos de conversão à esquerda podem ser parciais ou totalmente proibidos de forma direta, podendo ser alocados para cruzamentos a jusante da interseção primária, ou seja, nas alças de retornos (Hummer 1998). Por exemplo, a proibição parcial de conversões à esquerda, onde esse tipo de movimentação é permitido somente da via secundária para a principal. A proibição total, por outro lado, não permite qualquer movimento de conversão à esquerda na interseção primária, seja da via secundária ou da principal, devendo estes serem realizados por meio das alças de retorno. Conforme Reid e Hummer (1999), os retornos em “U” podem ser localizados na via principal, na secundária ou em ambas, dependendo da área disponível. Complementarmente, esses cruzamentos podem ser semaforizados ou não semaforizados (Reid e Hummer, 1999).

Originalmente, a interseção tipo MUT foi desenvolvida há mais de 40 anos em Michigan (Hummer 1998). Desde então, pesquisadores se dedicaram ao estudo do comportamento dessa solução geométrica de interseção, dentre eles Autey *et al.* (2011), Hughes *et al.* (2010), Rodegerdts *et al.* (2004), Bared e Kaisar (2002) e Doroty *et al.* (1997).

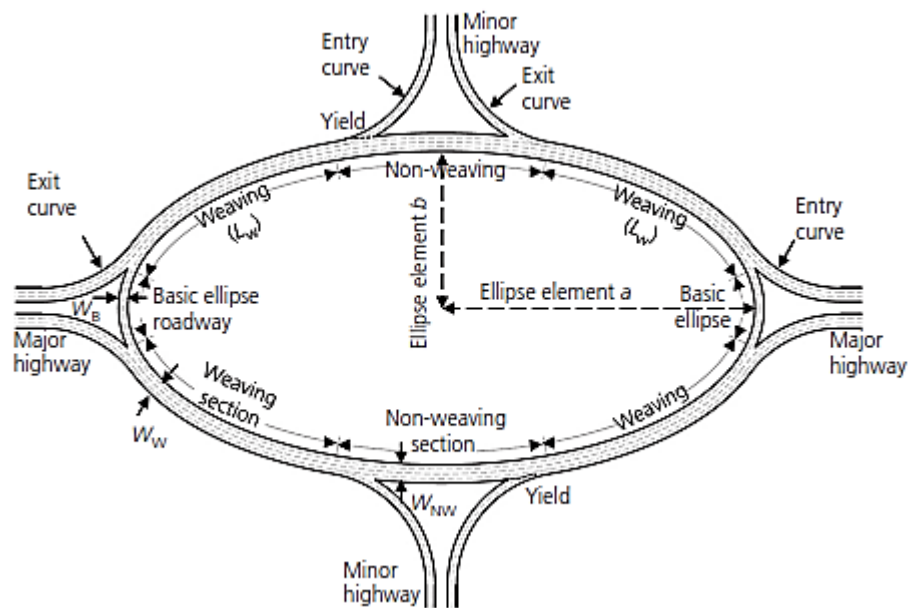
El Esawey e Sayed. (2011) analisaram a interseção *Unconventional Median U-turn* (UMUT) (Figura 9), proposta por Shahi e Choupani (2009), tidos até então como os principais trabalhos relacionados ao estudo desse tipo de interseção, que mais se assemelha a RANV. Esse projeto de pesquisa difere da MUT convencional, pois utiliza um canteiro central intransponível para proibir qualquer cruzamento de tráfego direto entre as vias secundárias ou os giros a esquerda. Diferentemente da RANV, a MUT considera a existência de um canteiro intransponível para os veículos que giram à direita, além de número de faixas e elementos geométricos, como raios de giro, todos incompatíveis com as soluções adotadas nas rodovias brasileiras, conforme DNIT (2005). Adicionalmente, El Esawey e Sayed. (2011) não se basearam em dados empíricos para calibração do simulador de tráfego utilizado e validação do modelo de simulação, sendo adotados valores hipotéticos, conforme critério de distribuição estabelecido. El Esawey e Sayed (2011) destacam ainda que os desempenhos de soluções de interseção tipo *UMUT*'s ainda não foram extensivamente estudados.

Figura 9 - *Unconventional Median U-Turn* (El Esawey *et al.*, 2011)



Mohamed *et al.* (2020) estudaram uma outra configuração geométrica, que também se assemelha à RANV, denominada “*New Mega Elliptical Roundabout Intersection*” (NMER) (

Figura 10), por meio de uma adaptação do modelo de tráfego proposto no HCM-6 (TRB, 2016) para análise da capacidade e nível de serviço de segmentos de entrecruzamentos. Todavia, essa interseção possui elementos geométricos distintos dos presentes na *RANV*, haja visto sua forma elíptica, o grande número de faixas adotado (mais característico em rodovias duplicadas) e os critérios para definição dos raios da elipse. De forma semelhante a El Esawey *et al.* (2011), Mohamed *et al.* (2020) não fizeram uso de dados empíricos, uma vez que não existem interseções desse tipo implantadas, segundo os autores. Dessa forma, destaca-se essa limitação do estudo, tendo em vista a ausência de dados primários para calibração do simulador de tráfego e a validação do modelo.

Figura 10 - *New Mega Elliptical Roundabout Intersection* (Mohamed *et al.*, 2020)

### 2.2.1 Avaliação Operacional por meio de Simulação de Tráfego

Uma vez descrita a operação de cada um dos três tipos de interseções alternativas, foram observados trabalhos que desenvolveram experimentos para avaliar o desempenho de cada configuração geométrica. A Tabela 5 resume os trabalhos avaliados e contém o nome do autor, o ano do estudo, o projeto tipo analisado, a ferramenta de análise, o tipo de dado inicial e, também, se a interseção estudada era semaforizada ou não.

Tabela 5 – Resumo dos experimentos (Adaptado de El Esawey e Sayed (2013))

Autor	Ano	Projeto Tipo	Ferramenta de Análise	Tipo de dado Inicial	Semaforizada
Autey <i>et al.</i>	2011	MUT	VISSIM	Hipotético	Sim
Hughes <i>et al.</i>	2010	MUT	VISSIM	Hipotético	Sim
Bared e Kaisar	2002	MUT	CORSIM	Hipotético	Sim
Reid e Hummer	1999	MUT	CORSIM	Real	Sim
Doroty <i>et al.</i>	1997	MUT	TRAF-NETSIM	Hipotético	Sim
El Esawey e Sayed	2011	UMUT	VISSIM	Hipotético	Não
Shahi e Choupani	2009	UMUT	Modelo de Regressão	Real	Não
Mohamed <i>et al.</i>	2020	NMER	VISSIM	Hipotético	Não

Pôde-se notar que todos os estudos foram desenvolvidos com auxílio de alguma ferramenta de simulação, com exceção de Shahi e Choupani (2009), que utilizaram um modelo de regressão. Shahi e Choupani (2009) e Reid e Hummer (1999), também foram os únicos a utilizar dados empíricos no desenvolvimento das investigações. Somente os estudos envolvendo MUT foram realizados considerando a existência do fluxo interrompido com a utilização de semáforo.

Segundo El Esawey e Sayed (2013), a análise de qualquer projeto de interseção com uso de microssimulação deve levar em conta os seguintes aspectos:

- Volumes de tráfego;
- Razão entre o volume da via principal e o volume da secundária ( $V_{PRINCIPAL}/V_{SECUNDÁRIO}$ );
- Distribuição direcional (DD) para cada uma das duas vias que se cruzam;
- Composição do tráfego, geralmente identificada pela porcentagem de veículos pesados (%  $P_{HV}$ );
- Porcentagem de tráfego de conversão (curva à direita / curva à esquerda);
- Perfis de velocidade; e,
- Movimentação de pedestres.

Estudos de simulação para análise de operação de tráfego em interseções alternativas geralmente utilizam dados obtidos em campo ou dados hipotéticos. O uso de dados de tráfego de campo aumenta a credibilidade da análise de simulação. No entanto, os resultados da simulação sempre permanecerão exclusivos para o caso ou para um pequeno número de casos modelados naquela interseção. Por outro lado, o uso de dados de tráfego hipotéticos permite analisar uma ampla gama de cenários que representam condições variáveis de geometria e de tráfego, como tamanho do segmento de entrecruzamento, variação de demanda, desequilíbrio de volumes entre as trocas da interseção, aumento da participação de veículos pesado, etc. Além disso, o uso de dados hipotéticos pode permitir identificar o ponto de capacidade máxima, para cada combinação de volumes principais / secundários. A Tabela 6 classifica os estudos citados de acordo com os níveis de demanda e características de tráfego.

Tabela 6 – Medidas de desempenho analisadas nos estudos (Adaptado de El Esawey e Sayed (2013))

Autor	Ano	Volume da via principal (veíc/h)	$V_{\text{PRINCIPAL}} / V_{\text{SECUNDÁRIA}}$	Distribuição direcional (via principal)	Distribuição direcional (via secundária)	% HV *	RT/TH/LT **
Autey <i>et al.</i>	2011	11 Níveis de volume entre 500-2500	50/50; 80/20; 66/34; 57/43	50/50	50/50	2%	10/70/20 10/60/30
Hughes <i>et al.</i>	2010	Vários	Vários	Vários	Vários	2% e 5%	Vários
Bared e Kaisar	2002	16 Níveis de volume entre 500-1750	Variando de 80/20 a 60/40	50/50	50/50	5%	10/80/10 10/70/20
Reid e Hummer	1999	Baixo, médio baixo, médio alto e alto	Não informado	Não informado	Não informado	Não informado	Não informado
Doroty <i>et al.</i>	1997	1080, 1800, 2520, 3240 e 3600	60/40	50/50	50/50	Não informado	10/80/10 15/70/15 20/60/20 25/50/25
El Esawey e Sayed	2011	8 Níveis de volume entre 500-1200	Vários	50/50	50/50	2%	10/70/20 10/60/30
Shahi e Choupani	2009	Níveis de volume entre 1063-5556	Vários	Vários	Vários	4% - 10%	Níveis de volume entre 1063-5556
Mohamed <i>et al.</i>	2020	5 Níveis de volume entre 1000-2500	Vários	50/50	50/50	20%	Não informado

\* Percentual de veículos pesados

\*\* Curva a direita (RT) / direto (TH) / curva a esquerda (LT)

Diferentes medidas de desempenho podem ser usadas para avaliar o desempenho operacional de interseções alternativas e podem ser calculadas para movimentos específicos ou como uma média para todos os veículos na interseção. As medidas mais comuns são tempo de viagem, velocidade, número de paradas, comprimento da fila, atraso médio do veículo e capacidade. Segundo TRB (2022), interseções tradicionais semaforizadas, ou controladas por sinal de "pare" utilizam o atraso médio (*average control delay*) como medida de serviço (usada para obtenção do nível de serviço) para descrever as condições de tráfego na interseção, em

termos de conforto e comodidade para os usuários. A Tabela 7 apresenta diferentes medidas de desempenho para os estudos analisados.

Tabela 7 – Medidas de desempenho analisadas nos estudos (Adaptado de El Esawey e Sayed, 2013)

Autor	Ano	Projeto Tipo	Medidas de desempenho
Autey <i>et al.</i>	2011	MUT	Atraso médio e capacidade
Hughes <i>et al.</i>	2010	MUT	Atraso médio
Bared e Kaisar	2002	MUT	Tempo de viagem do sistema
Reid e Hummer	1999	MUT	Tempo de viagem do sistema, número de paradas por veículo e velocidade média do veículo
Doroty <i>et al.</i>	1997	MUT	Tempo de viagem do sistema e tempo total de conversão à esquerda por veículo
El Esawey e Sayed	2011	UMUT	Atraso médio e capacidade
Shahi e Choupani	2009	UMUT	Tempo de Viagem Experimentado
Mohamed <i>et al.</i>	2020	NMER	Densidade

TRB (2010, 2016, 2022), à semelhança de Hughes *et al.* (2010) e Shahi e Choupani (2009), identificaram a necessidade de obter uma medida de serviço específica para interseções alternativas capaz de representar operações em vias arteriais e em vias semaforizadas. Dessa forma, o atraso médio (*average control delay*) não seria adequado como a única medida para determinar os níveis de serviço para interseções, como no caso de interseções TWSC (Two-way stop-controlled), onde os giros diretos do tráfego a esquerda são inteiramente permitidos, pois não explicaria o atraso do caminho desviado presente nas interseções alternativas tratadas neste trabalho. A velocidade de viagem também não seria adequada como medida de serviço porque não captura a eficiência dos movimentos sequenciais das vias principais e secundárias.

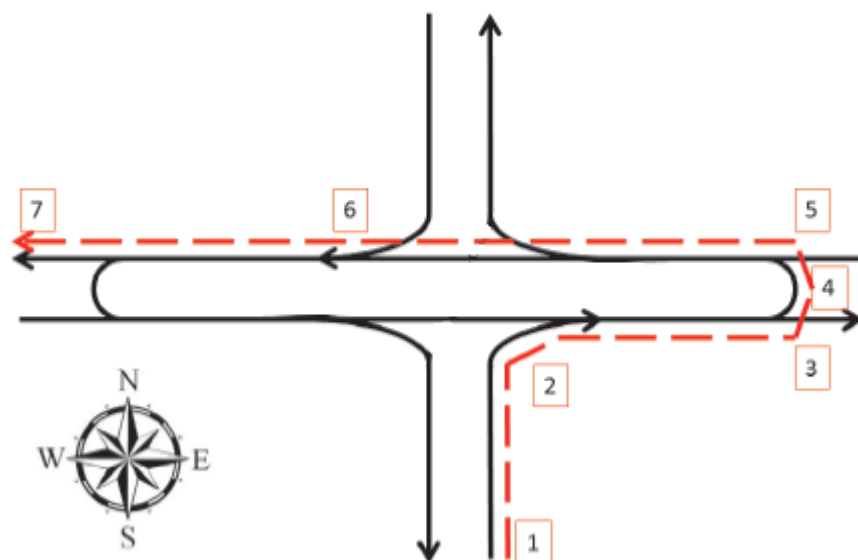
Em vez disso, TRB (2022) e Hughes (2010) defendem que as interações nas interseções são todas responsáveis por uma certa quantidade de tempo de viagem experimentado. Os deslocamentos dos veículos na interseção podem sofrer atrasos em suas junções, semaforizadas ou não, como, por exemplo, na conexão da via secundária com a principal. De forma similar, também podem ser observados “tempo de viagem de distância extra” (Figura 11), devido aos deslocamentos dos veículos no trajeto da via secundária até a alça de retorno e novamente até o alinhamento da via secundária. Alguns movimentos, como no caso da MUT, RTUT, RCUT, e da própria RANV, podem gerar resultados para um ou mais

desses elementos, que podem ser combinados para determinar o tempo de viagem experimentado (TRB, 2022). Esses autores descrevem ainda que os fluxos diretos da rodovia principal não sofrem atrasos significativos e, portanto, somente os movimentos conflitantes de giro a esquerda ou de troca direta entre as vias secundárias devem ser objeto de análise para definição do nível de serviço da interseção. A Equação 2.1 é usada para calcular o tempo de viagem experimentado ( $ETT$ ), em que “ $d_i$ ” é o atraso médio em cada junção, ou seja, o tempo de atraso decorrente da desaceleração do veículo e seu tempo parado na junção, “ $i$ ”, encontrada no caminho por meio da interseção, e  $EDTT$  é o tempo de viagem de distância extra (FHWA, 2014).

$$ETT = \sum d_i + \sum EDTT \quad (2.1)$$

A Figura 11 ilustra o conceito do  $ETT$ , em que a linha tracejada indica o caminho de um veículo girando à esquerda a partir da via secundária para a via principal. Resumir os atrasos (*average control delay*) de toda interseção, como realizado em TWSC, não representaria os tempos de percurso do caminho “desviado” entre os Pontos 2 e 6 (TRB, 2022). Apesar de haver maiores atrasos experimentados por veículos que viram à esquerda em vias secundárias, os atrasos em toda a interseção tendem a ser significativamente mais baixos para interseções como RCUT e MUT, em comparação com uma interseção convencional (TRB, 2022).

Figura 11 – Exemplo de “tempo de viagem experimentado” (adaptado de TRB, 2016)



Geralmente, os dados de entrada necessários para realizar a análise operacional de uma interseção alternativa não semaforizada são os mesmos utilizados para interseções TWSC (Tabela 8), acrescidos de alguns outros parâmetros como distâncias extras de viagem para realização do movimento de retorno (*U-turn*) e velocidade de fluxo livre ao longo da via principal nos segmentos entre retornos (TRB, 2022). Os raios de giro da interseção não são considerados nas análises devido a disponibilidade de valores padrão e por considerar que as interseções já foram corretamente dimensionadas para as características físicas dos veículos que a demandam.

Tabela 8 – Dados de entrada necessários, fontes de dados potenciais e valores padrão para análise de veículos motorizados TWSC (TRB, 2022)

Dados e unidades necessários	Fonte de dados	Valor Padrão Sugerido
<b>Dados Geométricos</b>		
Número e configuração das faixas de cada aproximação	Projeto ou dados de campo	A ser obtido
Greide das aproximações	Projeto ou dados de campo	0%
Fatores geométricos especiais, como <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aspectos exclusivos de canalização</li> <li>• Existência de uma via de conversão à esquerda de mão dupla ou</li> <li>• armazenamento de veículos no centro da pista</li> <li>• Existência de aproximações alargadas na rua secundária</li> <li>• Existência de sinais a montante</li> </ul>	Projeto ou dados de campo	Pode ser obtido
<b>Dados de demanda</b>		
Volume de demanda de movimento de giro por hora (veic/h) e fator de horário de pico ou Taxa de fluxo de demanda de movimento de giro por hora (veic/h)	Dados de campo / Modelagem	Pode ser obtido
Duração do período de análise	Definido pelo analista	15 min (0,25h)
Fator de hora pico (decimal)	Dados de campo	0,92
Percentual de veículos pesados (%)	Dados de campo	3%
Taxa de fluxo de saturação para o movimento da via principal (para análise de vias principais compartilhadas e faixas de conversão à esquerda)	Dados de campo	1800 veic/h
Taxa de fluxo para análise do movimento de curva à direita na via principal (para de vias principais compartilhadas e faixas de conversão à esquerda)	Dados de campo	1500 veic/h

Os passos para avaliação de interseções alternativas (TRB, 2022) são enumerados de um a dez, mas os que se aplicam a interseções não semaforizadas são apenas oito:

- (i) Determinar a demanda de cada um dos movimentos;

- (ii) Determinar os movimentos de tráfego dotados de tempo de viagem de distância extra (*EDTT*);
- (iii) Ajustes adicionais baseados no *headway* crítico e no *follow-up time* da interseção, os mesmos recomendados para interseções TWSC;
- (iv) Estimativa de medidas de desempenho específicas da junção (*control delay*, *v/c ratio* e *queue lengths*, os mesmos recomendados para interseções TWSC) para obtenção dos “*d<sub>i,s</sub>*”;
- (v) Cálculo do *EDTT*;
- (vi) Estimar o atraso adicional do entrecruzamento;
- (vii) Calcular o tempo de viagem experimentado (*ETT*) para cada movimento da interseção; e,
- (viii) Cálculo do nível de serviço.

As etapas “v” e “vi” são sintetizadas por meio da seguinte equação (2.2):

$$EDTT = \frac{D_t + D_f}{1,47 \times S_f} + a \quad (2.2)$$

Em que:

$D_t$  = distância da junção principal para o retorno (*u-turn*);

$D_f$  = distância do retorno (*u-turn*) para a junção principal;

$S_f$  = velocidade de fluxo livre (mi/h) da via principal; e,

$a$  = atraso associado à desaceleração para uma curva e aceleração para a seguinte.

A etapa “viii” converte o *ETT* obtido para cada movimento em um *ETT* médio ponderado pela taxa de fluxo de demanda (Equação 2.3) e enquadrados no nível de serviço (Tabela 9).

$$ETT = \frac{ETT_k \times v_k}{\sum v_k} \quad (2.3)$$

Em que:

$ETT_l$  = Tempo de viagem experimentado na interseção (s/veh);

$ETT_k$  = Tempo de viagem experimentado para o movimento “ $k$ ” (s/veh);

$v_k$  = Taxa de fluxo de demanda para o movimento conflitante “ $k$ ” (veh/h); e,

$k$  = Conjunto de todos os movimentos da interseção.

Tabela 9 – Critério para cálculo do NS em interseções alternativas, baseado no *ETT* (TRB, 2022)

<i>ETT</i> (s/veh)	Condição		
	$v/c \leq 1$ e $R_q \leq 1$ para todos os grupos de faixas	$v/c > 1$ para todos os grupos de faixas	$R_q > 1$ para todos os grupos de faixas
$\leq 10$	A	F	F
>10-20	B	F	F
>20-35	C	F	F
>35-55	D	F	F
>55-80	E	F	F
>80	F	F	F

Em que:

$v/c$  = Relação volume capacidade;

$R_q$  = Proporção média de fila para armazenamento;

Conforme demonstrado ao longo deste capítulo, observa-se que a *RANV* possui características semelhantes às interseções alternativas aqui apresentadas e, portanto, foi natural que as análises realizadas no presente trabalho tivessem como ponto de partida essas experiências. A princípio, a proposta de TRB (2022) para tratamento de interseções alternativas, também abordada por Hughes *et al.* (2010) e Shahi e Choupani (2009), pareceu a mais adequada para realização do presente trabalho, especialmente pelos conceitos das medidas de desempenho *ETT* e *EDTT*. Além disso, o TRB (2022), ou outras versões do *Highway Capacity Manual*, possui um apelo ao seu uso por órgãos que gerenciam o tráfego rodoviário brasileiro, como visto em DNIT (2005, 2006). Dessa forma, a metodologia adotada neste trabalho para obter nível de serviço em *RANVs*, de forma semelhante ao HCM, foi baseada nas medidas de desempenho  $d_i$  e *EDTT* e na medida de serviço *ETT*, a partir da geração de modelos de tráfego próprios.

### **3 COLETA DE DADOS DE TRÁFEGO E CARACTERIZAÇÃO DOS VEÍCULOS PESADOS**

Neste capítulo são tratados aspectos referentes a coleta de dados de tráfego em campo que foram utilizados no processo de verificação da necessidade de calibração do Aimsun Next, além da caracterização dos veículos pesados.

#### **3.1 Coleta de dados de tráfego**

A coleta e o tratamento de dados de campo tiveram por objetivo obter um conjunto de dados para serem utilizados no processo de calibração do simulador de tráfego (Aimsun Next) e na validação dos modelos de tráfego propostos para estimar as medidas de serviço. A coleta de dados de campo foi planejada de modo que fosse possível obter uma diversidade de fluxos de tráfego no segmento de entrecruzamento da interseção e em seus segmentos adjacentes. Dessa forma, foram realizadas pesquisas de tráfego em três interseções nas rodovias BR-262/MG, MG-010 e BR-135/MG (Figura 12), a saber:

- BR-262/MG (Interseção de 3 aproximações): pesquisas realizadas no dia 31/11/2020, no km 580 da BR-262/MG, no entroncamento com a BR-354/MG, no período das 8:30 às 16:00 horas, totalizando 30 intervalos de 15 minutos;
- MG-010 (Interseção de 4 aproximações): pesquisas realizadas nos dias 04 e 05/12/2020, no km 75 da MG-010, no entroncamento para o Município de Jaboticatubas, no período das 12:00 às 18:00 horas (04/12/2022) e 06:00 às 14:00 horas (05/12/2022), totalizando 56 intervalos de 15 minutos; e
- BR-135/MG (Interseção de 3 aproximações): pesquisas realizadas no dia 21/10/2021, no km 365 da BR-135/MG, no entroncamento com a Av. Dr. Mário Tourinho, no período das 8:30 às 16:00, totalizando 30 intervalos de 15 minutos.

Figura 12 – Interseções objeto das pesquisas de campo



Conforme demonstrado na Figura 12, as interseções pesquisadas na BR-262/MG e na BR-135/MG possuem 3 aproximações, com 8 movimentos possíveis. E a interseção da MG-010 possui 4 aproximações, com 14 movimentos possíveis.

### 3.1.1 Pesquisas realizadas por câmeras

As filmagens foram realizadas por meio de câmeras (Figura 13), instaladas em solo (presas a árvores, postes ou cercas), que consistem em unidades de coleta de vídeo desenvolvidas especificamente para pesquisas de tráfego.

Figura 13 – Equipamento de filmagem em solo



As pesquisas foram realizadas por meio de vídeo filmagem, com a instalação de quatro câmeras por interseção, sendo uma câmera em cada segmento adjacente a mesma, perpendicular à via e em tangente plena sem interseções próximas, ex. Figura 14 (a) e (b), e as outras duas câmeras foram posicionadas para obter a movimentação de tráfego na interseção (Figura 15 (a) e (b)).

Figura 14 – Pesquisas realizadas nos quilômetros 572 (a) e 583 (b) da BR-262/MG



(a)



(b)

Figura 15 – Pesquisas realizadas na interseção do quilômetro 580 (BR-262/MG) – câmera 1 (a) e 2 (b) e na BR-135/MG (c)



(a)



(b)



(c)

A Figura 16 apresenta a localização das câmeras instaladas em campo, sendo (a) BR-262/MG, (b) MG-010 e (c) BR-135/MG.

Figura 16 – Localização das câmeras dos postos de pesquisas (a) BR-262/MG; (b) MG-010; (c) BR-135/MG



(a)



(b)



(c)

O posto de pesquisa realizado na BR-135/MG foi o único que contou apenas com uma câmera instalada em um segmento adjacente a interseção, devido a presença do início do perímetro urbano da cidade de Montes Claros. Julgou-se que a instalação da câmera em segmento mais próximo a um perímetro urbano poderia interferir no dado obtido.

O processamento das filmagens, realizadas por meio das câmeras, e a tabulação das pesquisas de campo consistiram nos registros individuais dos veículos que trafegaram pelo segmento, tanto nos segmentos adjacentes a interseção, quanto na própria, identificando-os quanto a direção, horário e tipo de veículo. A partir desses dados, foram compiladas as informações referentes aos fluxos de tráfego horários, percentual de caminhões, velocidade desejada dos segmentos adjacentes a interseção e os parâmetros de  $di$  e  $EDTT$ , utilizados na validação do método proposto.

Para obtenção de  $di$  e  $EDTT$  por meio das câmeras, foi realizada uma comparação com os dados obtidos da apuração dos vídeos com a utilização de *drone*. A partir da imagem gerada por um drone com sua câmera perpendicular ao solo, definiu-se pontos de referência de distância conhecida visíveis no *drone* e nas câmeras de solo e efetuou-se diversas medidas de uma mesma corrente de tráfego com as duas metodologias de pesquisa. A comparação entre os resultados obtidos permitiu o ajuste do ponto de referência da câmera de solo para obter as medidas escolhidas, até que os resultados apresentassem erros inferiores a um segundo.

### **3.1.2 Pesquisas realizadas por veículo aéreo**

Foram realizadas coletas de dados na interseção com a utilização de veículo aéreo não tripulado (*drone*), Figura 17, com intuito principalmente de obter dados relacionados a velocidade desejada dos veículos nos segmentos de entrecruzamento e os parâmetros de  $di$  e  $EDTT$ , utilizados na validação do método proposto. O veículo aéreo foi posicionado a altitude definida, com sua câmera perpendicular ao solo, e foram posicionados alvos com distância conhecidas, de forma que fosse possível a obtenção dos dados pretendidos. A acurácia de dados de velocidade obtidos por *drones*, equipados com câmera de filmagem, foi estudada por Barmponakis *et al.* (2017), em que os autores concluíram que os erros não excederam a 1,2 km/h. Para as pesquisas realizadas, foram obtidas as seguintes quantidades de conjuntos de tráfego de 15 minutos: (i) BR-262, 6 conjuntos; (ii) MG-010, 12 conjuntos; (iii) BR-135, 6 conjuntos.

Figura 17 – Imagem obtida por meio de veículo aéreo não tripulado



### 3.2 Modelagem das correntes de tráfego observadas em campo

Modelos microscópicos de simulação de tráfego se tornaram uma ferramenta muito útil para o planejamento, projeto e operação de sistemas de transporte (Cunha *et al.*, 2009). Dessa forma, são capazes de reproduzir, com alto grau de realismo, as características e o comportamento de sistemas de transporte reais (Egami, 2006), assim como produzir grande quantidade de dados sintéticos a um custo bastante inferior se comparado com a obtenção de dados em campo (Washburn *et al.* 2018).

O *software* de simulação escolhido para o desenvolvimento do presente trabalho, o Aimsun Next, é dotado de três submodelos comportamentais principais, *car-following*, *lane changing* e *gap acceptance*. Nesse sentido, a simulação dos veículos é realizada em pequenos intervalos, chamados ciclos de simulação, que variam de 0,1 a 1,5 segundos, em que o comportamento dos veículos na rede é atualizado conforme os modelos comportamentais definidos. Para tanto, a modelagem dos segmentos viários observados no *software* requer a inserção de dados de entrada que definem determinada corrente de tráfego, como geometria viária, demanda e o controle de tráfego.

Dessa forma, no Aimsun Next, o usuário estabelece os valores médio, mínimo, máximo e o desvio padrão para a velocidade desejada, e o *software*, por sua vez, a atribui aleatoriamente a cada veículo que entra na rede. Dessa maneira, a velocidade desejada foi obtida das pesquisas nos segmentos adjacentes e na interseção (segmentos de entrecruzamento) nos locais estudados, considerando os veículos que trafegavam com *headways* maiores que 10 segundos (fora de pelotões). Observa-se que o valor crítico do *headway* estabelecido Washburn *et al.* (2018) é de 2,5 segundos; todavia, foi adotado um valor superior, com o intuito de se obter velocidades desejadas em condição plena de fluxo livre sem a influência de outros veículos na corrente de tráfego. A frequência acumulada da velocidade desejada observada em campo nos segmentos adjacentes a interseção e nos segmentos de entrecruzamento podem ser observadas nas Figura 18 e Figura 19.

Figura 18 – Frequência acumulada de velocidades desejadas nos segmentos adjacentes a interseção

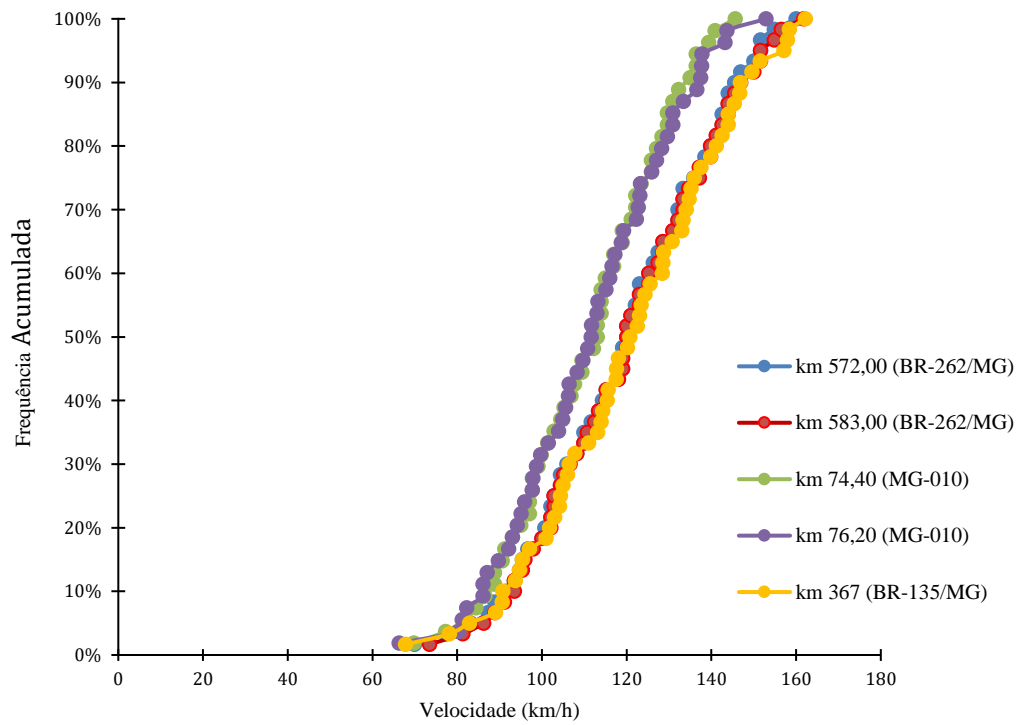
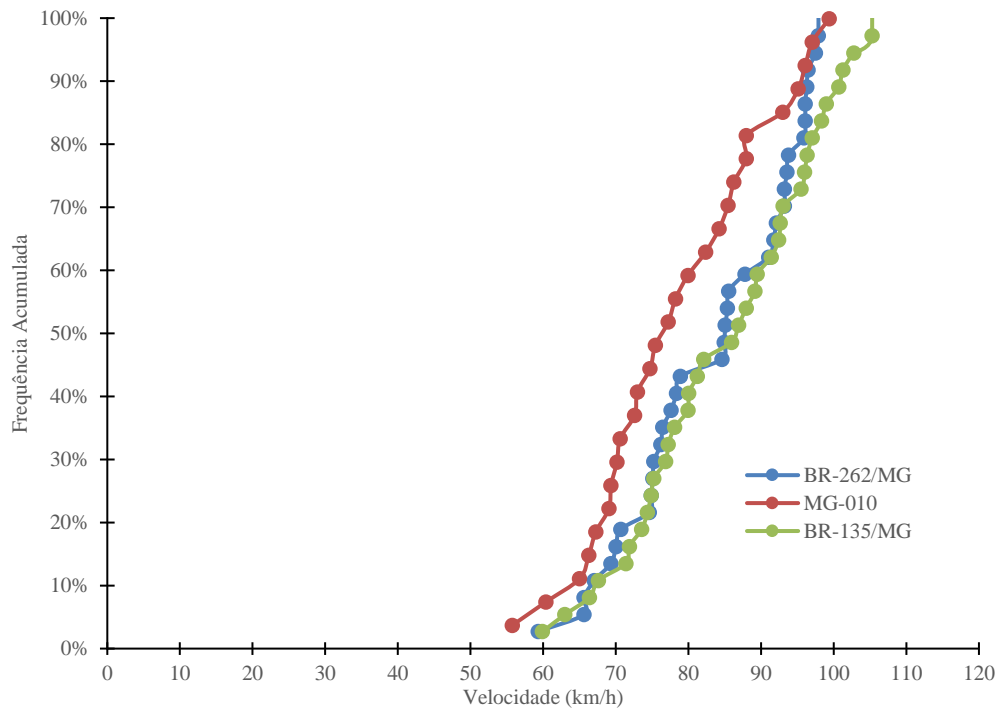


Figura 19 – Frequência acumulada de velocidades desejadas nos entrecruzamentos das interseções



As coletas de dados de demanda dos segmentos viários e dos movimentos da interseção foram realizadas a fim de identificar os volumes de campo para cada sentido de tráfego, além da composição do fluxo veicular e a velocidade desejada, dos segmentos adjacentes e da interseção, conforme resumido na Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12.

Tabela 10 – Fluxos e velocidade desejada observados nos segmentos viários

BR-262/MG							
Localização	Fluxo Sentido Araxá (veic/h)		Fluxo Sentido BH (veic/h)		Velocidade Desejada Média (km/h)		
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Média
km 572,00	183	267	181	280	69,90	160,00	119,72
km 583,00	137	204	141	230	73,47	161,80	120,59
MG-010							
Localização	Fluxo Sentido Serra do Cipó (veic/h)		Fluxo Sentido BH (veic/h)		Velocidade Desejada Média (km/h)		
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Média
km 74,40	40	360	68	208	69,80	145,62	111,15
km 76,20	38	328	67	218	66,31	152,90	111,48
BR-135/MG							
Localização	Fluxo Sentido BR-040/MG (veic/h)		Fluxo Sentido MOC (veic/h)		Velocidade Desejada Média (km/h)		
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Média
km 367,00	204	336	68	572	67,81	162,19	121,07

Destaca-se que, para as três interseções pesquisadas, o fluxo de tráfego relativo aos movimentos de “retorno” na rótula principal apresentou volumes pouco representativos e, portanto, não foram retratados na Tabela 11.

Tabela 11 – Fluxos das interseções

BR-262/MG												
Deslocamentos	Fluxo Sentido BH/Araxá (veic/h)		Fluxo Sentido BH/Patos de Minas (veic/h)		Fluxo Sentido Araxá/BH (veic/h)		Fluxo Sentido Araxá/Patos de Minas (veic/h)		Fluxo Sentido Patos de Minas/BH (veic/h)		Fluxo Sentido Patos de Minas/Araxá (veic/h)	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
km 580,00	122	182	55	81	123	218	8	24	48	85	9	27
BR-135/MG												
Deslocamentos	Fluxo Sentido BR-040/MOC (veic/h)		Fluxo Sentido BR-040/Contorno (veic/h)		Fluxo Sentido MOC/BR-040 (veic/h)		Fluxo Sentido MOC/Contorno (veic/h)		Fluxo Sentido Contorno/BR-040 (veic/h)		Fluxo Sentido Contorno/MOC (veic/h)	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
km 75,00	68	508	8	76	168	300	72	204	8	76	56	200
MG-010												
Deslocamentos	Fluxo Sentido BH/S. Cipó (veic/h)		Fluxo Sentido BH/Z. Rural (veic/h)		Fluxo Sentido BH/Jabotic. (veic/h)		Fluxo Sentido S. Cipó/BH (veic/h)		Fluxo Sentido S. Cipó/Z. Rural (veic/h)		Fluxo Sentido S. Cipó/Jabotic. (veic/h)	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
km 365,00	36	340		52		24	52	184		16		16
Deslocamentos	Fluxo Sentido Z. Rural/BH (veic/h)		Fluxo Sentido Z. Rural/S. Cipó (veic/h)		Fluxo Sentido Z. Rural/Jabotic. (veic/h)		Fluxo Sentido Jabotic./BH (veic/h)		Fluxo Sentido Jabotic./S. Cipó (veic/h)		Fluxo Sentido Jabotic./Z. Rural (veic/h)	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
km 580,00	1	56		8		8				32		

Tabela 12 – Velocidades desejadas observadas nos segmentos de entrecruzamentos das interseções

Localização	Min.	Máx.	Média	Desvio
BR-262/MG	59,32	107,34	83,81	11,69
MG-010	55,76	99,39	78,52	11,79
BR-135/MG	59,91	108,41	85,51	12,62

Os fluxos coletados em campo apresentaram volumes de tráfego abaixo da capacidade da via, não superando 572 veic/h. De forma geral, os volumes máximos das vias pesquisadas ficaram entre 180 veic/h e 350 veic/h. Os resultados obtidos apresentaram ainda um percentual de veículos pesados médio da ordem de 45% para a BR-262/MG, 10% para a MG-010 e 41% para a BR-135/MG.

### 3.3 Caracterização dos veículos pesados

Para simulação dos fluxos no Aimsun Next, é imprescindível que sejam observados e incluídos dados referentes às características de veículos de carga, tais como (i) relação peso-potência; (ii) relação massa-área frontal; (iii) área frontal; (iv) massa. O modelo utilizado pelo Aimsun Next para considerar o efeito de trafegar em aclives e declives é o mesmo usado no simulador TWOPAS (TSS, 2019).

No presente trabalho, foi utilizada a caracterização de veículos de carga realizada em Silva (2019), em que foi coletada uma amostra de 30.839 veículos na rodovia BR-040, no Estado de Minas Gerais, em dez postos de balanças móveis, no ano de 2017. Dessa forma, para a caracterização da frota de veículos pesados, foram consideradas quatro categorias (Tabela 13), de acordo com a quantidade de eixos veiculares: caminhões leves, médios, pesados e extrapesados, conforme definido em Silva (2019).

Tabela 13 – Amostragem de veículos pesados (adaptado de Silva, 2019)

km	Sentido	Data da Coleta		Tamanho da Amostra
		Início	Fim	
47	BSB	02/05/2017	08/05/2017	3811
86	BSB	09/05/2017	15/05/2017	2749
145	BSB	02/05/2017	08/05/2017	1684
284	BH	09/05/2017	15/05/2017	2478
422	BH	17/05/2017	23/05/2017	3170
422	BSB	17/05/2017	23/05/2017	3803
554	BH	24/05/2017	30/05/2017	3812
607	BH	04/05/2017	09/05/2017	3812
607	BSB	10/05/2017	13/05/2017	3812
767	BH	04/05/2017	10/05/2017	1708

Os dados de potência veiculares foram obtidos em Silva (2019) por meio do registro das marcas e modelos de uma amostra de 450 caminhões, registrados em uma balança fixa situada em um dos pontos de maior tráfego veicular da rodovia BR-040/MG, que possui características similares as BR-262/MG e BR-135/MG, pesquisadas no presente trabalho. Posteriormente, foi realizado o levantamento das características veiculares nos catálogos de fabricantes para cada categoria considerada, conforme apresentado na Tabela 14. Cada categoria de caminhões foi determinada considerando-se o 85º percentil da distribuição de massa potência dos caminhões.

Tabela 14 – Caracterização das categorias dos veículos pesados (adaptado de Silva, 2019)

	Leves	Médios	Pesados	Extrapesados
Quantidade de Eixos	2	3 a 4	5 a 6	7 ou mais
Caminhões	2C	3C, 2S1, 2S2, 2C2, 2I2, 3S1, 4C, 4CD, 4DT e 2C3	2S3, 2I3, 3S3, 2I1, 3C2, 12, 3S2, 2R4, 3C3, 3D3L, 3I1, 3I3, 3S3 e 4R2	3T4, 3D4, 3Q4 e 4R3
Comprimento (m)	8,13	10,35	19,5	19,5
Largura (m)	2,18	2,43	2,48	2,58
Altura (m)	2,48	2,7	2,92	3,088
Área Frontal (m <sup>2</sup> )	5,39	6,56	7,2	7,96
Massa (kg)	Min.	3740	8380	17550
	Máx.	15680	31791	53427
	Med.	9113	18190	38944
	Desvio	3418	6100	10466
Relação massa/potência (kg/cv)	Min.	32	43	62
	Máx.	135	462	189
	Med.	58	68	101
	Desvio	22	23	27
Relação massa/área frontal (km/m <sup>2</sup> )	Min.	694	1277	2438
	Máx.	2909	4846	7420
	Med.	1691	2773	5409
	Desvio	634	1277	2438

## 4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS COMPORTAMENTAIS DO AIMSUN NEXT

Para verificar se o Aimsun Next seria capaz de simular cenários que refletissem as condições esperadas de interseções em rodovias rurais de pista simples brasileiras, conforme objetivo específico traçado neste trabalho, foi realizada uma análise de sensibilidade dos parâmetros comportamentais do simulador. Nessa etapa, os parâmetros mais relevantes são os que exercem mais influência sobre as medidas de desempenho escolhidas. Dessa forma, foram pré-selecionados 58 parâmetros relacionados aos modelos comportamentais de *car-following*, *lane changing* e *gap acceptance*, além daqueles relacionados às características veiculares de automóveis e de veículos pesados.

Posto isso, foi utilizado método análogo ao proposto em Lacerda (2016), em que, para determinar os parâmetros mais relevantes, foram realizadas simulações de diferentes correntes de tráfego de forma comparativa entre os resultados obtidos. Os parâmetros de calibração são inseridos inicialmente com seu valor *default* e, posteriormente, com os valores mínimo e máximo dos seus intervalos de busca estabelecidos.

Para realização da análise de sensibilidade dos parâmetros comportamentais do Aimsun Next, foram utilizados 40 intervalos de 15 minutos obtidas nos postos de pesquisas realizados na BR-262/MG e BR-135/MG, uma vez que eles possuem maior amplitude de volumes de tráfego, dentro das pesquisas realizadas. O posto de pesquisa realizado na MG-010 não foi utilizado na análise de sensibilidade em função dos baixos volumes de tráfego observados, já contemplados em outros postos de pesquisas, sendo utilizado apenas a etapa de validação do método proposto.

Para realizar a análise de sensibilidade, foram consideradas duas medidas de desempenho, o atraso médio e a fila média, usualmente utilizadas para verificação dos níveis de serviço de interseções (Autey *et al.*, 2011 e Hughes *et al.*, 2010). Para cada um dos intervalos selecionados (40), foram efetuadas 10 replicações em cada simulação, com diferentes sementes de números aleatórios. Em seguida, foram calculadas as diferenças entre as medidas de desempenho escolhidas, obtidas das simulações, separadamente para as junções de ramos da interseção e para a via principal, de cada corrente de tráfego simulada, com valores mínimo e

máximo de cada parâmetro do simulador, em relação aos resultados obtidos com os parâmetros *default*. A partir das diferenças obtidas para cada parâmetro analisado, foi realizado um teste t-student para amostras dependentes (pareadas), com um nível de significância igual a 5%. Nesse sentido, foram definidas as seguintes hipóteses:

- H0: as diferenças entre as medidas de desempenho são iguais a zero;
- H1: as diferenças entre as medidas de desempenho não são iguais a zero.

Os resultados do teste para os parâmetros analisados como significativos e para ambas as medidas de desempenho constam nas Tabela 15 e Tabela 16, para as correntes de Tráfego da BR-262/MG, e nas Tabela 17 e Tabela 18, para as correntes de Tráfego da BR-135/MG. Os parâmetros significativos são apenas aqueles que obtiveram intervalos de confiança diferentes de zero, indicando, assim, que o parâmetro é relevante, ou seja, altera significativamente os resultados da simulação. Caso os intervalos contenham o zero ou sejam muito pequenos, a influência do parâmetro na medida de desempenho é considerada pouco significativa (Lacerda, 2016).

Tabela 15 – Análise estatística dos parâmetros calibráveis (Atraso Médio – BR-262/MG)

<i>Análise Estatística – Medida de desempenho = ATRASO</i>										
Parâmetro	Média	Desvio	N	alfa	t-crit	teste t	E	IC mín	IC máx	Rejeita H0?
CRTOLBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
CRTOLCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
CRTOLTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
DLTRSHLD	0,1	0,2	80	0,01	2,640	2,356	0,1	0,0	0,1	NÃO
DLULTRSPRM	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
DLULTRSPRM	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
EQVEHBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
EQVEHCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
EQVEHTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
GACCEPMBUS	0,0	0,2	80	0,01	2,640	-2,578	0,1	-0,1	0,0	NÃO
GACCEPMCAR	0,0	0,4	80	0,01	2,640	0,825	0,1	-0,1	0,2	NÃO
GACCEPMTR	0,1	0,5	80	0,01	2,640	2,157	0,1	0,0	0,3	NÃO
IMPLCBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
IMPLCCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
IMPLCTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
MAXACMBUS	-0,1	0,2	80	0,01	2,640	-5,088	0,1	-0,2	-0,1	NÃO
MAXACMCAR	0,1	0,5	80	0,01	2,640	1,845	0,1	0,0	0,2	NÃO
MAXACMTR	-0,7	1,0	80	0,01	2,640	-6,051	0,3	-1,0	-0,4	NÃO
MAXCGWTMBUS	0,0	0,2	80	0,01	2,640	1,940	0,1	0,0	0,1	NÃO
MAXCGWTMCAR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-0,724	0,0	0,0	0,0	NÃO
MAXCGWTMTR	0,1	0,7	80	0,01	2,640	1,238	0,2	-0,1	0,3	NÃO
MAXD	0,0	0,1	80	0,01	2,640	1,243	0,0	0,0	0,0	NÃO
MAXDECMBUS	-0,1	0,2	80	0,01	2,640	-3,640	0,1	-0,1	0,0	NÃO
MAXDECMCAR	0,1	0,5	80	0,01	2,640	1,141	0,2	-0,1	0,2	NÃO
MAXDECMTR	0,0	0,4	80	0,01	2,640	-0,974	0,1	-0,2	0,1	NÃO
MAXSPD	0,0	0,1	80	0,01	2,640	1,557	0,0	0,0	0,0	NÃO
MAXSPDR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-1,051	0,0	0,0	0,0	NÃO
MINCHEADMBUS	0,0	0,1	80	0,01	2,640	0,467	0,0	0,0	0,0	NÃO
MINCHEADMTR	0,4	0,9	80	0,01	2,640	3,707	0,3	0,1	0,7	SIM
MINCHEADMTR	0,0	0,3	80	0,01	2,640	-0,687	0,1	-0,1	0,1	NÃO
MINDVEHMBUS	0,0	0,3	80	0,01	2,640	1,302	0,1	0,0	0,1	NÃO
MINDVEHMCAR	0,1	0,4	80	0,01	2,640	1,163	0,1	-0,1	0,2	NÃO
MINDVEHMTR	0,1	0,4	80	0,01	2,640	2,297	0,1	0,0	0,2	NÃO
NDECMBUS	0,1	0,4	80	0,01	2,640	1,316	0,1	-0,1	0,2	NÃO
NDECMCAR	1,5	1,8	80	0,01	2,640	7,340	0,5	1,0	2,0	SIM
NDECMTR	-0,2	0,6	80	0,01	2,640	-3,556	0,2	-0,4	-0,1	NÃO
NULTRSPRM	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,463	0,0	0,0	0,0	NÃO
NVEH	0,0	0,1	80	0,01	2,640	1,482	0,0	0,0	0,0	NÃO
POVER	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-1,235	0,0	0,0	0,0	NÃO
PREC	0,0	0,1	80	0,01	2,640	3,125	0,0	0,0	0,0	SIM
QENTSP	0,0	0,0	80	0,01	2,640	1,086	0,0	0,0	0,0	NÃO
QEXITSP	0,0	0,1	80	0,01	2,640	0,343	0,0	0,0	0,0	NÃO
RNKTRSHLD	0,0	0,2	80	0,01	2,640	0,900	0,0	0,0	0,1	NÃO
SENSFACTMBUS	0,0	0,2	80	0,01	2,640	-0,121	0,1	-0,1	0,1	NÃO
SENSFACTMCAR	0,1	0,3	80	0,01	2,640	2,342	0,1	0,0	0,1	NÃO
SENSFACTMTR	0,0	0,2	80	0,01	2,640	-0,030	0,0	0,0	0,0	NÃO
SENSIMPLCBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
SENSIMPLCCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
SENSIMPLCTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
SNSTVTFCTRDCD	-0,3	0,8	80	0,01	2,640	-3,528	0,2	-0,6	-0,1	NÃO
SOVERLBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
SOVERLCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	1,018	0,0	0,0	0,0	NÃO
SOVERLTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
SPDACC4OVTK	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-0,368	0,0	0,0	0,0	NÃO
SPDIFMAX	0,2	0,4	80	0,01	2,640	4,653	0,1	0,1	0,3	SIM
SPDIFMIN	0,0	0,2	80	0,01	2,640	2,187	0,1	0,0	0,1	NÃO
SPDTRSHLD4OVTK	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,687	0,0	0,0	0,0	NÃO
TTRSHLD	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO



Tabela 16 – Análise estatística dos parâmetros calibráveis (Fila média – BR-262/MG)

<i>Análise Estatística – Medida de desempenho = FILA MÉDIA</i>										
<b>Parâmetro</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>	<b>N</b>	<b>alfa</b>	<b>t-crit</b>	<b>teste t</b>	<b>E</b>	<b>IC mín</b>	<b>IC máx</b>	<b>Rejeita H0?</b>
CRTOLBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
CRTOLCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
CRTOLTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
DLTRSHLD	0,0	0,4	80	0,01	2,640	1,055	0,1	-0,1	0,2	NÃO
DLULTRSPRM	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
DLULTRSPRM	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
EQVEHBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
EQVEHCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
EQVEHTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
GACCEPMBUS	-0,1	0,3	80	0,01	2,640	-2,171	0,1	-0,2	0,0	NÃO
GACCEPCAR	0,0	0,4	80	0,01	2,640	1,074	0,1	-0,1	0,2	NÃO
GACCEPMTR	0,0	0,7	80	0,01	2,640	0,652	0,2	-0,2	0,3	NÃO
IMPLCBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
IMPLCCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
IMPLCTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
MAXACMBUS	-0,1	0,4	80	0,01	2,640	-2,184	0,1	-0,2	0,0	NÃO
MAXACMCAR	0,1	0,5	80	0,01	2,640	1,296	0,1	-0,1	0,2	NÃO
MAXACMTR	-0,2	0,5	80	0,01	2,640	-3,350	0,1	-0,3	0,0	NÃO
MAXCGWTMBUS	0,1	0,4	80	0,01	2,640	1,571	0,1	0,0	0,2	NÃO
MAXCGWTMCAR	0,0	0,2	80	0,01	2,640	0,420	0,0	0,0	0,1	NÃO
MAXCGWTMTR	0,1	0,5	80	0,01	2,640	1,818	0,2	0,0	0,3	NÃO
MAXD	0,0	0,3	80	0,01	2,640	1,085	0,1	-0,1	0,1	NÃO
MAXDECMBUS	0,0	0,5	80	0,01	2,640	-0,023	0,1	-0,1	0,1	NÃO
MAXDECMCAR	0,6	0,9	80	0,01	2,640	5,885	0,3	0,3	0,8	SIM
MAXDECMTR	0,1	0,4	80	0,01	2,640	3,348	0,1	0,0	0,3	SIM
MAXSPD	0,0	0,3	80	0,01	2,640	1,021	0,1	-0,1	0,1	NÃO
MAXSPDR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-0,341	0,0	0,0	0,0	NÃO
MINCHEADMBUS	0,0	0,3	80	0,01	2,640	-0,679	0,1	-0,1	0,1	NÃO
MINCHEADMTR	0,2	0,6	80	0,01	2,640	2,485	0,2	0,0	0,4	NÃO
MINCHEADMTR	0,1	0,9	80	0,01	2,640	1,227	0,3	-0,1	0,4	NÃO
MINDVEHMBUS	0,0	0,4	80	0,01	2,640	-0,398	0,1	-0,1	0,1	NÃO
MINDVEHMCAR	0,0	0,6	80	0,01	2,640	-0,018	0,2	-0,2	0,2	NÃO
MINDVEHMTR	0,0	0,4	80	0,01	2,640	0,343	0,1	-0,1	0,1	NÃO
NDECMBUS	0,1	0,4	80	0,01	2,640	1,226	0,1	-0,1	0,2	NÃO
NDECMCAR	0,1	1,0	80	0,01	2,640	1,112	0,3	-0,2	0,4	NÃO
NDECMTR	-0,1	0,4	80	0,01	2,640	-2,924	0,1	-0,3	0,0	NÃO
NULTRSPRM	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-0,424	0,0	0,0	0,0	NÃO
NVEH	0,0	0,2	80	0,01	2,640	-0,351	0,1	-0,1	0,1	NÃO
POVER	0,0	0,3	80	0,01	2,640	-1,038	0,1	-0,1	0,1	NÃO
PREC	0,1	0,2	80	0,01	2,640	3,040	0,1	0,0	0,2	SIM
QENTSP	0,2	0,3	80	0,01	2,640	5,296	0,1	0,1	0,2	SIM
QEXITSP	-0,1	0,3	80	0,01	2,640	-3,751	0,1	-0,2	0,0	NÃO
RNKTRSHLD	0,1	0,4	80	0,01	2,640	1,648	0,1	0,0	0,2	NÃO
SENSFACTMBUS	0,0	0,5	80	0,01	2,640	-0,568	0,2	-0,2	0,1	NÃO
SENSFACTMCAR	-0,1	0,4	80	0,01	2,640	-1,706	0,1	-0,2	0,0	NÃO
SENSFACTMTR	0,0	0,3	80	0,01	2,640	0,248	0,1	-0,1	0,1	NÃO
SENSIMPLCBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
SENSIMPLCCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
SENSIMPLCTR	0,1	0,4	80	0,01	2,640	1,175	0,1	-0,1	0,2	NÃO
SNSTVTFCTRDCD	0,1	0,4	80	0,01	2,640	1,180	0,1	-0,1	0,2	NÃO
SOVERLBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
SOVERLCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
SOVERLTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-1,000	0,0	0,0	0,0	NÃO
SPDACC4OVTK	0,0	0,1	80	0,01	2,640	0,321	0,0	0,0	0,0	NÃO
SPDIFMAX	0,0	0,4	80	0,01	2,640	-0,804	0,1	-0,2	0,1	NÃO

SPDIFMIN	0,0	0,2	80	0,01	2,640	0,484	0,0	0,0	0,1	NÃO
SPDTRSHLD4OVTK	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-0,445	0,0	0,0	0,0	NÃO
TTRSHLD	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,000	0,0	0,0	0,0	NÃO

Tabela 17 - Análise estatística dos parâmetros calibráveis (Atraso Médio – BR-135/MG)

<i>Análise Estatística – Medida de desempenho = ATRASO</i>										
Parâmetro	Média	Desvio	N	alfa	t-crit	teste t	E	IC mín	IC máx	Rejeita H0?
CRTOLBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
CRTOLCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
CRTOLTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
DLTRSHLD	0,0	1,2	80	0,01	2,640	0,202	0,4	-0,3	0,4	NÃO
DLULTRSPRM	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
DLULTRSPRM	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
EQVEHBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
EQVEHCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
EQVEHTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
GACCEPMBUS	0,2	2,1	80	0,01	2,640	0,860	0,6	-0,4	0,8	NÃO
GACCEPMCAR	-0,4	1,3	80	0,01	2,640	-2,721	0,4	-0,8	0,0	NÃO
GACCEPMTR	-0,1	2,7	80	0,01	2,640	-0,249	0,8	-0,9	0,7	NÃO
IMPLCBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
IMPLCCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
IMPLCTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
MAXACMBUS	0,0	1,6	80	0,01	2,640	-0,130	0,5	-0,5	0,4	NÃO
MAXACMCAR	0,6	2,2	80	0,01	2,640	2,324	0,6	-0,1	1,2	NÃO
MAXACMTR	-1,6	2,2	80	0,01	2,640	-6,445	0,7	-2,3	-0,9	NÃO
MAXCGWTMBUS	0,0	0,6	80	0,01	2,640	-0,228	0,2	-0,2	0,1	NÃO
MAXCGWTMCAR	0,1	0,6	80	0,01	2,640	1,166	0,2	-0,1	0,3	NÃO
MAXCGWTMTR	0,2	0,9	80	0,01	2,640	1,724	0,3	-0,1	0,5	NÃO
MAXD	0,0	0,9	80	0,01	2,640	0,421	0,3	-0,2	0,3	NÃO
MAXDECMBUS	0,0	1,5	80	0,01	2,640	0,022	0,4	-0,4	0,4	NÃO
MAXDECMCAR	-0,3	1,6	80	0,01	2,640	-1,853	0,5	-0,8	0,1	NÃO
MAXDECMTR	0,8	2,3	80	0,01	2,640	3,268	0,7	0,2	1,5	SIM
MAXSPD	0,0	0,8	80	0,01	2,640	0,556	0,2	-0,2	0,3	NÃO
MAXSPDR	-0,1	0,7	80	0,01	2,640	-1,936	0,2	-0,3	0,1	NÃO
MINCHEADMBUS	0,0	0,9	80	0,01	2,640	0,065	0,3	-0,3	0,3	NÃO
MINCHEADMCAR	0,4	2,1	80	0,01	2,640	1,744	0,6	-0,2	1,0	NÃO
MINCHEADMTR	-0,6	1,8	80	0,01	2,640	-2,709	0,5	-1,1	0,0	NÃO
MINDVEHMBUS	0,3	1,8	80	0,01	2,640	1,446	0,5	-0,2	0,8	NÃO
MINDVEHMCAR	0,0	2,3	80	0,01	2,640	0,030	0,7	-0,7	0,7	NÃO
MINDVEHMTR	-0,3	2,1	80	0,01	2,640	-1,207	0,6	-0,9	0,3	NÃO
NDECMBUS	0,4	2,1	80	0,01	2,640	1,713	0,6	-0,2	1,0	NÃO
NDECMCAR	0,3	2,2	80	0,01	2,640	1,112	0,6	-0,4	0,9	NÃO
NDECMTR	0,7	3,7	80	0,01	2,640	1,698	1,1	-0,4	1,8	NÃO
NULTRSPRM	-0,1	1,1	80	0,01	2,640	-1,117	0,3	-0,5	0,2	NÃO
NVEH	0,2	1,1	80	0,01	2,640	1,852	0,3	-0,1	0,5	NÃO
POVER	0,1	0,9	80	0,01	2,640	0,508	0,3	-0,2	0,3	NÃO
PREC	-0,1	0,9	80	0,01	2,640	-1,261	0,3	-0,4	0,1	NÃO
QENTSP	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-3,175	0,0	-0,1	0,0	NÃO
QEXITSP	0,0	0,4	80	0,01	2,640	0,698	0,1	-0,1	0,1	NÃO
RNKTRSHLD	-0,2	1,5	80	0,01	2,640	-1,483	0,4	-0,7	0,2	NÃO
SENSFACTMBUS	0,2	2,1	80	0,01	2,640	0,993	0,6	-0,4	0,8	NÃO
SENSFACTMCAR	-0,5	1,5	80	0,01	2,640	-2,856	0,4	-0,9	0,0	NÃO
SENSFACTMTR	-0,1	1,3	80	0,01	2,640	-0,785	0,4	-0,5	0,3	NÃO
SENSIMPLCBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
SENSIMPLCCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
SENSIMPLCTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
SNSTVTFCTRDCD	-0,5	1,7	80	0,01	2,640	-2,654	0,5	-1,0	0,0	NÃO
SOVERLBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
SOVERLCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-1,048	0,0	0,0	0,0	-

SOVERLTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-1,304	0,0	0,0	0,0	-
SPDACC4OVTK	-0,2	1,1	80	0,01	2,640	-1,387	0,3	-0,5	0,1	NÃO
SPDIFMAX	0,2	2,3	80	0,01	2,640	0,786	0,7	-0,5	0,9	NÃO
SPDIFMIN	-0,7	1,7	80	0,01	2,640	-3,663	0,5	-1,2	-0,2	NÃO
SPDTRSHLD4OVTK	-0,2	0,9	80	0,01	2,640	-1,790	0,3	-0,5	0,1	NÃO
TTRSHLD	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-

Tabela 18 - Análise estatística dos parâmetros calibráveis (Fila média – BR-262/MG)

<i>Análise Estatística – Medida de desempenho = FILA MÉDIA</i>										
Parâmetro	Média	Desvio	N	alfa	t-crit	teste t	E	IC mín	IC máx	Rejeita H0?
CRTOLBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
CRTOLCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
CRTOLTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
DLTRSHLD	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-1,050	0,0	0,0	0,0	NÃO
DLULTRSPRM	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
DLULTRSPRM	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
EQVEHBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
EQVEHCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
EQVEHTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
GACCEPMBUS	0,0	0,1	80	0,01	2,640	0,480	0,0	0,0	0,0	NÃO
GACCEPMCAR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-1,511	0,0	0,0	0,0	NÃO
GACCEPMTR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	0,063	0,0	0,0	0,0	NÃO
IMPLCBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
IMPLCCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
IMPLCTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
MAXACMBUS	0,0	0,1	80	0,01	2,640	0,606	0,0	0,0	0,0	NÃO
MAXACMCAR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	1,085	0,0	0,0	0,0	NÃO
MAXACMTR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-4,501	0,0	-0,1	0,0	NÃO
MAXCGWTMBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-0,183	0,0	0,0	0,0	NÃO
MAXCGWTMCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	1,481	0,0	0,0	0,0	NÃO
MAXCGWTMTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-0,335	0,0	0,0	0,0	NÃO
MAXD	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,769	0,0	0,0	0,0	NÃO
MAXDECMBUS	0,0	0,1	80	0,01	2,640	0,766	0,0	0,0	0,0	NÃO
MAXDECMCAR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-0,975	0,0	0,0	0,0	NÃO
MAXDECMTR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	2,848	0,0	0,0	0,1	SIM
MAXSPD	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,099	0,0	0,0	0,0	NÃO
MAXSPDR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-2,911	0,0	0,0	0,0	NÃO
MINCHEADMBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,130	0,0	0,0	0,0	NÃO
MINCHEADMCAR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	0,756	0,0	0,0	0,0	NÃO
MINCHEADMTR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-1,890	0,0	-0,1	0,0	NÃO
MINDVEHMBUS	0,0	0,1	80	0,01	2,640	1,844	0,0	0,0	0,0	NÃO
MINDVEHMCAR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-0,149	0,0	0,0	0,0	NÃO
MINDVEHMTR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-1,421	0,0	0,0	0,0	NÃO
NDECMBUS	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-0,645	0,0	0,0	0,0	NÃO
NDECMCAR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-2,054	0,0	-0,1	0,0	NÃO
NDECMTR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-1,057	0,0	0,0	0,0	NÃO
NULTRSPRM	0,0	0,0	80	0,01	2,640	0,139	0,0	0,0	0,0	NÃO
NVEH	0,0	0,1	80	0,01	2,640	1,767	0,0	0,0	0,0	NÃO
POVER	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-0,462	0,0	0,0	0,0	NÃO
PREC	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-1,210	0,0	0,0	0,0	NÃO
QENTSP	0,0	0,0	80	0,01	2,640	6,894	0,0	0,0	0,0	SIM
QEXITSP	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-5,966	0,0	0,0	0,0	NÃO
RNKTRSHLD	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-0,925	0,0	0,0	0,0	NÃO
SENSFACTMBUS	0,1	0,4	80	0,01	2,640	1,589	0,1	-0,1	0,2	NÃO
SENSFACTMCAR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-1,658	0,0	0,0	0,0	NÃO
SENSFACTMTR	0,0	0,1	80	0,01	2,640	1,741	0,0	0,0	0,1	NÃO
SENSIMPLCBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
SENSIMPLCCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-

SENSIMPLCTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
SNSTVTFCRDCD	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-1,525	0,0	0,0	0,0	NÃO
SOVERLBUS	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
SOVERLCAR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-1,368	0,0	0,0	0,0	NÃO
SOVERLTR	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-
SPDACC4OVTK	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-1,244	0,0	0,0	0,0	NÃO
SPDIFMAX	0,0	0,1	80	0,01	2,640	1,585	0,0	0,0	0,1	NÃO
SPDIFMIN	0,0	0,1	80	0,01	2,640	-0,492	0,0	0,0	0,0	NÃO
SPDTRSHLD4OVTK	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-1,142	0,0	0,0	0,0	NÃO
TTRSHLD	0,0	0,0	80	0,01	2,640	-	0,0	0,0	0,0	-

Na análise procedida, 51 parâmetros, dos 58 analisados, não alteraram os resultados obtidos em nenhuma das duas medidas de desempenho consideradas. Para a medida de desempenho “atraso”, os parâmetros que demonstraram alguma alteração foram *MAXDECMTR*, *MINCHEADMCAR*, *NDECMCAR*, *PREC* e *SPDIFMAX*, e para “fila média” os parâmetros foram *MAXDECMCAR*, *MAXDECMTR*, *PREC* e *QENTSP*. Todavia, esses parâmetros apresentaram intervalo de confiança muito pequeno, o que indica baixa relevância prática.

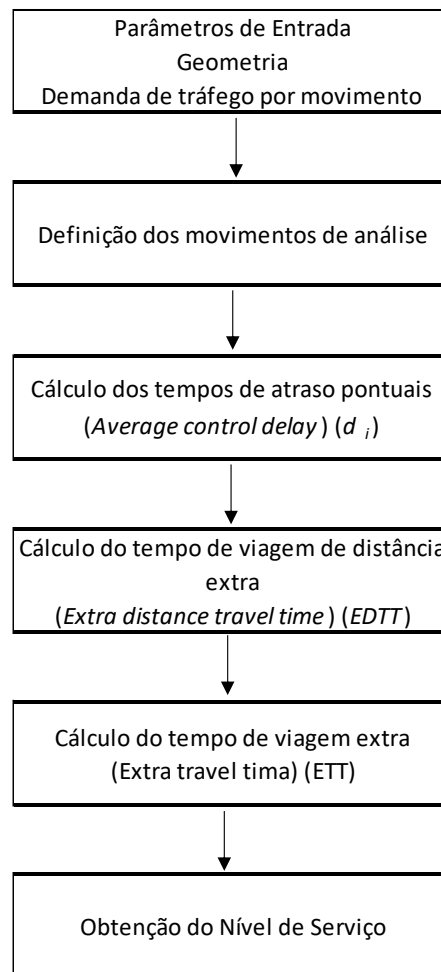
A expectativa inicial do presente trabalho apontava para a necessidade de calibração de algum parâmetro comportamental do simulador, como observado em Silva *et al.* (2022) e Bessa e Setti (2018) Todavia, na literatura, há trabalhos (Mohamed *et al.*, 2020; El Esawey e Sayed, 2011; Autey *et al.*, 2011; Hughes *et al.*, 2010 e Bared e Kaiser, 2002) que não utilizaram dados empíricos e, por consequência, não efetuaram a calibração dos simuladores utilizados, apesar de não ficar evidente nos trabalhos o motivo dessa escolha. Dessa forma, para realização de experimentos de simulações em interseções RANV, não foram obtidos elementos que indicassem ser necessário a calibração dos parâmetros comportamentais do Aimsun Next. Uma hipótese para que isso tenha ocorrido é a inserção, no simulador, das velocidades desejadas e das características dos veículos pesados, que possuem grande influência nos resultados gerados pelo *software*. No Apêndice B, é possível verificar os significados das siglas dos parâmetros comportamentais utilizados na análise de sensibilidade do Aimsun Next.

## 5 MÉTODO PROPOSTO

O método proposto no presente trabalho para obtenção de nível de serviço em *RANV* baseia-se nos atrasos decorrentes das movimentações de maior conflito de tráfego referentes ao giro a esquerda, realizado a partir da via secundária ou a partir da via principal, e da troca direta entre as vias secundárias, no caso de interseções com quatro aproximações. Tal definição assume que os movimentos diretos do eixo da rodovia não possuem atraso experimentado significativo (TRB, 2022; El Esawey e Sayed, 2013), assim como as movimentações de giro a direita, a partir da via secundária.

Para tanto, foram utilizadas as medidas de desempenho “atraso médio” ( $di$ ), para as junções dos ramos da interseção, e “tempo de viagem de distância extra” ( $EDTT$ ), para os segmentos de entrecruzamento, para obter a medida de serviço “tempo de viagem experimentado” ( $ETT$ ) para avaliação do nível de serviço, conforme descrito em TRB (2022), para interseções alternativas. A Figura 20 sintetiza as etapas do método proposto, que consiste em, de acordo com as condições geométricas e de tráfego e dos fluxos nos movimentos da interseção, calcular  $di$  e  $EDTT_i$  e, conseqüentemente, o  $ETT$ . Por fim, o nível de serviço é determinado de acordo com a Tabela 9.

Figura 20 - Etapas do Método Proposto



Os conceitos das medidas de desempenho e de serviço, apresentados anteriormente, coadunam com as necessidades de análise da *RANV*, em que os atrasos pontuais das junções não representam todo o atraso experimentado pelo usuário da interseção. Dessa forma, foram desenvolvidos modelos de tráfego a partir de cenários hipotéticos simulados no Aimsun Next e validados com os dados coletados em campo. Além disso, o HCM possui um grande apelo ao seu uso por órgãos que gerenciam o tráfego rodoviário brasileiro, como visto em DNIT (2005, 2006).

As formulações matemáticas para obtenção de  $d_i$  e *EDTT* presentes em TRB (2022) não foram utilizadas, uma vez que, nesta pesquisa, foi proposta a geração de modelos próprios para obtenção dessas medidas de desempenho. Por exemplo, o cálculo do *EDTT*, segundo o HCM, não leva em conta o conflito entre os volumes de tráfego da via principal e secundária,

não considerando, assim, os conflitos existentes sob correntes de tráfego de diferentes magnitudes, algo que foi avaliado nesta pesquisa.

A partir dos resultados obtidos das simulações de tráfego, foram realizadas análises de correlação dos parâmetros geométricos e de tráfego com as medidas de desempenho escolhidas. Com as correlações estabelecidas, foram gerados os modelos de tráfego entre as variáveis dependentes ( $d_i$  e  $EDTT$ ) e independentes (parâmetros geométricos e de tráfego).

### **5.1 Geração dos dados sintéticos**

A produção de dados sintéticos é imprescindível para o desenvolvimento de relações de tráfego e geração de modelos e coeficientes relacionados a diferentes condições de geometria e fluxo. Dessa maneira, assim como realizado em El Esawey e Sayed (2011) e Shahi e Choupani (2009), foi realizada uma série de experimentos que forneceram elementos suficientes para avaliar o impacto das características geométricas e das condições de fluxo nas medidas de desempenho escolhidas.

Os experimentos de simulação foram realizados a partir das variáveis informadas na Tabela 3, estabelecidas a partir da revisão bibliográfica realizada e de observações em campo. As variáveis são o comprimento do entrecruzamento, a velocidade de fluxo livre, o fluxo direcional da via principal, a razão do volume de veículos da via principal e da via secundária, a porcentagem de veículos pesados e a distribuição de veículos convergindo à esquerda ou à direita a partir da via principal. Nenhum dos estudos apresentados na revisão bibliográfica considerou o alinhamento vertical da via principal nos experimentos, nem apresentou justificativa para não consideração desses parâmetros. Neste estudo, esse parâmetro foi incluído com o intuito de avaliar a correlação com as medidas de desempenho estabelecidas para, então, definir se seriam incluídas nos modelos propostos. Nos experimentos com o Aimsun Next, foram realizadas 1.166.400 simulações, fruto das combinações das variáveis mostradas na Tabela 19, com três replicações em cada simulação, com diferentes sementes de números aleatórios.

Tabela 19 - Resumo dos parâmetros a serem utilizados nos experimentos

<b>Variável</b>	<b>Valores</b>
Comprimento do entrecruzamento (m)	35; 45; 55; 65; 75; 85;
Velocidade de fluxo livre (km/h)	60; 70; 80; 90
Fluxo direcional da via principal (veic/h)	300; 600; 900; 1200; 1500; 1800
Distribuição direcional da via principal (%)	Iguais
Fluxo da via secundária (% Fluxo da via principal)	10; 20; 30; 40; 50
Porcentagem de veículos pesados (%)	10; 20; 30; 40; 50
Percentual de veículos da via Principal virando à esquerda ou à direita (% Principal)	10; 20; 30
Rampas Upstream (%)	1; 2; 3; 4; 5; 8
Rampas Downstream (%)	1; 2; 3; 4; 5; 8

Os valores referentes ao comprimento do entrecruzamento foram estabelecidos com base em DNIT (2005) e de observações empíricas. A velocidade de fluxo livre mínima foi definida também em função de DNIT (2005) e de Silva *et al.* (2022). Destaca-se que não foi objeto deste trabalho definir um critério específico para obtenção da velocidade de fluxo livre, uma vez que já foi objeto de outros trabalhos (Oliveira, 2021; Washburn *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2022). Outra possibilidade para obtenção desse parâmetro é a realização de pesquisas de velocidade diretamente em campo em períodos de baixo fluxo de tráfego, observando, de forma similar ao presente trabalho, veículos com headways superiores a 10 segundos.

Por sua vez, os valores adotados para o fluxo direcional da via principal foram definidos de acordo com Washburn *et al.* (2018). A escolha dos alinhamentos verticais foi baseada em Oliveira (2021), que reclassificou as categorias inicialmente definidas em Washburn *et al.* (2018), considerando o veículo típico brasileiro. Foram então escolhidos valores médios de extensão e rampa que culminaram nas categorias apresentadas. Os demais parâmetros foram definidos a partir da análise dos estudos descritos no Capítulo 2, de revisão da literatura.

A inclusão e a variação dos parâmetros descritos acima foram realizadas em um modelo de RANV dotado de três aproximações construído no Aimsun Next, a partir de elementos geométricos (largura das faixas de tráfego e raios de giro) compatíveis com o veículo tipo reboque 'RE', com maiores dimensões, e referente a composições de veículos de carga CVC, conforme DNIT (2005). É importante destacar que a capacidade do simulador de tráfego em representar a influência de fatores geométricos horizontais, como raios de giro, nas simulações, ainda é pouco explorada na bibliografia e sua efetividade ainda necessidade de

investigações mais contundentes. O modelo de interseção analisado foi constituído por todos os elementos considerados necessários para obtenção dos parâmetros escolhidos, conforme demonstrado na Figura 21. A Figura 22 apresenta esses mesmos elementos alocados para a interseção com quatro aproximações.

Figura 21 – Modelo de simulação de três aproximações

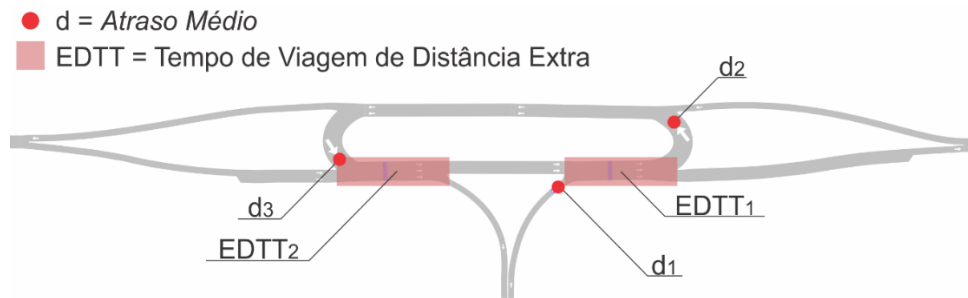
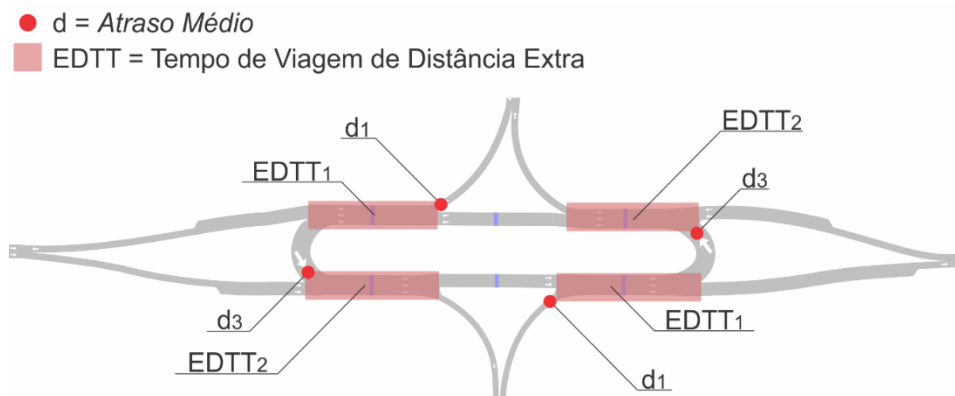


Figura 22 – Modelo de simulação de quatro aproximações

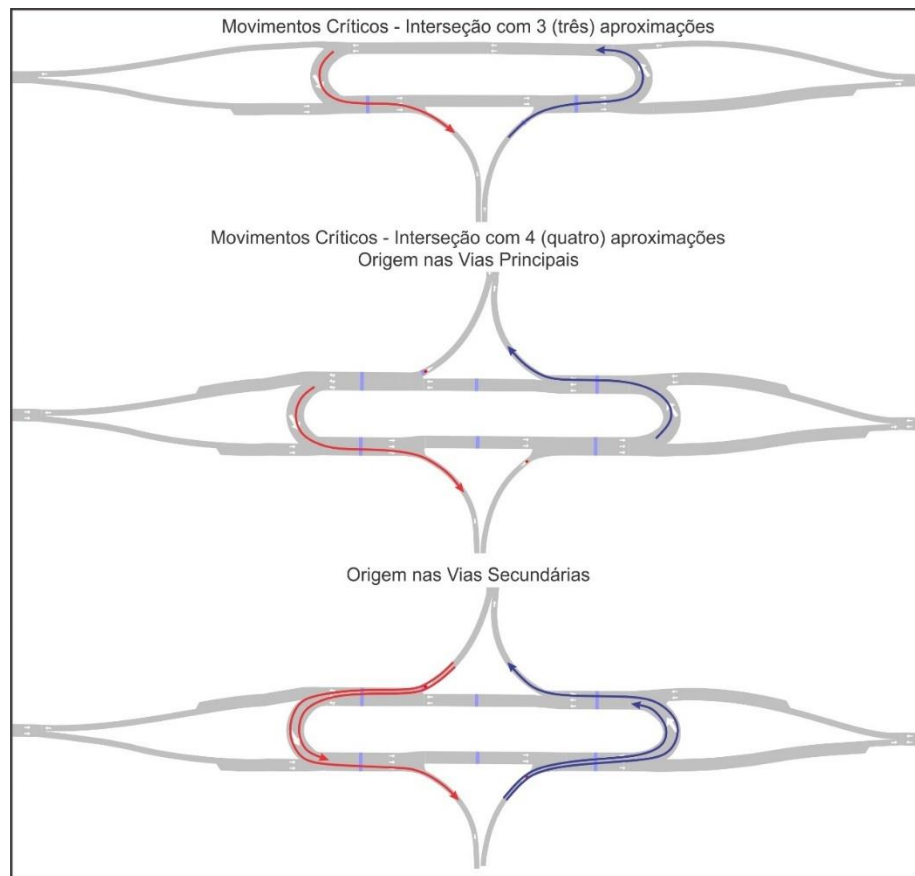


Nessa figura, o  $d_{i1}$  representa o local de medição do atraso pontual obtido na conexão da via secundária com a via principal. O  $d_{i2}$  representa o local de medição do atraso pontual obtido na conexão do ramo de retorno localizado entre um segmento dotado de entrecruzamento (anterior) e um segmento sem entrecruzamento (posterior). O  $d_{i3}$  representa o local de medição do atraso pontual obtido na conexão do ramo de retorno localizado entre um segmento sem entrecruzamento (anterior) e um segmento dotado de entrecruzamento (posterior). Todos esses locais foram considerados operando com sinal de “Pare” conforme comumente verificado empiricamente em campo.

Por sua vez, o  $EDTT_1$  representa o segmento de medição do tempo de viagem de distância extra localizado entre a conexão da via secundária (anterior) e a conexão com a alça de retorno (posterior). O  $EDTT_2$  representa o segmento de medição do tempo de viagem de distância extra localizado entre a conexão com a alça de retorno (anterior) e a conexão da via secundária (posterior).

Interseções dotadas de três aproximações possuem, portanto, dois movimentos conflitantes a serem analisados, sendo, (a) conversão a esquerda a partir da via secundária ( $ETT = d_{i1} + d_{i2} + EDTT_1$ ) e (b) conversão a esquerda a partir da via principal ( $ETT = d_{i3} + EDTT_2$ ). As interseções dotadas de quatro aproximações possuem seis movimentos conflitantes a serem analisados, sendo, (a) dois movimentos de conversão a esquerda a partir da via secundária ( $ETT = d_{i1} + d_{i2} + EDTT_1$ ), (b) dois movimentos de conversão a esquerda a partir da via principal ( $ETT = d_{i3} + EDTT_2$ ) e (c) dois movimentos de trocas de tráfego direto entre as vias secundárias ( $ETT = d_{i1} + d_{i2} + EDTT_2$ ). Os movimentos conflitantes e seus componentes encontram-se demonstrados na Figura 23.

Figura 23 – Movimentos conflitantes para interseções de três e quatro aproximações



Após a definição dos movimentos conflitantes e do cálculo do *ETT* (Equação 2.1) por movimento, com a utilização dos modelos definidos neste trabalho, obtém-se os níveis de serviço individualizado por movimento conflitante (de acordo com a Tabela 9). A obtenção do nível de serviço da interseção deve ser realizada a partir da ponderação dos valores de *ETT* (Equação 2.3) por movimento da interseção.

## 5.2 Modelos de Tráfego

Das simulações de tráfego realizadas, foram obtidos os resultados de atrasos médios ( $d_i$ ) pontuais das conexões controladas por “PARE” (conexão da via secundária com a principal e dos retornos com a via principal) e do tempo de viagem de distância extra (*EDTT*). Posteriormente, foram obtidos os coeficientes de correlação linear de Pearson de cada um dos parâmetros da Tabela 19 em função de  $d_i$  e *EDTT*. Identificados os parâmetros cujos coeficientes de correlação linear apresentaram resultados superiores ao valor crítico (0,196), aplicou-se o teste estatístico *t-student* somente a esses para confirmar a correlação entre eles,

de acordo com Triola (2017) (Equação 5.1). Para os dois testes, foi considerado um nível de significância de 5%. Os resultados podem ser observados na Tabela 20.

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}} \quad (5.1)$$

Tabela 20 - Avaliação Estatística de Correlação das Variáveis

Variáveis Independentes	Variáveis Dependentes									
	$d_{i1}$		$d_{i2}$		$d_{i3}$		$EDTT_1$		$EDTT_2$	
	Pearson	t-Student	Pearson	t-Student	Pearson	t-Student	Pearson	t-Student	Pearson	t-Student
$q_p$	0,101	-	0,214	56,23	0,605	194,70	0,362	99,52	0,373	103,00
$q_s$	0,301	80,74	0,271	72,02	0,414	116,40	0,198	51,61	0,254	67,16
$P_{HV}$	0,186	-	0,172	-	0,161	-	0,156	-	0,158	-
FFS	-0,057	-	0,029	-	-0,115	-	0,003	-	0,005	-
Giro a Esquerda	0,118	-	0,168	-	0,151	-	0,096	-	0,110	-
Rampas Upstream	0,004	-	0,013	-	0,007	-	0,011	-	0,005	-
Rampas Downstream	-0,004	-	0,000	-	0,032	-	0,001	-	0,002	-
Valor Crítico	0,196	1,960	0,196	1,960	0,196	1,960	0,196	1,960	0,196	1,960
$q_p$ - Fluxo da Via Principal										
$q_s$ - Fluxo da Via Secundária										

Observa-se que, para os testes estatísticos apresentados anteriormente, os parâmetros de fluxo de tráfego da via principal e da via secundária apresentaram correlação com todas as variáveis dependentes, com exceção da  $d_{i1}$ , em que somente o fluxo da via secundária se mostrou correlacionado. As demais variáveis independentes não apresentaram correlação direta com as variáveis dependentes. Dessa forma, os modelos de tráfego foram gerados em função das variáveis independentes que apresentaram correlação satisfatória com as medidas de desempenho relacionadas. A pertinência da adoção das variáveis foi confirmada na validação do método apresentada adiante.

Importante dizer que as rampas do alinhamento vertical da via principal, considerados nas simulações de tráfego, foram descartados dos modelos por não apresentarem correlação com as medidas de desempenho escolhidas. Utilizando de regressão linear, e de posse dos dados sintéticos produzidos pelas simulações, foram definidos os modelos e os coeficientes separadamente para obtenção de  $d_{i1}$ ,  $d_{i2}$ ,  $d_{i3}$ ,  $EDTT_1$  e  $EDTT_2$ .

### 5.2.1 Estimativa do atraso médio - $d_i$

O  $d_i$  é a primeira medida de desempenho necessária para o cálculo do  $ETT$  e teve sua formulação definida a partir dos testes de correlação expostos anteriormente. Para tanto, foram gerados coeficientes de regressão linear independentes para cada condição de operação, conforme descrito no item 5.1. Apenas para  $d_{i1}$  foi gerado modelo baseado apenas no fluxo de tráfego da via secundária (Equação 5.2), já para  $d_{i2}$  e  $d_{i3}$ , (Equação 5.3 e 5.4, respectivamente) foi utilizado tanto o fluxo da via secundária quanto o da via principal.

$$d_{i1} = a_0 + a_1 \times q_s \quad (5.2)$$

$$d_{i2} = b_0 + b_1 \times q_p + b_2 \times q_s \quad (5.3)$$

$$d_{i3} = c_0 + c_1 \times q_p + c_2 \times q_s \quad (5.4)$$

em que:  $q_p$  = fluxo da via principal;  $q_s$  = fluxo da via secundária;  $d_{i1}$  = atraso pontual na conexão da via secundária com a via principal;  $a_0 - a_1$  = coeficientes de ajuste para o cálculo de  $d_{i1}$ ;  $d_{i2}$  = atraso pontual na conexão do ramo de retorno localizado entre um segmento dotado de entrecruzamento (anterior) e um segmento sem entrecruzamento (posterior);  $b_0 - b_2$  = coeficientes de ajuste para o cálculo de  $d_{i2}$ ;  $d_{i3}$  = atraso pontual na conexão do ramo de retorno localizado entre um segmento sem entrecruzamento (anterior) e um segmento dotado de entrecruzamento (posterior);  $c_0 - c_2$  = coeficientes de ajuste para o cálculo de  $d_{i3}$ ;

Todos os modelos foram classificados em função do percentual de veículos pesados e da velocidade de fluxo livre, apenas para  $d_{i1}$  a classificação foi também realizada em função de  $q_p$ . Na Tabela 21, Tabela 22 e Tabela 23 é possível verificar exemplos dos coeficientes descritos nas Equações anteriores. As tabelas contendo os valores encontrados para cada modelo obtido podem ser vistos no Apêndice A. Para os casos em que os coeficientes de ajuste apresentaram regressão com valor-p superiores ao nível de significância de 5%, concluiu-se que esses coeficientes de ajuste não são aplicáveis (denotados nas Tabelas 21 a 23 por N/A).

Tabela 21- Exemplo de coeficientes do modelo para obter  $d_{i1}$ , com  $P_{HV} = 10\%$  a  $50\%$ ; e  $FFS = 60$  km/h, e seus respectivos valor-p

---

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h

---

<i>PHV</i>	$q_p$	$a$	$valor-p$	$a_1$	$valor-p$
10	300	1,2366667	9,531E-21	0,0567778	6,588E-05
	600	0,7811111	3,589E-14	0,0635000	9,659E-07
	900	0,4444444	8,206E-09	0,0716296	1,239E-16
	1200	N/A	0,1012238	0,2690370	4,254E-19
	1500	-64,18444	9,469E-08	0,5993037	2,046E-17
	1800	-27,33778	3,399E-09	0,5102840	4,12E-14
20	300	0,3222222	5,679E-19	0,0617778	5,553E-16
	600	0,2455556	0,0150344	0,0722037	1,756E-17
	900	-0,678889	9,352E-07	0,0855185	1,684E-12
	1200	-44,60111	0,0058717	0,3364537	5,901E-09
	1500	-74,77778	4,476E-13	0,4550815	1,506E-15
	1800	-63,63556	4,749E-25	0,4765679	6,819E-18
30	300	0,0033333	3,3E-16	0,0718889	3,045E-05
	600	-0,166667	3,219E-16	0,0821481	6,203E-10
	900	-45,93778	9,531E-07	0,4382222	1,38E-09
	1200	-34,29778	0,0004953	0,2319074	2,427E-11
	1500	-97,72444	3,345E-15	0,5040889	4,809E-16
	1800	-72,81556	1,596E-15	0,5262099	1,822E-20
40	300	0,3566667	1,867E-11	0,0621111	0,0016201
	600	N/A	0,9895811	0,0630185	0,021623
	900	-4,047778	1,346E-17	0,1039877	6,728E-18
	1200	-43,14556	2,255E-07	0,3571389	2,948E-10
	1500	-3,825556	7,774E-07	0,4253852	1,214E-09
	1800	N/A	0,7660725	0,2990185	2,299E-05
50	300	0,2544444	1,059E-25	0,0643333	1,347E-05
	600	28,528889	9,003E-05	-0,0400000	6,231E-05
	900	-9,472222	1,391E-13	0,1450000	0,0001891
	1200	-103,6311	2,693E-13	0,5835741	1,603E-15
	1500	N/A	0,1677815	0,3106519	5,13E-05
	1800	28,432222	0,0001154	0,6605864	1,899E-06

Tabela 22 - Coeficientes do modelo para obter  $d_{i2}$ , com  $P_{HV} = 10\%$  a  $50\%$ ; e  $FFS = 60$  a  $90$  km/h, e seus respectivos valor-p

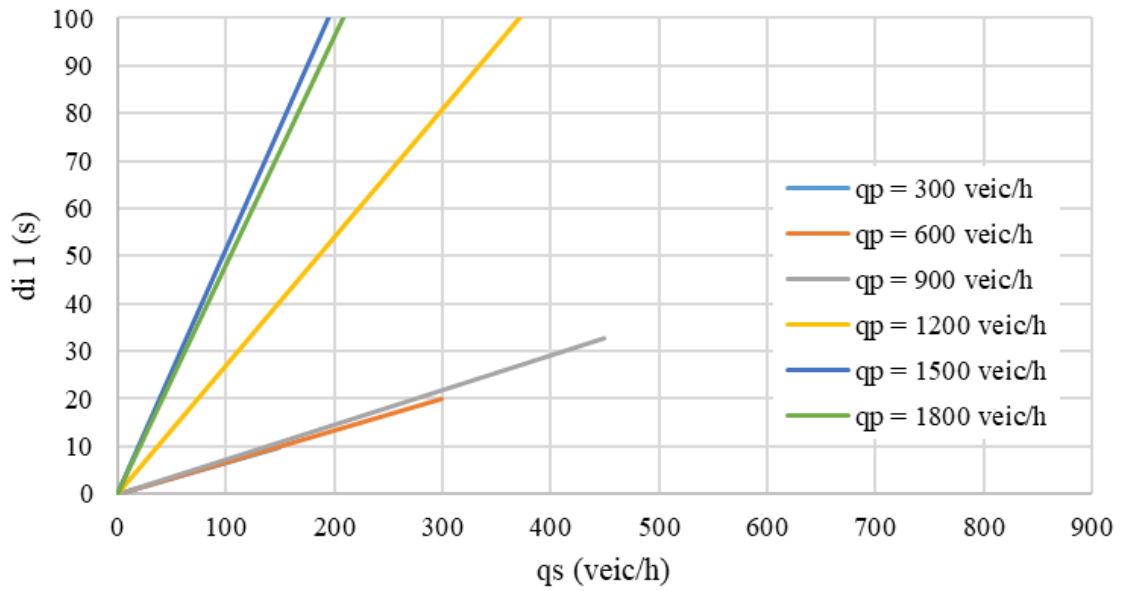
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
<i>PHV</i>	<i>b</i>	<i>valor-p</i>	<i>b<sub>1</sub></i>	<i>valor-p</i>	<i>b<sub>2</sub></i>	<i>valor-p</i>
10	-1,59723457	3,07398E-22	0,016655672	2,05553E-23	0,033534799	1,47402E-19
20	-0,50938272	1,0633E-13	0,014891656	5,03727E-54	N/A	0,062211258
30	N/A	0,072133881	0,0077268	5,76787E-06	0,01525234	7,97635E-05
40	-1,6122963	0,001607146	0,013801677	0,006962344	0,056271876	2,62797E-06
50	-1,99940741	4,73375E-06	0,021184252	1,52423E-06	0,040927961	4,08655E-05
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
<i>PHV</i>	<i>b</i>	<i>valor-p</i>	<i>b<sub>1</sub></i>	<i>valor-p</i>	<i>b<sub>2</sub></i>	<i>valor-p</i>
10	-1,292	4,30478E-16	0,012184008	1,22011E-14	0,030852666	5,03281E-17
20	-0,29916049	0,004355495	0,012198551	2,61921E-23	-0,007358567	0,002321967
30	N/A	0,14290283	0,008082051	1,88157E-05	N/A	0,147879001
40	-1,53175309	8,99719E-05	0,014505972	0,000215394	0,033402523	0,000196003
50	-1,48577778	0,000245732	0,027624539	9,33685E-11	N/A	0,975427223
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
<i>PHV</i>	<i>b</i>	<i>valor-p</i>	<i>b<sub>1</sub></i>	<i>valor-p</i>	<i>b<sub>2</sub></i>	<i>valor-p</i>
10	-1,22385185	9,99111E-16	0,017136171	3,00686E-25	0,006823362	0,031801408
20	-0,15106173	0,025682508	0,009400212	2,20468E-29	-0,007883598	8,99196E-07
30	N/A	0,361140962	0,003401221	0,031341904	0,013762719	0,000175745
40	-1,3122963	0,00026713	0,016689752	5,15888E-06	0,016267806	0,046011033
50	-1,516	0,003886589	0,040616166	7,18395E-13	-0,02519536	0,035669871
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
<i>PHV</i>	<i>b</i>	<i>valor-p</i>	<i>b<sub>1</sub></i>	<i>valor-p</i>	<i>b<sub>2</sub></i>	<i>valor-p</i>
10	-0,96666667	1,93448E-12	0,013080016	2,43916E-19	0,006109076	0,037291127
20	N/A	0,574249885	0,008777317	4,04739E-15	-0,009422059	7,07051E-05
30	N/A	0,318971863	N/A	0,792075345	0,028815629	0,003566119
40	N/A	0,139485759	N/A	0,859707857	0,028638584	6,48206E-10
50	-2,35348148	5,69772E-07	0,02100973	7,51964E-06	0,047901913	8,00568E-06

Tabela 23 - Coeficientes do modelo para obter  $d_{i3}$ , com  $P_{HV} = 10\%$  a  $50\%$ ; e  $FFS = 60$  a  $90$  km/h, e seus respectivos valor- $p$

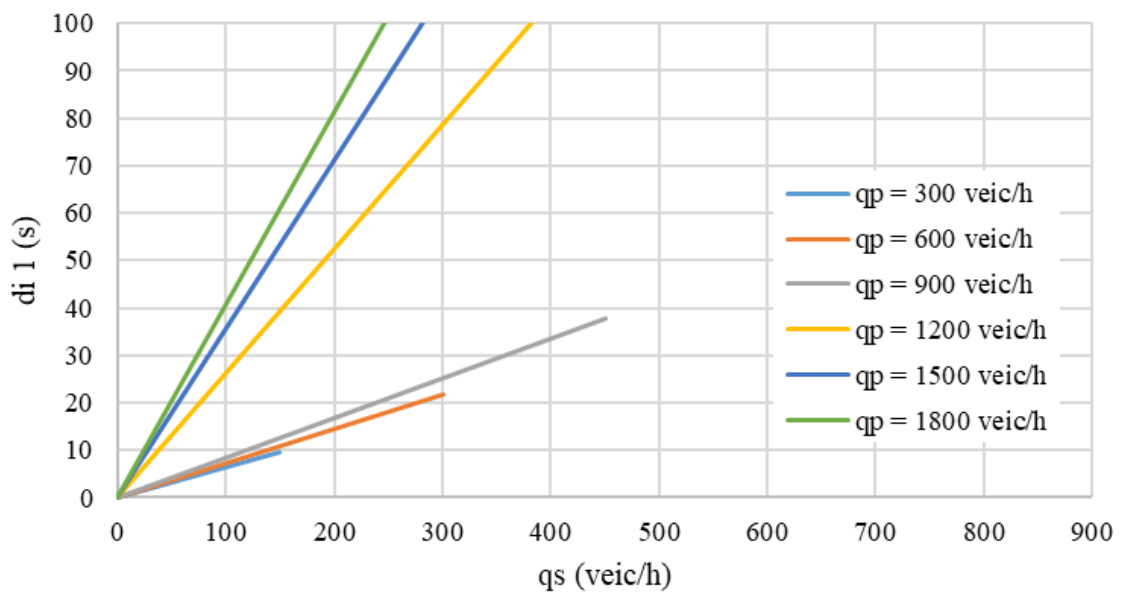
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$PHV$	$c$	valor- $p$	$c_1$	valor- $p$	$c_2$	valor- $p$
10	1,072938272	1,38154E-18	0,024372866	1,80368E-22	0,033500204	3,67357E-19
20	1,976345679	2,64658E-16	0,023422739	4,6072E-62	-0,003235653	0,014978913
30	2,03837037	0,003730115	0,014167377	1,03376E-08	0,014737485	6,8752E-05
40	0,745185185	0,000457328	0,023205565	0,0018509	0,05477615	2,78563E-06
50	0,320444444	2,82273E-08	0,035650082	1,72725E-09	0,036461131	3,60149E-05
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$PHV$	$c$	valor- $p$	$c_1$	valor- $p$	$c_2$	valor- $p$
10	1,302666667	1,95055E-14	0,018189968	8,63643E-15	0,030840456	4,28799E-17
20	2,185037037	0,001997762	0,01925091	2,2629E-26	-0,007688238	0,001052974
30	2,031407407	0,009286713	0,014786158	1,12144E-07	N/A	0,146578844
40	0,824444444	6,18661E-06	0,024180684	1,22631E-05	0,031660562	0,000174237
50	0,781382716	1,16956E-05	0,044251274	7,83841E-13	N/A	0,859378995
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$PHV$	$c$	valor- $p$	$c_1$	valor- $p$	$c_2$	valor- $p$
10	1,322320988	3,25035E-15	0,025838127	2,77407E-26	0,006921042	0,026954851
20	2,322469136	0,004625288	0,014884767	3,00871E-35	-0,007637363	2,66364E-07
30	2,114074074	0,009995993	0,008452858	0,000190811	0,012673993	0,000270724
40	0,957925926	9,37835E-06	0,027888008	1,22961E-07	0,015614571	0,045358805
50	0,830666667	0,000739458	0,064197554	1,57749E-15	-0,030299145	0,007306226
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$PHV$	$c$	valor- $p$	$c_1$	valor- $p$	$c_2$	valor- $p$
10	1,565185185	3,473E-12	0,01996378	1,20942E-20	0,006039886	0,035721014
20	N/A	0,184843012	0,014331468	1,99234E-19	-0,009422059	1,88608E-05
30	N/A	0,145852905	N/A	0,481778507	0,028235653	0,003846669
40	1,986271605	0,005240453	N/A	0,169534297	0,027712658	4,60831E-10
50	0,030469136	2,41603E-08	0,034779837	1,264E-07	0,042183557	2,2794E-05

Para os modelos gerados, cabem as seguintes observações: (i) Para valores intermediários de  $FFS$  e  $PHV$ , as medidas de desempenho devem ser obtidas por meio de interpolação linear dos coeficientes; (ii) alguns modelos propostos neste trabalho podem eventualmente apresentar valores negativos para as medidas de desempenho; nesses casos, o valor deve ser considerado igual a zero. As figuras adiante apresentam alguns dos modelos obtidos para  $d_{i1}$ ,  $d_{i2}$  e  $d_{i3}$ .

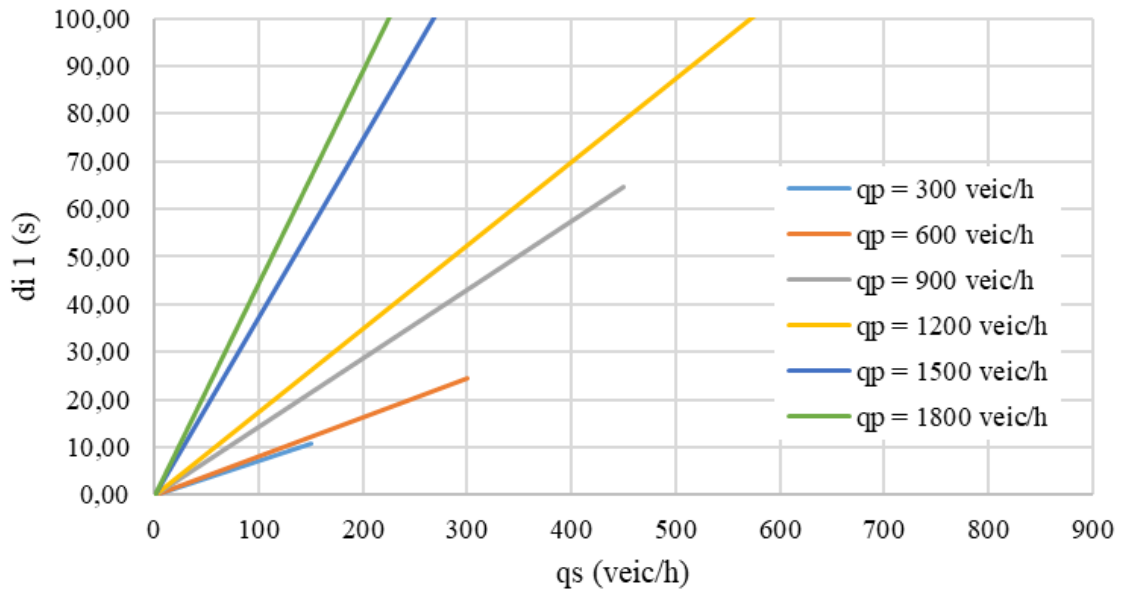
Figura 24 - Modelos de  $d_{i1}$  gerados para  $FFS = 60$  km/h; e  $P_{HV} =$  (a) 10%; (b) 20%; (c) 30%; (d) 40%; e (e) 50%



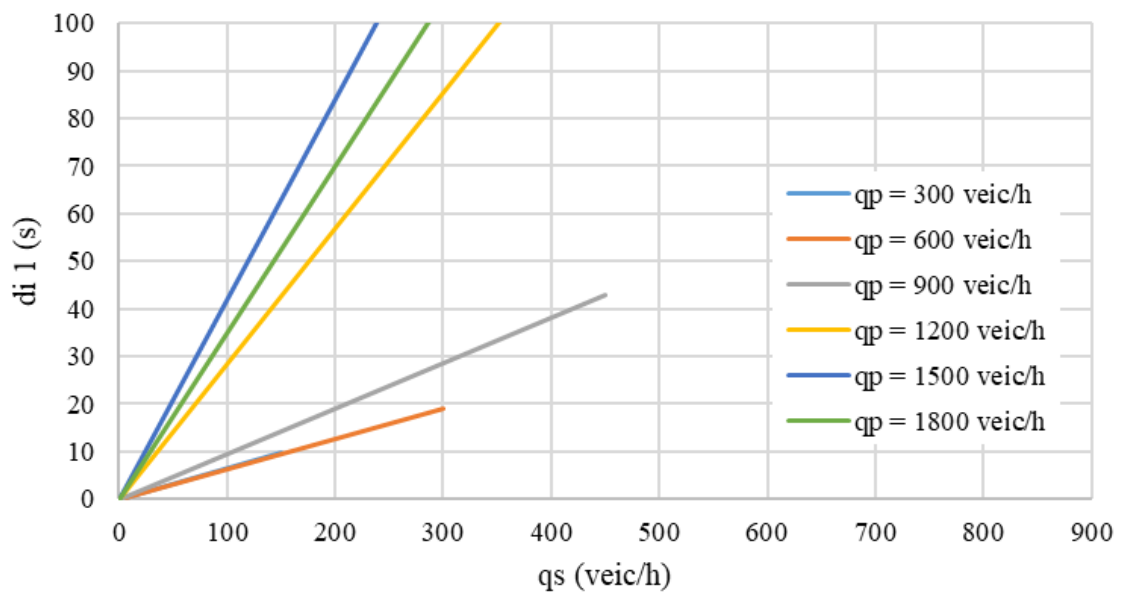
(a)



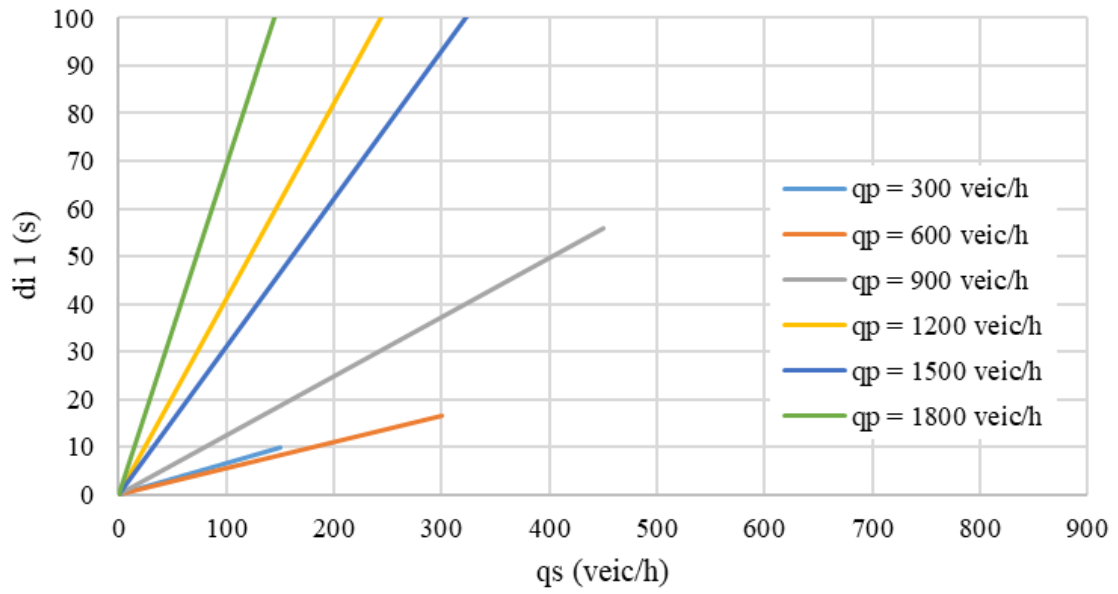
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 25 - Modelos de  $d_{i2}$  gerados para  $FFS = 60$  km/h

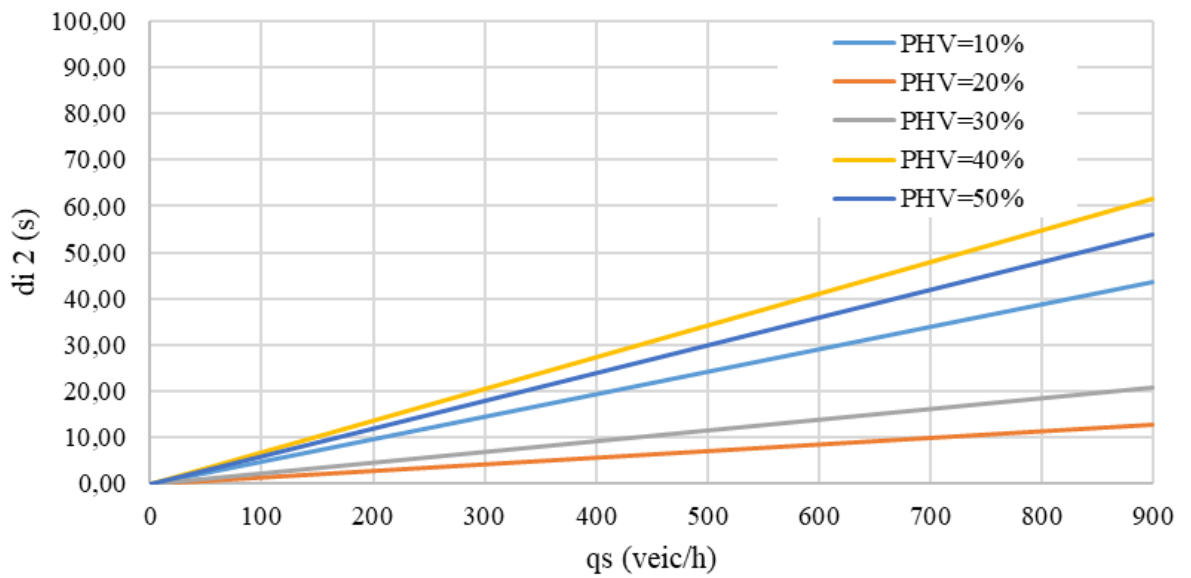
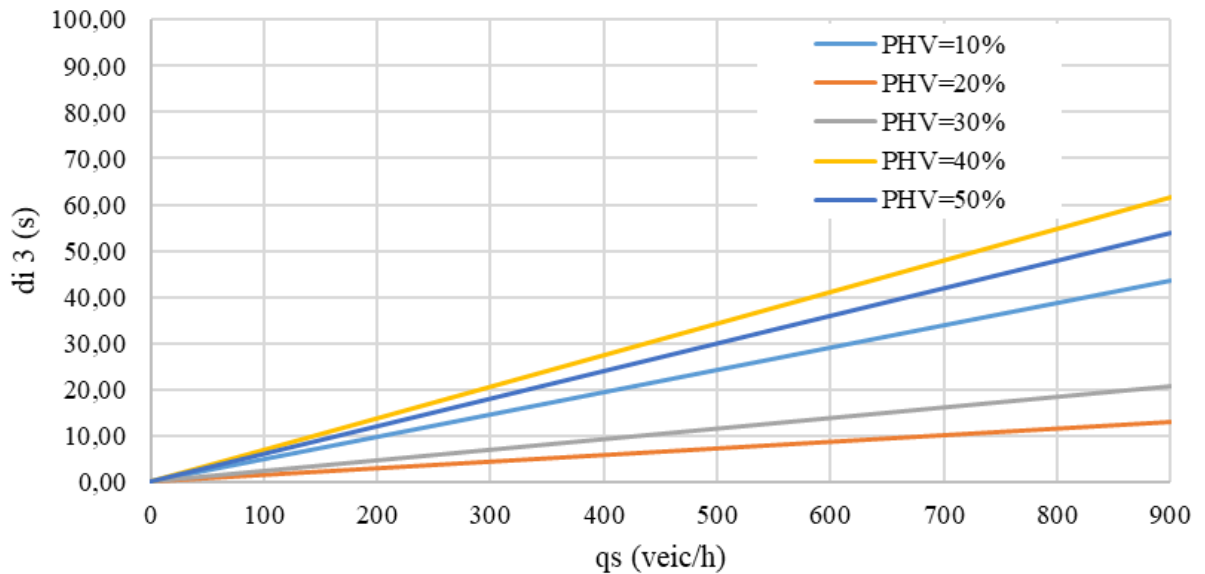


Figura 26 - Modelos de  $d_{i3}$  gerados para  $FFS = 60$  km/h

### 5.2.2 Tempo de Viagem de Distância Extra - $EDTT$

As formulações de  $EDTT_1$  e  $EDTT_2$  (Equações 5.5 e 5.6, respectivamente) foram definidas em função dos fluxos de tráfego das vias principal e secundária e seus coeficientes foram gerados também a partir de um modelo de regressão linear. Esses modelos foram classificados em função do percentual de veículos pesados, da velocidade de fluxo livre e do comprimento do entrecruzamento analisado. O fato da análise de  $EDTT$  ser realizada individualmente por segmento de entrecruzamento permite ao analista a aplicação do método proposto nesta pesquisa em interseções não simétricas (entrecruzamentos de diferentes comprimentos), o que é bastante comum.

$$EDTT_{i1} = d_0 + d_1 \times q_p + d_2 \times q_s \quad (5.5)$$

$$EDTT_{i2} = e_0 + e_1 \times q_p + e_2 \times q_s \quad (5.6)$$

em que:  $q_p$  = fluxo da via principal;  $q_s$  = fluxo da via secundária;  $EDTT_1$  = tempo de viagem de distância extra localizado entre a conexão da via secundária (anterior) e a conexão com a alça de retorno (posterior);  $d_0 - d_2$  = coeficientes de ajuste para o cálculo de  $EDTT_{i1}$ ;  $EDTT_2$  = tempo de viagem de distância extra localizado entre a conexão com a alça de retorno (anterior) e a

conexão da via secundária (posterior);  $e_0 - e_2 =$  coeficientes de ajuste para o cálculo de  $EDTT_i$ ; 2;

Na Tabela 24 e Tabela 25, é possível verificar exemplos dos coeficientes descritos nas equações anteriores de  $EDTT$ . As tabelas contendo os valores encontrados para cada modelo obtido podem ser vistos no Apêndice A. Para os casos em que os coeficientes de ajuste apresentaram regressão com valor- $p$  superiores ao nível de significância de 5%, concluiu-se que esse coeficiente de ajuste não é aplicável (denotado nas Tabelas 24 e 25 por N/A).

Tabela 24 - Coeficientes do modelo para obter  $EDTT_i$ , para Entrecruzamento de 55 metros, com  $P_{HV} = 10\%$  a  $50\%$ ; e  $FFS = 60$  a  $90$  km/h, e seus respectivos valor- $p$

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	14,90444444	6,5678E-110	0,000770085	1,3544E-19	-0,000663919	0,004060274
20	15,65111111	7,15055E-15	0,003999756	0,047974495	-0,013443223	0,048724853
30	14,40555556	8,51546E-16	N/A	0,072093092	N/A	0,450461271
40	3,429722222	0,2842793	-0,001427015	0,394412335	0,120908883	0,225335762
50	N/A	0,5685586	N/A	0,716731578	0,236991758	0,000210254
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	14,605	5,2074E-104	0,000662821	1,94709E-13	-0,000540293	0,046488928
20	15,05833333	1,90034E-73	0,000711233	0,001109933	N/A	0,933432491
30	12,00777778	7,98474E-16	N/A	0,640923987	0,023672161	2,959E-05
40	0,078611111	0,161076533	0,018261416	0,329981506	0,033113553	0,219348334
50	N/A	0,322153066	0,03584536	0,019039024	N/A	0,438667078
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	14,42555556	5,25253E-74	0,000464164	0,020956072	0,000123626	0,00863965
20	14,73777778	4,08304E-33	0,002115324	0,013539098	-0,005128205	0,009770133
30	13,93333333	9,049E-18	0,003122405	0,04324846	N/A	0,761682075
40	12,27111111	5,82806E-08	0,008092735	0,002117603	N/A	0,494817993
50	N/A	0,46558949	N/A	0,976076422	0,266799451	0,009195457
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	14,135	9,17583E-91	0,000574115	1,71468E-06	N/A	0,489089929
20	15,15722222	4,11433E-10	0,005946825	0,026079441	-0,018869048	0,042665015
30	12,09277778	4,76469E-29	0,002815385	0,000791377	0,008649267	0,004368466
40	10,81166667	0,000181812	N/A	0,703547264	0,031501832	0,014499745
50	N/A	0,255456614	0,15128254	0,0327651	N/A	0,585359559

Tabela 25 - Coeficientes do modelo para obter  $EDTT_2$ , para Entrecruzamento de 65 metros, com  $P_{HV} = 10\%$  a  $50\%$ ; e  $FFS = 60$  a  $90$  km/h, e seus respectivos valor-p

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor-p	$e_1$	valor-p	$e_2$	valor-p
10	20,84333333	1,01271E-15	-0,002704884	0,028766194	N/A	0,892369906
20	17,16388889	2,05428E-27	0,002995116	0,016209701	N/A	0,790531138
30	12,36722222	0,027097228	N/A	0,130792634	0,009171245	0,007167569
40	9,658333333	0,031278241	0,021757326	0,007315297	-0,019739011	0,004955053
50	N/A	0,465209901	- N/A	0,582214104	0,295206044	5,19706E-06
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor-p	$e_1$	valor-p	$e_2$	valor-p
10	18,73611111	2,48503E-14	N/A	0,347012857	-0,010302198	0,025502861
20	15,52111111	6,46636E-10	N/A	0,106808811	0,000641026	0,009488064
30	9,453888889	0,00921132	0,016301954	0,021921885	N/A	0,75444734
40	-3,68777778	0,008723634	0,089265629	0,002740444	-0,248621795	0,020852991
50	-16,8861111	0,216352627	0,04373138	0,012254989	N/A	0,127757252
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor-p	$e_1$	valor-p	$e_2$	valor-p
10	19,38222222	1,9473E-33	-0,004610562	6,53185E-05	0,014175824	0,00065085
20	17,17888889	8,36835E-61	0,001971062	9,1611E-07	N/A	0,991836053
30	15,21777778	7,91861E-18	0,004354762	0,010319414	0,008511905	0,016345719
40	N/A	0,910008549	0,032836203	0,000122648	N/A	0,507528211
50	N/A	0,11616105	N/A	0,138897965	0,234271978	0,028615376
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor-p	$e_1$	valor-p	$e_2$	valor-p
10	17,13833333	7,14684E-33	-0,003672039	0,000366122	0,014487179	0,000136311
20	14,34388889	1,73667E-23	0,003633211	0,003389317	N/A	0,337537444
30	13,02166667	6,40806E-20	0,004141758	0,00181364	0,012541209	0,009080574
40	12,44222222	4,85357E-07	N/A	0,411213449	0,034423077	0,001343094
50	N/A	0,263549822	N/A	0,906237755	1,082486264	0,025518633

Para os modelos gerados, cabem as seguintes observações: (i) Para valores intermediários de  $FFS$  e  $P_{HV}$ , as medidas de desempenho devem ser obtidas por meio de interpolação linear dos coeficientes; (ii) alguns modelos propostos neste trabalho podem eventualmente apresentar valores negativos para as medidas de desempenho; nesses casos, o valor deve ser considerado igual a zero. As Figuras 27 e 28 apresentam alguns dos modelos obtidos para  $EDTT_1$  e  $EDTT_2$ .

Figura 27 - Modelos de  $EDTT_1$  gerados para entrecruzamento = 55 m;  $FFS = 60$  km/h;  $P_{HV} =$  (a) 10%; (b) 20%; (c) 30%; (d) 40%; e (e) 50%

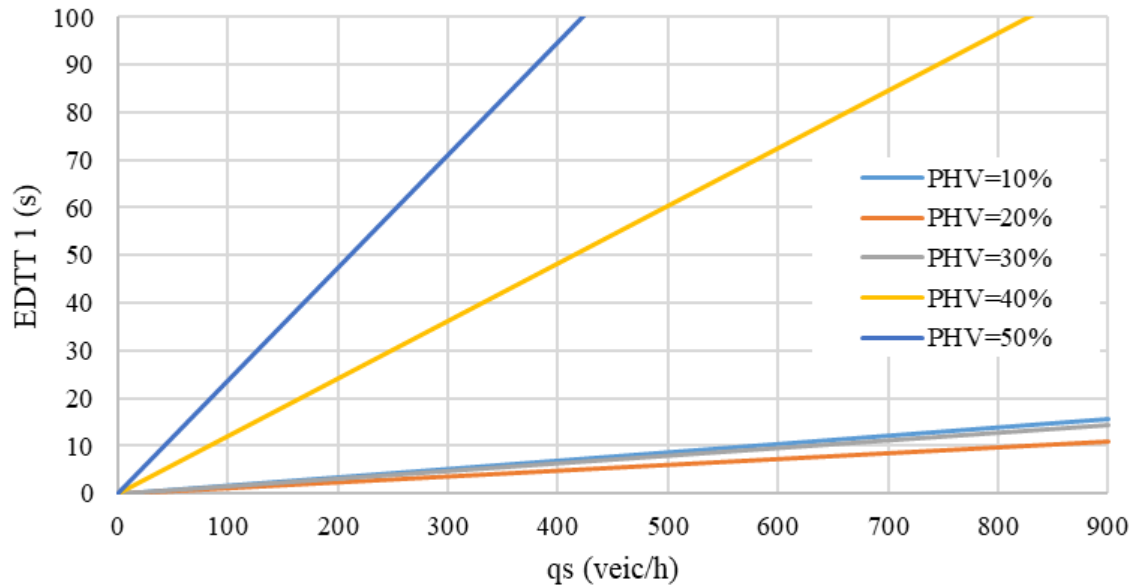
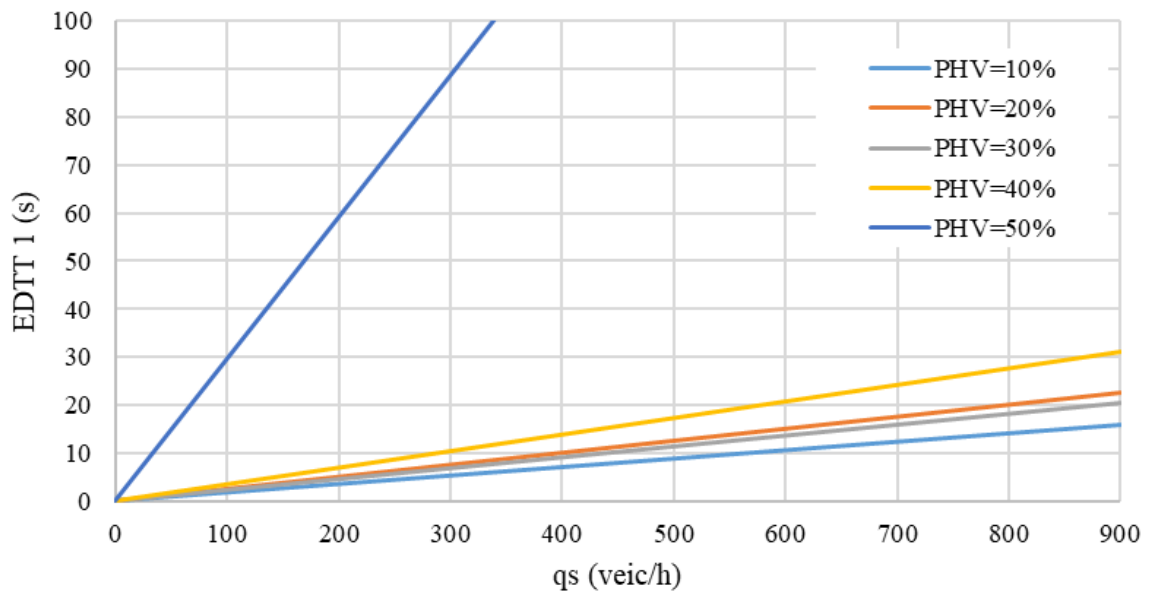


Figura 28 - Modelos de  $EDTT_2$  gerados para entrecruzamento = 65 m;  $FFS = 60$  km/h;  $P_{HV} =$  (a) 10%; (b) 20%; (c) 30%; (d) 40%; e (e) 50%



### 5.3 Validação do Método Proposto

Definidos os modelos e os coeficientes de  $d_i$  e  $EDTT$ , foi realizado, por meio de funções de ajustamento, um processo de validação da medida de desempenho  $ETT$ , obtidas pelos modelos propostos neste trabalho e nos três postos de pesquisas de campo, individualmente por movimento conflitante da interseção. As funções de ajustamento escolhidas foram o erro normalizado médio ( $MNE$ ), o erro normalizado absoluto médio ( $MANE$ ), a raiz quadrada do erro normalizado quadrático médio ( $RMSNE$ ) e o coeficiente de correlação ( $r$ ), conforme Equações 5.7 a 5.10 (Hollander e Liu, 2008). Ressalta-se que penalizar erros pequenos não é aconselhável, podendo levar a um modelo muito específico, uma vez que pequenas flutuações em torno do valor médio são comuns. Dessa forma, usar os erros quadráticos podem ser mais apropriados, como no caso da  $RMSNE$ , uma vez que dão mais ênfase aos maiores erros (Hollander e Liu, 2008; Lacerda, 2016).

Os valores encontrados para as funções de ajustamento estão apresentados na Tabela 26, em que é possível dizer que os modelos propostos são adequados, tendo em vista os reduzidos valores de  $MNE$ ,  $MANE$ ,  $RMDNE$  e  $r$ , obtidos. Foi verificado também o coeficiente de determinação para um modelo linear (Figura 29), gerado para os resultados de  $ETT$  obtidos em campo e os calculados para os mesmos dados, com a utilização do método proposto.

Na Figura 29, é possível ver os valores das medidas de desempenho obtidos com os modelos propostos e coletados em campo. Dos resultados apresentados, é possível dizer que os modelos propostos são adequados, tendo sido obtidos valores de  $MNE$ ,  $MANE$  e  $RMSNE$  baixos.

$$MNE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{x_i - y_i}{y_i} \quad (5.7)$$

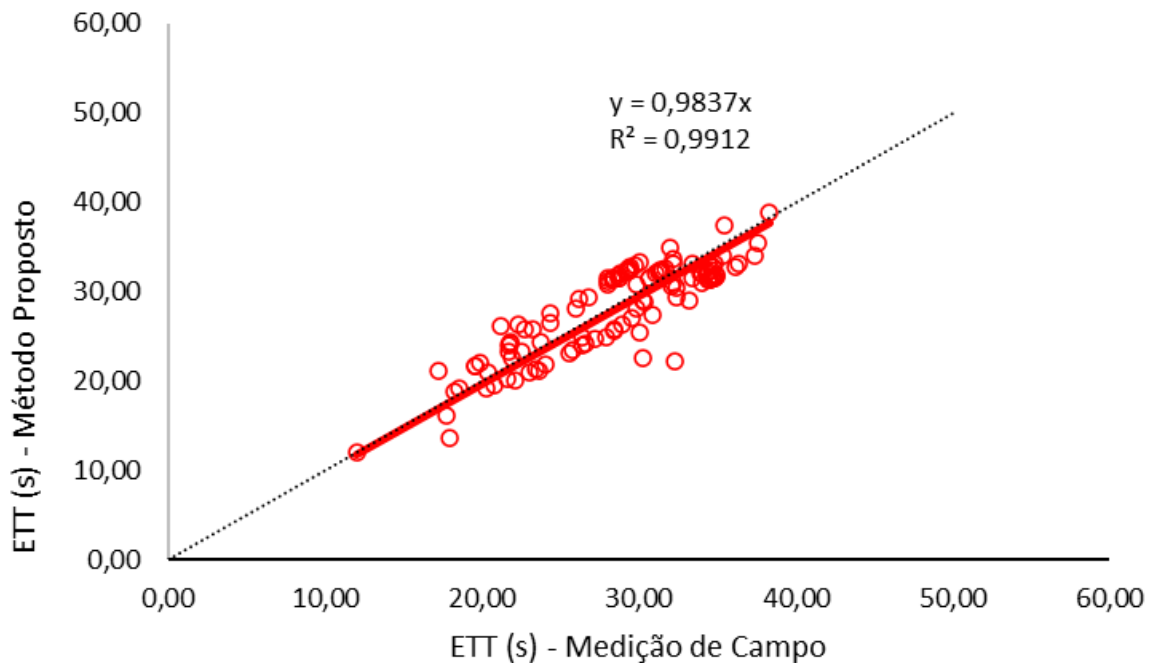
$$MANE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|x_i - y_i|}{y_i} \quad (5.8)$$

$$RMSNE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{x_i - y_i}{y_i} \right)^2} \quad (5.9)$$

$$r = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y} \quad (5.10)$$

Tabela 26 - – Funções Fitness para os Modelos de “*ETT*”

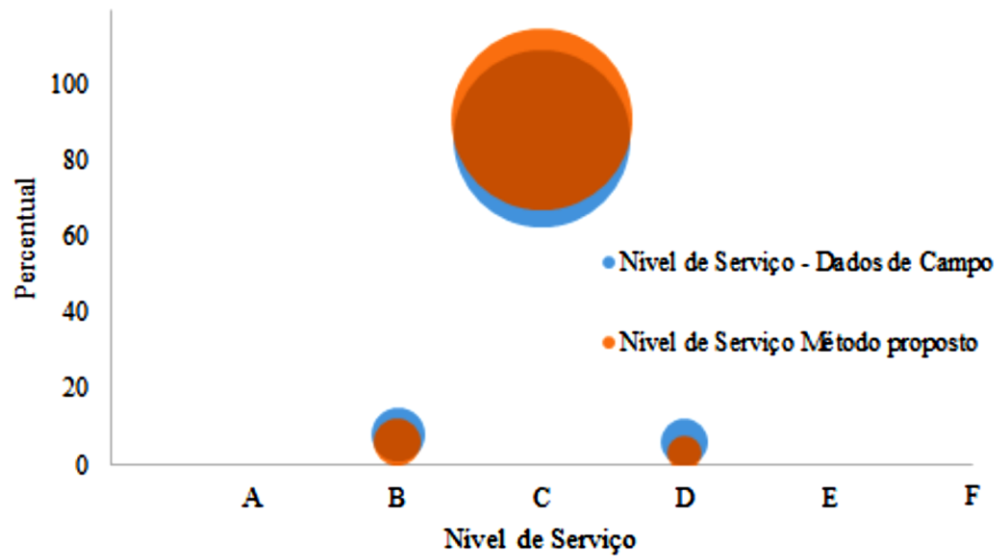
<i>ETT</i> Model	MNE	MANE	RMSNE	r
Modelo Linear	-4,10%	4,10%	0,98	0,852714

Figura 29 – Comparação entre os valores de *ETT* obtidos com o método proposto e com os dados coletados em campo

A comparação obtida por meio do modelo linear, apresentada na Figura 29, demonstrou resultados bastante aderentes entre os dados obtidos em campo e o método proposto. Nessa análise, o coeficiente de determinação da reta entre os dados de campo e do modelo ( $R^2$ ) foi de 0,9912, com desvios médios de somente 1,7%, o que indica que o modelo proposto superestima discretamente os dados de campo.

Os valores de *ETT* obtidos com o método proposto e com os dados coletados em campo foram utilizados para estimar o nível de serviço, por meio dos critérios apresentados na Tabela 9. A comparação entre os resultados obtidos pode ser vista na Figura 30, em que se observa grande similaridade entre os valores de nível de serviço obtidos com o método proposto e encontrados em campo.

Figura 30 – Percentagem de nível de serviço obtidos por meio dos dados coletado em campo e do método proposto



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um método para estimação do nível de serviço de interseções do tipo rotatória alongada não vazada localizadas em rodovias rurais de pista simples. Para tanto, foram coletados dados de tráfego em campo para verificar a necessidade de calibrar o *software* de simulação de tráfego Aimsun Next e, posteriormente, para validação do método proposto. Dessa forma, foram simulados diversos cenários hipotéticos, com diferentes condições geométricas e de tráfego para se obter dados sintéticos capazes de gerar modelos suficientes para obtenção das medidas de desempenho pretendidas ( $d_i$  e  $EDTT$ ), que compõem a medida de serviço  $ETT$ . Com os resultados das simulações, foram definidas as variáveis a serem utilizadas nos modelos por meio de testes de correlação, para, então, gerar os modelos de tráfego e obter as medidas de desempenho e a medida de serviço propostas.

Na etapa de validação, foi verificado que os modelos gerados se mostraram aderentes quando comparados aos dados coletados em campo, demonstrando que o método proposto pode ser adequado para a análise desse tipo de interseção em rodovias rurais de pista simples brasileiras. Nos itens a seguir, podem ser observadas outras conclusões, assim como recomendações para trabalhos futuros.

### 6.1 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada em campo diretamente em três interseções do tipo  $RANV$  e em seus segmentos adjacentes. As pesquisas foram filmadas por meio de câmeras fixadas a árvores e postes, para obtenção de informações como volumes de tráfego, velocidades e atraso tanto para a interseção quanto para seus segmentos adjacentes. Foram ainda realizadas medições de velocidade e tempos de atraso nas interseções com auxílio de veículo aéreo não tripulado (*drone*). O conjunto de dados obtidos auxiliou tanto na etapa de verificação da calibração do simulador de tráfego (Aimsun Next) quanto na etapa de validação do método proposto.

A coleta de dados de tráfego dessa magnitude em interseções é tarefa que demanda um bom planejamento, dispêndio de recursos financeiros, e trabalho intenso de apuração dos dados coletados. Dessa forma, foram realizados três postos de pesquisas, o que permitiu a obtenção

de cerca de 100 correntes de tráfego com intervalos de 15 minutos. Observou-se que o maior volume de tráfego horário obtido para um sentido da via principal foi de cerca de 500 veic/h, o que está aquém da capacidade direcional de uma rodovia de pista simples, que é de aproximadamente 1700 cpe/h, segundo o HCM-7 (TRB, 2022).

Em trabalhos futuros, sugere-se a obtenção de dados de tráfego em interseções com fluxo mais elevado, com o intuito de melhorar a etapa de calibração e validação do Aimsun Next e, ainda, de validação do método proposto de obtenção do nível de serviço. Outro aspecto relevante é o desenvolvimento de automações capazes de realizar a apuração dos dados obtidos em campo.

## **6.2 Análise de sensibilidade dos parâmetros comportamentais do Aimsun Next**

Para a utilização do simulador de tráfego, o Aimsun Next, para a reprodução de cenários hipotéticos, foi necessário, antes, verificar a necessidade de calibração de seus parâmetros comportamentais. Para tanto, foram realizadas simulações de diferentes correntes de tráfego de forma comparativa entre os resultados obtidos, em que os parâmetros de calibração foram inseridos inicialmente com seu valor *default* e, posteriormente, com os valores mínimo e máximo dos seus intervalos de busca para cada um dos parâmetros comportamentais do *software*. Tal procedimento foi aplicado aos modelos criados a partir das interseções pesquisadas na BR-262/MG e BR-135/MG, considerando-se 40 correntes de tráfego de 15 minutos no total, e as medidas de desempenho atraso médio e a fila média.

De posse dos resultados para cada parâmetros, foi realizado um teste *t-student* para amostras pareadas, com nível de significância de 5%. Foram ainda analisados os intervalos de confiança para verificar a interferência prática de cada parâmetro nas simulações. Ao contrário da expectativa inicial, não foi verificada a necessidade de calibração de nenhum dos parâmetros comportamentais do Aimsun Next.

Como indicativo para trabalhos futuros, recomenda-se a verificações de outras medidas de serviço no processo de análise de sensibilidade dos parâmetros. A partir desse trabalho, poderão ainda ser definidas medidas específicas para análise de sensibilidade, como *di* e *EDTT*. Poder-se-á, ainda, utilizar outros métodos estatísticos para análise da sensibilidade de cada parâmetro do *software*. Outro aspecto importante a ser levantado é a avaliação da

obtenção de parâmetros comportamentais em campo, como aqueles relacionados com o processo de aceleração e desaceleração, por exemplo.

### 6.3 Método proposto

O método proposto neste trabalho, para obtenção de nível de serviço em *RANV*, objetivou analisar os movimentos conflitantes da interseção, que são os giros a esquerda e a troca direta entre vias secundárias, assumindo que a interferência da interseção na corrente de tráfego da via principal era pouco significativa (TRB, 2022; El Esawey e Sayed, 2013).

Foram utilizadas as mesmas medidas de desempenho ( $d_i$  e *EDTT*) e medida de serviço (*ETT*) propostas em TRB (2022), para análise de interseções alternativas. Embora fosse razoável imaginar um método completamente alternativo ao HCM, tais medidas foram avaliadas como adequadas de acordo com as características geométricas e operacionais da *RANV* e, ainda, percebe-se que este manual possui predominante apelo ao seu uso por órgãos que gerenciam o tráfego rodoviário brasileiro (Pereira e Bessa Jr., 2017). Ressalta-se que as formulações matemáticas para obtenção de  $d_i$  e *EDTT* presentes em TRB (2022) não foram utilizadas, uma vez que, nesta pesquisa, foi proposta a geração de modelos próprios para obtenção dessas medidas de desempenho.

Para a realização dos experimentos de simulação, foram considerados diversos cenários contemplando a variação dos parâmetros comprimento do entrecruzamento, velocidade de fluxo livre, fluxo direcional da via principal, razão do volume de veículos da via principal e da via secundária, porcentagem de veículos pesados, distribuição de veículos convergindo à esquerda ou à direita a partir da via principal e as rampas das aproximações da via principal. A consideração deste último parâmetro foi motivada pela observação de outras metodologias de análise de nível de serviço de interseções que, sem exceção, não consideravam tal parâmetro. Posteriormente, não foi identificada correlação entre esse parâmetro referente ao alinhamento vertical da via principal e as medidas de desempenho escolhidas, o que coaduna com as metodologias de análise de nível de serviço de interseções que não utilizam este parâmetro em seu método (TRB, 2022).

Após os testes de correlação aplicados, os parâmetros de fluxo de tráfego da via principal ( $q_p$ ) e da via secundária ( $q_s$ ) apresentaram correlação com todas as variáveis

dependentes, com exceção da  $d_{i1}$ , em que somente o fluxo da via secundária se mostrou correlacionado. As demais variáveis independentes não apresentaram correlação direta com as variáveis dependentes. Apesar de não apresentarem correlação direta, os modelos foram organizados em função da  $FFS$ ,  $P_{HV}$  e comprimento do entrecruzamento. Ressalta-se o caráter positivo dos modelos do presente método terem sido gerados a partir de dados facilmente coletados em campo, o que facilitará sua aplicação, sem a necessidade de coleta de dados muito complexos ou habitualmente obtidos em pesquisas de campo. Em trabalhos futuros, poderão ser observadas outras formas de agrupamento dos coeficientes de tráfego, ou mesmo a consideração de parâmetros não incluídos nas verificações realizadas neste trabalho.

Foram gerados os modelos de tráfego por meio da obtenção dos seus coeficientes referentes as medias de desempenho propostas ( $d_{i1}$ ,  $d_{i2}$ ,  $d_{i3}$ ,  $EDTT_1$  e  $EDTT_2$ ), que permitiram a obtenção da medida de serviço  $ETT$ . Na etapa de validação do método proposto, observou-se uma aderência entre os dados obtidos em campo e os calculados com o método proposto, sobretudo para estimação do nível de serviço, o que indica a aplicabilidade do método. Ressalta-se, ainda, que os modelos de tráfego do presente método foram gerados a partir de uma rede de simulação de uma interseção com três aproximações. Todavia, seus elementos foram organizados de tal forma que é possível avaliar a condição operacional de níveis de serviço também de interseções dotadas de quatro aproximações, o que foi confirmado na etapa de validação do método proposto, uma vez que a interseção pesquisada na MG-010 possui esse número de aproximações. Em trabalhos posteriores, poderão ser realizadas novas validações em interseções com quatro aproximações com volumes de tráfego mais elevados ou, ainda, com diferentes características geométricas.

Outro aspecto importante refere-se à necessidade de definição de intervalos adequados a realidade brasileira para enquadramento do nível de serviço, uma vez que isso não foi verificado neste trabalho. Para isso, a maior dificuldade é a complexidade e os custos elevados para se conduzir pesquisas abrangentes o suficiente para capturar e modelar as impressões dos usuários das vias.



## 7 REFERÊNCIAS

- AASHTO (2018) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- Al-Masaeid, HR. (1999) Capacity of U-turns at median openings. *ITE Journal*, 69(6), 28–34.
- Autey, J., Sayed, T., El Esawey, M. (2012) Operational performance comparison of four unconventional intersection designs. *Journal of Advanced Transportation*, 47. DOI: 10.1002/atr.181
- Bared, J.G., Kaisar, E.I. (2002) Median U-turn design as an alternative treatment for left turns at signalized intersections. *ITE Journal*, 72(2), 50–54.
- Barmounakis, E, N.; Vlahogianni, E. I.; Golias, J. C.; Babinec, A.(2017) How accurate are small drones for measuring microscopic traffic parameters. *Transportation Letters*, v. 11:6 p.332-340. DOI: <https://doi.org/10.1080/19427867.2017.1354433>
- Bessa Jr., J. E. (2015) *Medidas de desempenho para avaliação da qualidade de serviço em rodovias de pista simples no Brasil*. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo. São Carlos.
- Bessa Jr, J. E.; Setti, J. R.; (2018) Evaluating Measures of Effectiveness for Quality of Service Estimation on Two-Lane Rural Highways. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, v. 144, p. 04018056.1-04018056.10. DOI: <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000178>
- Chery, S., (2010). *A comparison of non-traditional intersection designs using microscopic simulation*. M.Sc. thesis. Florida Atlantic University.
- Cunha, A. L. B. N. e J. R. Setti (2006), Calibração do Modelo de Desempenho de Caminhões do CORSIM Através de um Algoritmo Genético. *XX ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Brasília-DF.
- Cunha, A. B. L. N.; J. E. Bessa Jr. e J. R. Setti (2009) Genetic algorithm for the calibration of vehicle performance models of microscopic traffic simulators. *Progress in Artificial*

Intelligence - Proceedings of the 14th Portuguese *Conference on Artificial Intelligence*, Aveiro, Portugal. Springer-Verlag, v. 5816. p.3–14. DOI: 10.1007/978-3-642-04686-5\_1

Demarchi, S. H., & Setti, J. R. (1997). Determinação da capacidade e nível de serviço em interseções rodoviárias através de simulação. *Transportes*, 5(2). <https://doi.org/10.14295/transportes.v5i2.280>

DER/MG (2013) RT-04.16.c *Autorização de Acessos a Rodovias Sob Jurisdição ou Circunscrição do DER/MG*. Belo Horizonte.

Dhatrak, A., Edara, P., Bared, J. (2010) Performance analysis of parallel flow intersection and displaced left turn intersection designs. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2171, 33–43. DOI: 10.3141/2171-04

DNIT. (2006). *Manual de Estudos de Tráfego*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes., Rio de Janeiro. (IPR. Publ. 723).

DNIT. (2005). *Manual de Projeto de Interseções*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2.ed., Rio de Janeiro. (IPR. Publ. 718).

Dorothy, P.W., Maleck, T.L., Nolf, S.E. (1997) Operational aspects of Michigan design for divided highways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1579, 18–26.

El Esawey, M., Sayed, T. (2007) Comparison of two unconventional intersection schemes: crossover displaced left-turn and upstream signalized crossover intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2023, 10–19. DOI: 10.3141/2023-02

El Esawey, M., Sayed, T. (2013) Analysis of unconventional arterial intersection designs (UAIDs): state-of-the-art methodologies and future research directions. *Transportmetrica A: Transport Science*, 9(10), 860–895. DOI:10.1080/18128602.2012.672344.

El Esawey, M., Sayed T. (2011) Operational performance analysis of the unconventional median U-turn intersection design. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 38(11), 1249–1261. DOI: 10.1139/111-085

Federal Highway Administration. *EDC-2 Intersection and Interchange Geometrics website*. <https://www.fhwa.dot.gov/everydaycounts/edctwo/2012/>. Accessed Dec. 30, 2014.

Fitzpatrick, K., M. A. Brewer, P. Dorothy, and E. S. Park. (2014) National Cooperative Highway Research Program Report 780: Design Guidelines for Intersection Auxilliary Lanes, NCHRP, *Transportation Research Board, National Research Council*, Washington, DC.

FHWA. (2014). *Median U-Turn Informational Guide*. Federal Highway Administration (FHWA).

Hollander, Y. and R. Liu (2008) The principles of calibrating traffic microsimulation models. *Transportation*, v. 35, n. 3, p. 347–362. DOI: 10.1007/s11116-007-9156-2.

Hughes, W., Jagannathan, R., Sengupta, D., Hummer, J. (2010) Alternative Intersections/interchanges: informational report (AIIR). *Publication FHWA-HRT-09-06*. FHWA, U.S. Department of Transportation.

Hummer, J.E. (1998) Unconventional left-turn alternative for urban and suburban arterials – part one. *ITE Journal*, 68 (9), 26–29.

Hummer, J., B. Ray, A. Daleiden, P. Jenior, and J. Knudsen. (2014) Restricted Crossing U-Turn Informational Guide. *Report FHWA-SA-14-070*. Federal Highway Administration, Washington, D.C.

Lacerda, V. M.; (2016) *Estimação da velocidade média em vias urbanas com o uso do microsimulador VISSIM*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará.

Mohamed, A. I. Z., Ci, Y., Tan, T. (2020) A Novel Methodology for Estimating the Capacity and Level of Service for the New Mega Elliptical Roundabout Intersection. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, 8467152. <https://doi.org/10.1155/2020/8467152>

- Mohamed, A. I. Z., Ci, Y., Tan, Y. (2019) Mega elliptical roundabouts versus grade-separation interchange. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport, pp. 1–21. Polytechnic University and Kittelson & Associates, Inc. Analysis of Freeway Weaving Sections. *NCHRP Project 03-75 Final Report*. Brooklyn, N.Y., 2008.
- OLIVEIRA, Juliângelo Kayo Sangi de. (2021) *Adaptação do HCM-6 para análise de rodovias de pista simples sem faixas adicionais em Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia e Transportes – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- PEREIRA, H. M.; BESSA JR., J. E. (2017) Análise comparativa de métodos para cálculo do nível de serviço em rodovias de pista simples. In: *Anais do XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2017*, Rio de Janeiro, RJ.
- Reid, J. and Hummer, J. (1999) Analyzing system travel time in arterial corridors with unconventional designs using microscopic simulation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1678, 208–215.
- S. Dash, S. S. M., Dey, P. P. (2017) Estimation of critical gap of U-turns at uncontrolled median openings/ *Transportation Letters*, 11(5), 229–240. DOI: 10.1080/19427867
- Setti, J.R. (2009) *Highway Capacity Manual ou um Manual de Capacidade Rodoviária Brasileiro*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Shahi, J., Choupani, A. (2009) Modelling the operational effects of unconventional U-turns at a highway intersection. *Transportmetrica*, 5(3), 173-191. DOI: 10.1080/181286009002795042.
- Silva, F. A., Bessa, J. E., Costa, A. L., Cunha, A. L., Velho, D M. C. (2022) Analysis of no-passing zones to assess the level of service on two-lane rural highways in Brazil. *Case Studies on Transport Policy*, v. 10, n. 1, p. 248-256. DOI: 10.1016/j.cstp.2021.12.006.
- TRB. (2016). *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board. Washington DC.
- TRB. (2022). *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board. Washington DC.
- Triola, M. F. (2017) *Elementary Statistics* - 12<sup>a</sup> edition. 792 p. Ed. Pearson.

Washburn, S.S., Watson, D.; Bian, Z.; Luttinen, T.; Al-Kaisy, A.; Jafari, A.; Downling, R.; Elias, A.. (2018). Improved Analysis of Two-Lane Highway Capacity and Operational Performance. Final Report for NCHRP Project 17-65 *National Cooperative Highway Research Program*, TRB, Washington, Web-Only Document 255.

Zhou, J. Lu, X., Yang, S., Dissanayake, K. M. Williams. (2002) Operational effects of U-turns as alternatives to direct left turns from driveways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1796,(1), 72–79.

## APÊNDICE “A”

Neste Apêndice, são apresentadas as tabelas contendo todos os coeficientes de ajuste obtidos para cada modelo de tráfego ( $di_1$ ,  $di_2$ ,  $di_3$ ,  $EDTT_1$  e  $EDTT_2$ ) do método proposto.

Tabela 27 - Coeficientes do modelo para obter  $d_{i1}$ ,  $FFS = 60$  km/h, e seus respectivos valor- $p$

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h					
$P_{HV}$	$q_p$	$a$	valor- $p$	$a_1$	valor- $p$
10	300	1,236666667	9,53141E-21	0,0567778	6,58793E-05
	600	0,781111111	3,58886E-14	0,0635000	9,65937E-07
	900	0,444444444	8,20554E-09	0,0716296	1,23881E-16
	1200	N/A	0,101223845	0,2690370	4,25357E-19
	1500	-64,1844444	9,46919E-08	0,5993037	2,0459E-17
	1800	-27,3377778	3,39854E-09	0,5102840	4,11976E-14
20	300	0,322222222	5,67852E-19	0,0617778	5,5531E-16
	600	0,245555556	0,015034407	0,0722037	1,75557E-17
	900	-0,67888889	9,35217E-07	0,0855185	1,68436E-12
	1200	-44,6011111	0,005871659	0,3364537	5,90072E-09
	1500	-74,7777778	4,47622E-13	0,4550815	1,50553E-15
	1800	-63,6355556	4,74856E-25	0,4765679	6,81887E-18
30	300	0,003333333	3,29988E-16	0,0718889	3,0449E-05
	600	-0,166666667	3,21922E-16	0,0821481	6,2029E-10
	900	-45,9377778	9,53092E-07	0,4382222	1,37957E-09
	1200	-34,2977778	0,000495325	0,2319074	2,42673E-11
	1500	-97,7244444	3,34525E-15	0,5040889	4,80884E-16
	1800	-72,8155556	1,59563E-15	0,5262099	1,82233E-20
40	300	0,356666667	1,86729E-11	0,0621111	0,001620106
	600	N/A	0,989581143	0,0630185	0,021623041
	900	-4,0477778	1,34621E-17	0,1039877	6,72761E-18
	1200	-43,1455556	2,25544E-07	0,3571389	2,9485E-10
	1500	-3,82555556	7,77424E-07	0,4253852	1,21365E-09
	1800	N/A	0,766072479	0,2990185	2,29911E-05
50	300	0,254444444	1,059E-25	0,0643333	1,34736E-05
	600	28,52888889	9,00329E-05	-0,0400000	6,23077E-05
	900	-9,47222222	1,39115E-13	0,1450000	0,00018915
	1200	-103,631111	2,69288E-13	0,5835741	1,60275E-15
	1500	N/A	0,167781521	0,3106519	5,1298E-05
	1800	28,43222222	0,000115383	0,6605864	1,89924E-06

Tabela 28 - Coeficientes do modelo para obter  $d_{i1}$ ,  $FFS = 70$  km/h, e seus respectivos valor- $p$ 

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h					
$P_{HV}$	$q_p$	$a$	valor- $p$	$a_1$	valor- $p$
10	300	1,002222	0,024611485	0,056740741	1,2309E-05
	600	0,794444	1,39068E-08	0,06087037	0,031195524
	900	-0,083333	0,010021268	0,069691358	1,10503E-14
	1200	N/A	0,350290542	0,172703704	1,17163E-21
	1500	-72,181111	0,04456693	0,508318519	4,61439E-24
	1800	-36,907778	0,003954811	0,43741358	3,72023E-16
20	300	0,393333	0,004640974	0,060888889	0,01673391
	600	0,794444	1,08743E-07	0,064833333	2,16829E-11
	900	-0,456667	0,007424235	0,07954321	2,16748E-15
	1200	N/A	0,068591634	0,278351852	4,49662E-08
	1500	-34,111111	0,015521079	0,283007407	5,84896E-07
	1800	N/A	0,134663241	0,424018519	6,33006E-23
30	300	0,353333	1,84587E-08	0,062222222	0,009768572
	600	1,978889	2,31475E-10	N/A	0,795553678
	900	-0,111111	0,006229732	0,076592593	0,015786757
	1200	-24,645556	0,041796065	0,184564815	4,45138E-10
	1500	-85,765556	7,13622E-05	0,444688889	6,29979E-17
	1800	N/A	0,073750838	0,437654321	4,84276E-17
40	300	0,200000	5,83509E-07	0,062666667	3,89803E-22
	600	1,083333	1,93332E-07	N/A	0,396085837
	900	-1,827778	0,00975903	0,087567901	1,76252E-10
	1200	-50,364444	0,00320349	0,343722222	1,5348E-07
	1500	N/A	0,071989986	0,47282963	5,48396E-14
	1800	71,483333	7,28637E-06	0,319697531	4,17262E-07
50	300	N/A	0,461267115	N/A	0,143843051
	600	10,505556	0,000481202	0,02212963	5,16301E-07
	900	N/A	0,388201997	0,17862963	5,81463E-05
	1200	N/A	0,974426336	0,49762963	2,24769E-13
	1500	33,557778	3,1773E-06	0,362844444	6,86534E-09
	1800	48,320000	0,043675074	0,516728395	1,58047E-07

Tabela 29 - Coeficientes do modelo para obter  $d_{i1}$ ,  $FFS = 80$  km/h, e seus respectivos valor- $p$ 

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h					
$P_{HV}$	$q_p$	$a$	valor- $p$	$a_1$	valor- $p$
10	300	0,67	1,12557E-07	0,058111111	0,000874257
	600	0,473333333	0,000775695	0,061888889	4,59411E-12
	900	-0,121111111	0,00113989	0,069987654	1,52491E-15
	1200	-12,0144444	0,004846339	0,14362037	1,4066E-19
	1500	-68,5633333	0,001920856	0,381192593	2,46881E-18
	1800	N/A	0,078621999	0,403154321	8,28395E-22
20	300	0,125555556	1,52354E-08	0,063074074	2,06235E-07
	600	N/A	0,068045692	0,061851852	1,55319E-11
	900	-0,681111111	0,000308328	0,077666667	4,02435E-18
	1200	-13,0988889	3,05786E-07	0,128472222	0,000338728
	1500	-38,8922222	3,16955E-08	0,2718	1,52144E-07
	1800	-79,7377778	0,025679883	0,387012346	1,82864E-19
30	300	0,47	9,154E-07	N/A	0,112030548
	600	N/A	0,155420954	0,065074074	0,000423158
	900	5,583333333	0,004831115	N/A	0,193222986
	1200	-17,7455556	2,17374E-05	0,150268519	1,05717E-08
	1500	-83,6011111	1,38092E-07	0,420288889	2,16346E-15
	1800	-51,7977778	0,263435565	0,426234568	2,66467E-17
40	300	0,636666667	1,7733E-07	0,057666667	0,000366024
	600	-3,35888889	5,5536E-05	0,094685185	0,133914443
	900	-2,446666667	0,007791791	0,085111111	4,11752E-20
	1200	-44,9055556	0,000128538	0,29187963	4,59589E-12
	1500	-54,5288889	4,51648E-06	0,437007407	3,46108E-13
	1800	59,10888889	1,49117E-06	0,313345679	2,90012E-08
50	300	0,335555556	0,005370069	0,062074074	0,000480404
	600	27,54777778	0,000255381	-0,049203704	1,48266E-05
	900	-5,21444444	3,69855E-05	0,100555556	4,0249E-15
	1200	-60,4933333	1,19873E-09	0,446666667	1,04831E-13
	1500	97,45222222	3,26531E-05	0,232466667	0,00046264
	1800	15,51222222	3,70514E-07	0,654364198	0,000216289

Tabela 30 - Coeficientes do modelo para obter  $d_{i1}$ ,  $FFS = 90$  km/h, e seus respectivos valor- $p$ 

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h					
$P_{HV}$	$q_p$	$a$	valor- $p$	$a_1$	valor- $p$
10	300	0,303333333	1,27372E-06	0,061888889	1,48363E-06
	600	0,283333333	2,60845E-07	0,062833333	1,07796E-14
	900	N/A	0,268443397	0,06908642	9,55405E-16
	1200	-12,4188889	2,80659E-09	0,148657407	2,51909E-21
	1500	-75,9388889	0,002253299	0,372422222	9,57616E-14
	1800	N/A	0,580160564	0,353537037	1,02714E-21
20	300	0,414444444	0,00141204	N/A	0,147427132
	600	0,861111111	0,010292361	0,061907407	3,02901E-06
	900	-0,354444444	0,043350697	0,075148148	2,34612E-13
	1200	-14,8888889	8,59851E-08	0,155740741	0,000606824
	1500	-21,2022222	0,009209198	0,226	6,72389E-05
	1800	N/A	0,664537922	0,364012346	4,75394E-19
30	300	0,104444444	0,008718137	0,061925926	1,96251E-13
	600	N/A	0,11666017	0,0645	0,001988047
	900	-19,4255556	0,000370497	0,174481481	6,31428E-05
	1200	-13,06	4,62787E-08	0,130592593	1,12525E-10
	1500	-75,5444444	0,000507487	0,420859259	3,31191E-10
	1800	N/A	0,274170074	0,422024691	1,56813E-14
40	300	0,065555556	0,000396207	0,062851852	5,61033E-09
	600	0,594444444	9,44981E-05	0,0615	0,001086185
	900	-1,584444444	0,005197868	0,078938272	6,52541E-14
	1200	-54,9677778	7,38528E-05	0,404768519	3,23216E-09
	1500	-83,9522222	0,008722062	0,440748148	2,32919E-17
	1800	N/A	0,860618114	0,346512346	3,36378E-09
50	300	0,316666667	0,004534453	N/A	0,718659775
	600	4,598888889	0,007672856	0,046685185	0,035035574
	900	-6,343333333	0,00071292	0,10517284	6,63096E-05
	1200	-71,43333333	0,028326513	0,466537037	3,73337E-21
	1500	69,77444444	0,01148876	0,269533333	0,000140545
	1800	N/A	0,386974328	0,570919753	6,1303E-06

Tabela 31 - Coeficientes do modelo para obter  $d_{i2}$  e seus respectivos valor-p

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$b$	valor-p	$b_1$	valor-p	$b_2$	valor-p
10	-1,59723457	3,07398E-22	0,016655672	2,05553E-23	0,033534799	1,47402E-19
20	-0,50938272	1,0633E-13	0,014891656	5,03727E-54	N/A	0,062211258
30	N/A	0,072133881	0,0077268	5,76787E-06	0,01525234	7,97635E-05
40	-1,6122963	0,001607146	0,013801677	0,006962344	0,056271876	2,62797E-06
50	-1,99940741	4,73375E-06	0,021184252	1,52423E-06	0,040927961	4,08655E-05
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$b$	valor-p	$b_1$	valor-p	$b_2$	valor-p
10	-1,292	4,30478E-16	0,012184008	1,22011E-14	0,030852666	5,03281E-17
20	-0,29916049	0,004355495	0,012198551	2,61921E-23	-0,007358567	0,002321967
30	N/A	0,14290283	0,008082051	1,88157E-05	N/A	0,147879001
40	-1,53175309	8,99719E-05	0,014505972	0,000215394	0,033402523	0,000196003
50	-1,48577778	0,000245732	0,027624539	9,33685E-11	N/A	0,975427223
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$b$	valor-p	$b_1$	valor-p	$b_2$	valor-p
10	-1,22385185	9,99111E-16	0,017136171	3,00686E-25	0,006823362	0,031801408
20	-0,15106173	0,025682508	0,009400212	2,20468E-29	-0,007883598	8,99196E-07
30	N/A	0,361140962	0,003401221	0,031341904	0,013762719	0,000175745
40	-1,3122963	0,00026713	0,016689752	5,15888E-06	0,016267806	0,046011033
50	-1,516	0,003886589	0,040616166	7,18395E-13	-0,02519536	0,035669871
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$b$	valor-p	$b_1$	valor-p	$b_2$	valor-p
10	-0,96666667	1,93448E-12	0,013080016	2,43916E-19	0,006109076	0,037291127
20	N/A	0,574249885	0,008777317	4,04739E-15	-0,009422059	7,07051E-05
30	N/A	0,318971863	N/A	0,792075345	0,028815629	0,003566119
40	N/A	0,139485759	N/A	0,859707857	0,028638584	6,48206E-10
50	-2,35348148	5,69772E-07	0,02100973	7,51964E-06	0,047901913	8,00568E-06

Tabela 32 - Coeficientes do modelo para obter  $d_{i3}$  e seus respectivos valor-p

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$c$	valor-p	$c_1$	valor-p	$c_2$	valor-p
10	1,072938272	1,38154E-18	0,024372866	1,80368E-22	0,033500204	3,67357E-19
20	1,976345679	2,64658E-16	0,023422739	4,6072E-62	-0,003235653	0,014978913
30	2,03837037	0,003730115	0,014167377	1,03376E-08	0,014737485	6,8752E-05
40	0,745185185	0,000457328	0,023205565	0,0018509	0,05477615	2,78563E-06
50	0,320444444	2,82273E-08	0,035650082	1,72725E-09	0,036461131	3,60149E-05
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$c$	valor-p	$c_1$	valor-p	$c_2$	valor-p
10	1,302666667	1,95055E-14	0,018189968	8,63643E-15	0,030840456	4,28799E-17
20	2,185037037	0,001997762	0,01925091	2,2629E-26	-0,007688238	0,001052974
30	2,031407407	0,009286713	0,014786158	1,12144E-07	N/A	0,146578844
40	0,824444444	6,18661E-06	0,024180684	1,22631E-05	0,031660562	0,000174237
50	0,781382716	1,16956E-05	0,044251274	7,83841E-13	N/A	0,859378995
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$c$	valor-p	$c_1$	valor-p	$c_2$	valor-p
10	1,322320988	3,25035E-15	0,025838127	2,77407E-26	0,006921042	0,026954851
20	2,322469136	0,004625288	0,014884767	3,00871E-35	-0,007637363	2,66364E-07
30	2,114074074	0,009995993	0,008452858	0,000190811	0,012673993	0,000270724
40	0,957925926	9,37835E-06	0,027888008	1,22961E-07	0,015614571	0,045358805
50	0,830666667	0,000739458	0,064197554	1,57749E-15	-0,030299145	0,007306226
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$c$	valor-p	$c_1$	valor-p	$c_2$	valor-p
10	1,565185185	3,473E-12	0,01996378	1,20942E-20	0,006039886	0,035721014
20	N/A	0,184843012	0,014331468	1,99234E-19	-0,009422059	1,88608E-05
30	N/A	0,145852905	N/A	0,481778507	0,028235653	0,003846669
40	1,986271605	0,005240453	N/A	0,169534297	0,027712658	4,60831E-10
50	0,030469136	2,41603E-08	0,034779837	1,264E-07	0,042183557	2,2794E-05

Tabela 33 - Coeficientes do modelo para obter  $EDTT_1$ , para Entrecruzamento de 35 metros e seus respectivos valor- $p$

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	12,29888889	1,785E-107	N/A	0,584416865	0,003815629	0,003878923
20	12,70259259	8,35023E-49	0,003912332	3,8419E-06	-0,011930708	0,000105057
30	11,8837037	4,84712E-18	0,001910684	0,002258291	0,007922772	0,017016985
40	11,75571237	5,2842E-18	0,000966995	0,005234784	0,020582814	0,000148579
50	N/A	0,446522787	N/A	0,060424424	N/A	0,155052704
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	11,90796296	2,1447E-102	N/A	0,738940755	0,004059829	0,00286176
20	12,16203704	8,51887E-69	0,002603175	1,22027E-05	-0,005535714	0,009893104
30	11,44037037	1,7454E-85	0,000853968	0,041780991	0,008710317	1,377E-07
40	8,79796147	1,86956E-09	0,004819518	0,004888139	0,012554517	0,037111019
50	N/A	0,228035967	N/A	0,527511473	0,163490537	0,000304151
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	11,68740741	5,2576E-90	N/A	0,606305951	0,003559219	0,021820796
20	12,07814815	9,71379E-77	0,002312698	1,26602E-05	-0,005734127	0,002756698
30	10,89759259	3,33826E-48	0,002342715	0,001223359	0,003328755	0,020458752
40	6,476481481	0,011191834	0,001325376	0,006771767	0,046697192	8,28086E-05
50	N/A	0,590605453	N/A	0,186224705	0,0520116	0,048280432
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	11,71648148	0,00263558	0,00061512	1,94844E-43	-0,000318987	0,013338618
20	11,7912963	6,13308E-46	0,003690761	7,61325E-06	-0,009375763	0,001663177
30	11,75944444	5,7752E-32	0,001897599	0,007379286	N/A	0,443540412
40	8,228148148	1,88129E-08	0,003807102	0,032443214	0,018930098	0,003814438
50	N/A	0,66185886	N/A	0,751869671	0,209781746	0,00553014

Tabela 34 - Coeficientes do modelo para obter  $EDTT_1$ , para Entrecruzamento de 45 metros e seus respectivos valor- $p$

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	14,265	5,503E-111	0,000691453	5,17156E-19	-0,000691392	0,001300541
20	15,07333333	5,88378E-18	0,003871551	0,019960277	-0,01345696	0,026800092
30	12,83055556	3,73382E-13	0,00760989	7,19805E-05	N/A	0,069488363
40	N/A	0,2517765	-0,007380342	0,037856567	0,304114011	0,045470355
50	N/A	0,503553	N/A	0,757059357	0,620384615	0,021452348
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	13,78888889	2,1776E-100	0,000783272	3,16379E-15	-0,00092033	0,001835256
20	14,95277778	1,32106E-15	0,004268315	0,02206005	N/A	0,058508962
30	12,08444444	1,47967E-26	0,002261966	0,012902935	0,00967033	0,003953041
40	-15,4625	0,006264794	0,007404762	0,036627821	0,197142857	0,003754727
50	N/A	0,125295879	N/A	0,719653488	0,384615385	0,003556413
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	13,63611111	2,7315E-99	0,000608669	8,86465E-11	-0,000384615	0,019111755
20	14,67222222	8,35166E-12	N/A	0,563612276	N/A	0,887875068
30	13,09777778	7,12338E-14	0,004904335	0,00690492	-0,004418498	0,049525946
40	11,61277778	0,000207938	0,003229487	0,038880653	N/A	0,139872279
50	N/A	0,394009553	N/A	0,569840128	0,16400641	0,021051692
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	13,42888889	5,77212E-96	0,000725946	5,99084E-12	-0,000943223	0,004438511
20	14,52277778	5,68622E-11	0,005446459	0,023633785	-0,015641026	0,007370183
30	13,39333333	1,30507E-11	0,005046337	0,017706523	-0,006826923	0,037216183
40	10,105	8,3621E-05	N/A	0,058285466	N/A	0,295789184
50	N/A	0,332783843	N/A	0,088597145	N/A	0,174924027

Tabela 35 - Coeficientes do modelo para obter  $EDTT_1$ , para Entrecruzamento de 55 metros e seus respectivos valor- $p$

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	14,90444444	6,5678E-110	0,000770085	1,3544E-19	-0,000663919	0,004060274
20	15,65111111	7,15055E-15	0,003999756	0,047974495	-0,013443223	0,048724853
30	14,40555556	8,51546E-16	N/A	0,072093092	N/A	0,450461271
40	3,429722222	0,2842793	-0,001427015	0,394412335	0,120908883	0,225335762
50	N/A	0,5685586	N/A	0,716731578	0,236991758	0,000210254
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	14,605	5,2074E-104	0,000662821	1,94709E-13	-0,000540293	0,046488928
20	15,05833333	1,90034E-73	0,000711233	0,001109933	N/A	0,933432491
30	12,00777778	7,98474E-16	N/A	0,640923987	0,023672161	2,959E-05
40	0,078611111	0,161076533	0,018261416	0,329981506	0,033113553	0,219348334
50	N/A	0,322153066	0,03584536	0,019039024	N/A	0,438667078
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	14,42555556	5,25253E-74	0,000464164	0,020956072	0,000123626	0,00863965
20	14,73777778	4,08304E-33	0,002115324	0,013539098	-0,005128205	0,009770133
30	13,93333333	9,049E-18	0,003122405	0,04324846	N/A	0,761682075
40	12,27111111	5,82806E-08	0,008092735	0,002117603	N/A	0,494817993
50	N/A	0,46558949	N/A	0,976076422	0,266799451	0,009195457
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	14,135	9,17583E-91	0,000574115	1,71468E-06	N/A	0,489089929
20	15,15722222	4,11433E-10	0,005946825	0,026079441	-0,018869048	0,042665015
30	12,09277778	4,76469E-29	0,002815385	0,000791377	0,008649267	0,004368466
40	10,81166667	0,000181812	N/A	0,703547264	0,031501832	0,014499745
50	N/A	0,255456614	0,15128254	0,0327651	N/A	0,585359559

Tabela 36 - Coeficientes do modelo para obter  $EDTT_1$ , para Entrecruzamento de 65 metros e seus respectivos valor- $p$

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	16,01222222	7,6229E-113	0,000703663	2,81487E-18	-0,000554029	0,013099443
20	17,01277778	6,57767E-12	0,005644933	0,032450364	-0,019839744	0,03971736
30	16,11722222	1,45129E-16	0,004333211	0,02317781	N/A	0,579197578
40	N/A	0,313453213	N/A	0,297825902	N/A	0,289605867
50	N/A	0,626906426	N/A	0,572473994	0,218553114	1,41556E-05
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	15,46666667	7,3003E-106	0,000905372	2,22817E-19	-0,001153846	4,61342E-05
20	15,95166667	1,50517E-88	0,000948046	8,45845E-10	-0,001057692	0,033686857
30	11,76666667	1,53889E-10	0,005533578	0,006379566	N/A	0,238298015
40	N/A	0,198524223	N/A	0,34598626	N/A	0,119241132
50	N/A	0,397048447	N/A	0,685592954	0,34356685	0,000184248
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	15,26944444	6,81487E-95	0,00054304	1,54077E-06	N/A	0,827985672
20	15,715	8,42267E-56	0,001351099	0,001101735	-0,002600733	0,007757014
30	14,70222222	1,09523E-21	N/A	0,050358153	N/A	0,274340702
40	10,71888889	5,17423E-05	0,00449127	0,015435454	0,032738095	0,005468358
50	N/A	0,403526361	N/A	0,805836585	0,201703297	0,000759782
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	15,04888889	4,07632E-90	0,000654396	6,47743E-07	-0,000700549	0,011342645
20	15,61666667	5,87978E-35	0,002718254	0,001559739	-0,00672619	0,029186683
30	12,33388889	4,26776E-13	0,00427033	0,01652438	N/A	0,354077599
40	12,02222222	0,000294274	N/A	0,560357029	0,030796703	0,037137811
50	N/A	0,300608434	N/A	0,868121618	0,319020147	0,011031327

Tabela 37 - Coeficientes do modelo para obter  $EDTT_1$ , para Entrecruzamento de 75 metros e seus respectivos valor- $p$

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	17,91777778	2,7492E-115	0,000759829	3,21689E-19	-0,000457875	0,045082795
20	19,03222222	7,66785E-13	0,006644933	0,01730609	-0,024542125	0,016342021
30	17,83333333	1,75238E-13	0,006711233	0,007934411	N/A	0,189241654
40	15,19722222	6,17487E-06	N/A	0,342061368	0,028850733	0,047045395
50	N/A	0,255711804	0,028273382	0,027680542	0,186117216	0,005264472
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	17,79333333	8,044E-111	0,000738339	7,42299E-16	-0,001021062	0,000187263
20	17,99611111	8,28298E-86	0,000918437	4,58012E-07	N/A	0,797224724
30	15,83888889	5,33883E-23	N/A	0,695754365	0,019491758	0,000189493
40	13,63222222	2,13128E-07	0,007167521	0,018555316	N/A	0,41314197
50	N/A	0,84365488	N/A	0,326537518	0,232376374	1,25591E-05
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	17,53166667	4,74068E-92	0,000403297	0,002856011	N/A	0,541108907
20	18,38166667	4,97309E-19	N/A	0,483756368	0,001371337	9,61538E-05
30	17,68055556	7,43176E-12	N/A	0,223228239	N/A	0,827683089
40	14,57166667	6,29728E-07	0,007946703	0,019945656	0,001968864	0,008723205
50	N/A	0,195211012	0,009773321	0,006314197	0,34525641	0,004717688
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	17,16	1,93549E-96	0,000601893	6,9727E-07	N/A	0,403677391
20	18,06944444	8,65256E-20	0,004807692	0,00876881	-0,015764652	0,018289243
30	12,22944444	0,000117393	N/A	0,083788014	N/A	0,463344685
40	15,72277778	3,91199E-20	0,004479121	0,004517595	N/A	0,609353156
50	N/A	0,876627889	N/A	0,703950265	0,189478022	0,000302993

Tabela 38 - Coeficientes do modelo para obter  $EDTT_1$ , para Entrecruzamento de 85 metros e seus respectivos valor- $p$

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	17,91777778	2,7492E-115	0,000759829	3,21689E-19	-0,000457875	0,045082795
20	19,03222222	7,66785E-13	0,006644933	0,01730609	-0,024542125	0,016342021
30	17,83333333	1,75238E-13	0,006711233	0,007934411	N/A	0,189241654
40	15,19722222	6,17487E-06	N/A	0,342061368	0,028850733	0,047045395
50	N/A	0,255711804	0,028273382	0,027680542	0,186117216	0,005264472
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	17,79333333	8,044E-111	0,000738339	7,42299E-16	-0,001021062	0,000187263
20	17,99611111	8,28298E-86	0,000918437	4,58012E-07	N/A	0,797224724
30	15,83888889	5,33883E-23	N/A	0,695754365	0,019491758	0,000189493
40	13,63222222	2,13128E-07	0,007167521	0,018555316	N/A	0,41314197
50	N/A	0,84365488	N/A	0,326537518	0,232376374	1,25591E-05
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	17,53166667	4,74068E-92	0,000403297	0,002856011	N/A	0,541108907
20	18,38166667	4,97309E-19	N/A	0,483756368	0,001371337	9,61538E-05
30	17,68055556	7,43176E-12	N/A	0,223228239	N/A	0,827683089
40	14,57166667	6,29728E-07	0,007946703	0,019945656	0,001968864	0,008723205
50	N/A	0,195211012	0,009773321	0,006314197	0,34525641	0,004717688
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$d$	valor- $p$	$d_1$	valor- $p$	$d_2$	valor- $p$
10	17,16	1,93549E-96	0,000601893	6,9727E-07	N/A	0,403677391
20	18,06944444	8,65256E-20	0,004807692	0,00876881	-0,015764652	0,018289243
30	12,22944444	0,000117393	N/A	0,083788014	N/A	0,463344685
40	15,72277778	3,91199E-20	0,004479121	0,004517595	N/A	0,609353156
50	N/A	0,876627889	N/A	0,703950265	0,189478022	0,000302993

Tabela 39 - Coeficientes do modelo para obter  $EDTT_2$ , para Entrecruzamento de 35 metros e seus respectivos valor-p

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor-p	$e_1$	valor-p	$e_2$	valor-p
10	15,51065581	4,64357E-24	-0,001417692	0,024914621	N/A	0,392476312
20	14,7133308	2,0775E-33	0,002560253	0,009923257	-0,009430516	0,00229173
30	10,41047692	0,046552787	N/A	0,579771636	0,023484957	0,013347991
40	7,001329962	0,026556654	0,005975364	0,043542287	0,025849432	0,003193651
50	N/A	0,613515953	0,030343314	0,014687058	N/A	0,314447411
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor-p	$e_1$	valor-p	$e_2$	valor-p
10	13,84275748	5,44666E-16	N/A	0,310258788	-0,004528415	0,033925062
20	13,22229833	1,15571E-26	0,002566087	0,014128692	-0,004369628	0,01761798
30	11,38510908	1,63923E-20	0,001339065	0,021014165	0,014056829	3,19653E-05
40	2,573105741	0,036635851	0,013713839	5,32412E-07	N/A	0,707834339
50	N/A	0,075807045	N/A	0,052002693	N/A	0,065218981
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor-p	$e_1$	valor-p	$e_2$	valor-p
10	13,20483257	9,42451E-52	-0,001335681	0,03447189	0,00692574	0,000466791
20	12,57113141	1,11805E-43	0,002327747	0,000828927	-0,005132521	0,016868867
30	6,17722041	0,012930615	0,009876789	3,70942E-05	N/A	0,384616303
40	-1,71271028	0,007234264	N/A	0,208268875	0,063713813	7,18253E-06
50	N/A	0,247949673	N/A	0,374417723	0,163831679	0,04392446
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor-p	$e_1$	valor-p	$e_2$	valor-p
10	11,69099442	2,50467E-79	N/A	0,937638061	0,004089064	0,00048781
20	11,09580162	4,12859E-17	0,003879719	0,001058426	-0,004139207	0,025518416
30	10,68650052	2,08727E-08	0,003818381	0,026816476	0,003929901	0,045752424
40	0,70973001	0,008652532	0,013085327	0,000900349	N/A	0,432444962
50	N/A	0,549240015	N/A	0,905628591	0,287787428	0,00550383

Tabela 40 - Coeficientes do modelo para obter  $EDTT_2$ , para Entrecruzamento de 45 metros e seus respectivos valor- $p$

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	18,87222222	2,77662E-12	-0,002173077	0,044022029	-0,001456044	0,008873887
20	17,31	3,03502E-48	N/A	0,059309755	-0,002165751	0,030054291
30	4,578888889	0,04854247	0,033851099	0,00010088	N/A	0,051932104
40	12,81666667	0,001447602	0,009291514	0,005961662	0,009990842	0,005754548
50	N/A	0,203766263	0,070873748	0,000402461	N/A	0,566082607
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	16,48666667	6,94625E-09	0,004460806	0,015951365	-0,017696886	0,012775078
20	15,69333333	9,39183E-30	N/A	0,172356417	N/A	0,945004587
30	12,23611111	4,65413E-09	0,004135836	0,007583314	0,018685897	0,029331533
40	-19,36833333	0,024421483	0,106740293	2,32293E-06	-0,262106227	0,000937627
50	N/A	0,275474077	N/A	0,318207084	N/A	0,401862304
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	15,80277778	2,76387E-27	-0,003823565	0,001125518	0,013978938	0,001137445
20	13,37333333	7,85653E-14	0,002975031	0,010340415	N/A	0,951472647
30	N/A	0,935611785	0,046161355	0,000106247	-0,106794872	0,01139095
40	N/A	0,588985496	0,042046337	2,30758E-05	N/A	0,132439639
50	N/A	0,417716267	0,055952259	0,004214648	N/A	0,567941408
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	13,35222222	3,90879E-29	-0,003616789	0,000111527	0,017623626	7,09975E-07
20	9,420555556	5,59351E-06	0,007662149	0,002157936	N/A	0,631730049
30	9,010555556	2,34456E-07	0,003444567	0,008525422	0,021185897	0,004533543
40	N/A	0,705455078	0,03290989	0,001768928	N/A	0,329185224
50	N/A	0,194795563	0,086618742	0,000247752	N/A	0,184130455

Tabela 41 - Coeficientes do modelo para obter  $EDTT_2$ , para Entrecruzamento de 55 metros e seus respectivos valor- $p$

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	19,31333333	1,58871E-13	-0,00270409	0,03113201	N/A	0,946017377
20	17,43944444	3,27452E-51	N/A	0,603363747	N/A	0,839072163
30	14,82888889	1,25144E-14	0,001188095	0,00535603	0,022142857	0,002269161
40	2,512222222	0,007519534	0,043607509	4,0631E-05	-0,085013736	0,022406902
50	N/A	0,257175275	N/A	0,917912844	1,043585165	0,021566346
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	17,01722222	6,2887E-11	0,00375293	0,017928691	-0,014693223	0,015118278
20	13,67833333	4,06224E-07	0,004010562	0,019556955	N/A	0,580196729
30	13,59111111	3,06667E-08	N/A	0,766452932	0,031849817	0,002197711
40	10,12444444	0,001629325	0,008854518	0,02547732	0,018402015	0,019900625
50	N/A	0,098220154	0,175634188	0,001728907	N/A	0,314499966
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	14,09111111	0,000270026	N/A	0,794213354	N/A	0,494754715
20	15,53555556	9,54438E-61	0,002296825	1,74244E-09	-0,0025	0,042906865
30	15,28111111	1,14552E-20	N/A	0,538335473	0,013447802	0,013330317
40	N/A	0,283083681	0,02391453	0,002424983	N/A	0,167680362
50	-40,3305556	0,010735844	0,035385836	0,025842943	0,280947802	0,015899195
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	15,17666667	1,44457E-30	-0,00360232	0,000308686	0,016456044	1,09694E-05
20	13,08777778	8,44465E-20	0,003651038	0,006093399	N/A	0,698566563
30	10,79944444	2,95405E-07	N/A	0,515132676	0,030654762	0,000801959
40	N/A	0,871065786	0,032586691	0,004952441	N/A	0,391825425
50	N/A	0,110291766	0,200672772	0,007933412	N/A	0,633039457

Tabela 42 - Coeficientes do modelo para obter  $EDTT_2$ , para Entrecruzamento de 65 metros e seus respectivos valor- $p$

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	20,84333333	1,01271E-15	-0,002704884	0,028766194	N/A	0,892369906
20	17,16388889	2,05428E-27	0,002995116	0,016209701	N/A	0,790531138
30	12,36722222	0,027097228	N/A	0,130792634	0,009171245	0,007167569
40	9,658333333	0,031278241	0,021757326	0,007315297	-0,019739011	0,004955053
50	N/A	0,465209901	N/A	0,582214104	0,295206044	5,19706E-06
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	18,73611111	2,48503E-14	N/A	0,347012857	-0,010302198	0,025502861
20	15,52111111	6,46636E-10	N/A	0,106808811	0,000641026	0,009488064
30	9,453888889	0,00921132	0,016301954	0,021921885	N/A	0,75444734
40	-3,68777778	0,008723634	0,089265629	0,002740444	-0,248621795	0,020852991
50	N/A	0,216352627	0,04373138	0,012254989	N/A	0,127757252
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	19,38222222	1,9473E-33	-0,004610562	6,53185E-05	0,014175824	0,00065085
20	17,17888889	8,36835E-61	0,001971062	9,1611E-07	N/A	0,991836053
30	15,21777778	7,91861E-18	0,004354762	0,010319414	0,008511905	0,016345719
40	N/A	0,910008549	0,032836203	0,000122648	N/A	0,507528211
50	-36,2694444	0,11616105	N/A	0,138897965	0,234271978	0,028615376
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	17,13833333	7,14684E-33	-0,003672039	0,000366122	0,014487179	0,000136311
20	14,34388889	1,73667E-23	0,003633211	0,003389317	N/A	0,337537444
30	13,02166667	6,40806E-20	0,004141758	0,00181364	0,012541209	0,009080574
40	12,44222222	4,85357E-07	N/A	0,411213449	0,034423077	0,001343094
50	N/A	0,263549822	N/A	0,906237755	1,082486264	0,025518633

Tabela 43 - Coeficientes do modelo para obter  $EDTT_2$ , para Entrecruzamento de 75 metros e seus respectivos valor- $p$

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	22,76277778	1,89244E-22	-0,001776007	0,37476063	N/A	0,861621283
20	21,45222222	1,88992E-44	0,001443346	0,076780989	-0,002637363	0,372822244
30	12,21166667	0,027039894	0,023414408	0,000965679	-0,030599817	0,222351858
40	0,998333333	0,027498848	0,046794933	0,000877828	N/A	0,212757403
50	N/A	0,522937062	0,070175458	0,000789976	-0,093960623	0,203162948
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	20,09333333	3,52311E-14	0,004160501	0,121481782	-0,009917582	0,310695527
20	19,42277778	2,13026E-45	0,003232479	1,89418E-05	N/A	0,863527622
30	16,99055556	1,60194E-11	N/A	0,836846211	0,035526557	0,000485174
40	N/A	0,34280207	N/A	0,483955461	N/A	0,113232418
50	N/A	0,68560414	0,022356471	0,13106471	0,065412088	0,225979662
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	21,00833333	6,94269E-42	-0,003374847	0,000209354	0,0166163	1,49192E-06
20	19,22055556	5,6024E-37	0,0036942	0,0002056	N/A	0,997888709
30	18,15333333	2,39937E-27	0,003032234	0,02149405	0,012898352	0,007929013
40	N/A	0,134318466	0,03241801	2,36018E-05	-0,057907509	0,03016324
50	N/A	0,240205435	N/A	0,808843858	0,760283883	0,005672776
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	17,725	7,30841E-34	-0,003101954	0,002215094	0,018763736	1,57223E-06
20	17,40888889	1,70864E-45	0,002812149	2,93383E-05	N/A	0,645580175
30	10,45333333	0,010670596	0,013931197	0,006910469	N/A	0,891391771
40	11,02722222	0,001060157	0,014092613	0,000878983	N/A	0,807764522
50	N/A	0,657281936	0,015629548	0,356059816	0,151510989	0,01635429

Tabela 44 - Coeficientes do modelo para obter  $EDTT_2$ , para Entrecruzamento de 85 metros e seus respectivos valor- $p$

Parâmetros do Modelo Linear FFS = 60 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	21,89888889	2,62417E-22	-0,001713431	0,03764115	N/A	0,823707179
20	20,87111111	2,61809E-53	N/A	0,235542809	-0,000425824	0,008399286
30	17,10333333	1,2072E-13	N/A	0,763032532	0,034491758	0,0001353
40	-20,47611111	0,045629224	0,078000702	0,038177147	N/A	0,181210994
50	N/A	0,091258447	0,155295788	0,000510398	-0,142907509	0,036228669
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 70 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	19,38388889	1,77507E-17	N/A	0,110450519	-0,009308608	0,023886573
20	19,30111111	3,5383E-72	0,002018376	5,27879E-10	N/A	0,599057817
30	13,86833333	0,001588556	0,016341819	0,002931274	-0,029217033	0,013638932
40	N/A	0,107201902	0,049937241	0,001524922	N/A	0,155002991
50	N/A	0,212815248	0,083532662	0,00011857	N/A	0,173616663
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 80 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	20,64	1,33326E-41	-0,003234676	0,000328461	0,012312271	0,000197384
20	19,13666667	8,35349E-52	0,002561844	1,71569E-05	N/A	0,804628612
30	16,63944444	7,26485E-12	N/A	0,212452809	0,018745421	0,047331378
40	17,67444444	1,97911E-27	0,003980281	0,002188172	N/A	0,052163541
50	N/A	0,404689392	N/A	0,380872717	0,186456044	0,000954281
Parâmetros do Modelo Linear FFS = 90 km/h						
$P_{HV}$	$e$	valor- $p$	$e_1$	valor- $p$	$e_2$	valor- $p$
10	19,65777778	4,74579E-41	-0,003027045	0,00051836	0,013841575	2,22641E-05
20	18,98111111	1,18982E-54	0,001763919	0,00072292	N/A	0,296515987
30	18,52333333	6,53596E-28	N/A	0,964933741	0,015549451	0,001506364
40	N/A	0,153797282	0,024142491	0,000400914	N/A	0,350768139
50	N/A	0,161128477	N/A	0,472694141	N/A	0,055247997

## APÊNDICE “B”

Neste Apêndice, na Tabela 45, são apresentados os significados das siglas dos parâmetros comportamentais utilizados na análise de sensibilidade do simulador Aimsun Next.

Tabela 45 – Parâmetros comportamentais utilizados na análise de sensibilidade para utilização do simulador Aimsun

Parâmetro	Descrição	Categoria	Unidade	Valor default
CRTOLBUS	Cruising tolerance - Bus	Vehicle type - Bus	m/s <sup>2</sup>	0,80
CRTOLCAR	Cruising tolerance - Car	Vehicle type - Car	m/s <sup>2</sup>	0,80
CRTOLTR	Cruising tolerance - Truck	Vehicle type - Truck	m/s <sup>2</sup>	0,80
EQVEHBUS	Equipped vehicles - Bus	Vehicle type - Bus	%	100,00
EQVEHCAR	Equipped vehicles - Car	Vehicle type - Car	%	0,00
EQVEHTR	Equipped vehicles - Truck	Vehicle type - Truck	%	0,00
GACCEPMBUS	Guidance acceptance - Mean - Bus	Vehicle type - Mean - Bus	%	75,00
GACCEPMCAR	Guidance acceptance - Mean - Car	Vehicle type - Mean - Car	%	75,00
GACCEPMTR	Guidance acceptance - Mean - Truck	Vehicle type - Mean - Truck	%	80,00
IMPLCBUS	Imprudent Lane-changing - Bus	Vehicle type - Bus	%	0,00
IMPLCCAR	Imprudent Lane-changing - Car	Vehicle type - Car	%	0,00
IMPLCTR	Imprudent Lane-changing - Truck	Vehicle type - Truck	%	0,00
MAXACCMBUS	Max - Bus acceleration - Mean - Bus	Vehicle type - Mean - Bus	m/s <sup>2</sup>	1,00
MAXACCMCAR	Max - Car acceleration - Mean - Car	Vehicle type - Mean - Car	m/s <sup>2</sup>	3,00
MAXACCMTR	Max - Truck acceleration - Mean - Truck	Vehicle type - Mean - Truck	m/s <sup>2</sup>	1,00
MAXCGWTMBUS	Max - Busimum give way time - Mean - Bus	Vehicle type - Mean - Bus	s	50,00
MAXCGWTMCAR	Max - Carimum give way time - Mean - Car	Vehicle type - Mean - Car	s	10,00
MAXCGWTMTR	Max - Truckimum give way time - Mean - Truck	Vehicle type - Mean - Truck	s	50,00
MAXD	Maximum distance	Behaviour - Two-lane car-following model	m	100,00
MAXDECMBUS	Max - Bus deceleration - Mean - Bus	Vehicle type - Mean - Bus	m/s <sup>2</sup>	5,00
MAXDECMCAR	Max - Car deceleration - Mean - Car	Vehicle type - Mean - Car	m/s <sup>2</sup>	6,00
MAXDECMTR	Max - Truck deceleration - Mean - Truck	Vehicle type - Mean - Truck	m/s <sup>2</sup>	5,00
MAXSPD	Maximum speed difference	Behaviour - Two-lane car-following model	km/h	50,00
MAXSPDR	Maximum speed difference on ramp	Behaviour - Two-lane car-following model	km/h	70,00
MINHEADMBUS	Min - Busimum headway - Mean - Bus	Vehicle type - Mean - Bus	s	0,00
MINHEADMCAR	Min - Carimum headway - Mean - Car	Vehicle type - Mean - Car	s	0,00
MINHEADMTR	Min - Truckimum headway - Mean - Truck	Vehicle type - Mean - Truck	s	0,00
MINDVEHMBUS	Min - Bus distance veh - Mean - Bus	Vehicle type - Mean - Bus	m	1,50
MINDVEHMCAR	Min - Car distance veh - Mean - Car	Vehicle type - Mean - Car	m	1,00
MINDVEHMTR	Min - Truck distance veh - Mean - Truck	Vehicle type - Mean - Truck	m	1,50
NDECMBUS	Normal deceleration - Mean - Bus	Vehicle type - Mean - Bus	m/s <sup>2</sup>	2,00
NDECMCAR	Normal deceleration - Mean - Car	Vehicle type - Mean - Car	m/s <sup>2</sup>	4,00
NDECMTR	Normal deceleration - Mean - Truck	Vehicle type - Mean - Truck	m/s <sup>2</sup>	3,50
NVEH	Number of vehicles	Behaviour - Two-lane car-following model		4
POVER	Percentage overtake	Behaviour - Lane-changing	%	90,00
PREC	Percentage recover	Behaviour - Lane-changing	%	95,00
QENTSP	Queue entry speed	Behaviour - Queue speeds	m/s	1,00
QEXITSP	Queue exit speed	Behaviour - Queue speeds	m/s	4,00
SENSFACTMBUS	Sensivity factor - Mean - Bus	Vehicle type - Mean - Bus		1,00
SENSFACTMCAR	Sensivity factor - Mean - Car	Vehicle type - Mean - Car		1,00
SENSFACTMTR	Sensivity factor - Mean - Truck	Vehicle type - Mean - Truck		1,00
SENSIMPLCBUS	Sensivity for imprudent Lane-changing - Bus	Vehicle type - Bus		1,00
SENSIMPLCCAR	Sensivity for imprudent Lane-changing - Car	Vehicle type - Car		1,00
SENSIMPLCTR	Sensivity for imprudent Lane-changing - Truck	Vehicle type - Truck		1,00
SOVERLBUS	Staying in overtaking lane - Bus	Vehicle type - Bus	%	0,00
SOVERLCAR	Staying in overtaking lane - Car	Vehicle type - Car	%	0,00
SOVERLTR	Staying in overtaking lane - Truck	Vehicle type - Truck	%	0,00