



Ministério da Educação - MEC
Universidade Federal do Amapá - UNIFAP
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas - DCET
Colegiado de Bacharelado em Engenharia Civil – CEC



MARCOS VINÍCIUS SILVA MARQUES

**Concepção de interseção alternativa em substituição à rotatória entre
a Rodovia Josmar Chaves Pinto e Rua Hildemar Maia na Cidade de
Macapá - AP: Um estudo de viabilidade**

Macapá – AP
2022



Ministério da Educação - MEC
Universidade Federal do Amapá - UNIFAP
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas - DCET
Colegiado de Bacharelado em Engenharia Civil – CEC



MARCOS VINÍCIUS SILVA MARQUES

Concepção de interseção alternativa em substituição à rotatória entre a Rodovia Josmar Chaves Pinto e Rua Hildemar Maia na Cidade de Macapá - AP: Um estudo de viabilidade

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas (DCET) da Universidade Federal do Amapá, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: **Ma. Cristina Maria Baddini Lucas.**

Coorientador: **Me. Adenilson Costa de Oliveira.**

Macapá – AP
2022



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Biblioteca
Central da Universidade Federal do Amapá Jamile da Conceição da Silva
– CRB-2/1010

- M357c Marques, Marcos Vinícius Silva.
Concepção de interseção alternativa em substituição à rotatória entre a Rodovia Josmar Chaves Pinto e Rua Hildemar Maia na Cidade de Macapá - AP: um estudo de viabilidade / Marcos Vinícius Silva Marques - 2022.
1 recurso eletrônico. 133 folhas.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Campus Marco Zero, Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Macapá, 2022.
Orientadora: Professora Mestra Cristina Maria Baddini Lucas
- Modo de acesso: World Wide Web.
Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF). Inclui referência e apêndices.
1. Rodovias – Interferências e interseções 2. Tráfego. 3. Métodos de simulação. 4. Estudo de viabilidade. I. Lucas, Cristina Maria Baddini, orientadora. II. Título.

Classificação Decimal de Dewey, 22 edição 625.7

MARQUES, Marcos Vinícius Silva. **Concepção de interseção alternativa em substituição à rotatória entre a Rodovia Josmar Chaves Pinto e Rua Hildemar Maia na Cidade de Macapá - AP: um estudo de viabilidade.** Orientadora: Cristina Maria Baddini Lucas. 2022. 133 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Campus Marco Zero, Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Macapá, 2022.



FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do autor: MARQUES, Marcos Vinícius Silva.

Título: Concepção de interseção alternativa em substituição à rotatória entre a Rodovia Josmar Chaves Pinto e Rua Hildemar Maia na Cidade de Macapá - AP: Um estudo de viabilidade

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas (DCET) da Universidade Federal do Amapá, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Data da aprovação: 31 de março de 2022

Banca examinadora

Cristina Maria Baddini Lucas
Mestra em Transportes
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Presidente /
Orientadora

Adenilson Costa de Oliveira
Mestre em Estruturas
Universidade Federal do Amapá

Membro Titular

Gabrielle dos Anjos Curcino
Mestra em Transportes
Universidade Federal do Pará

Membro Convidado

Carlos Eduardo Teixeira Neves
Mestre em Transportes
Universidade de Brasília

Membro Convidado



Ministério da Educação - MEC
Universidade Federal do Amapá - UNIFAP
Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas - DCET
Colegiado de Bacharelado em Engenharia Civil – CEC



Dedico este trabalho a minha avó, que nunca mediu esforços para me propiciar educação de qualidade. Além de ter me direcionado para ser um adulto honrado e digno. Ela viverá eternamente em minha memória, enquanto esta for eterna.



AGRADECIMENTOS

Não há pessoa a quem eu seja mais grato por tudo do que minha mãe, Cledeana Santos, que não desistiu de mim nem mesmo quando eu já havia desistido. Sem o apoio dessa mulher incrível eu certamente não estaria consagrando este momento. Também gostaria de agradecer a todos os meus familiares que sempre depositaram fé e credibilidade em mim, especialmente minhas tias Crizoley e Crisoneide.

Sou grato por todo o conhecimento e experiências que colhi em meus anos de Universidade Federal do Amapá, aos amigos que fiz na e aos professores. Agradeço ainda aos meus orientadores e parceiros de muitos projetos, a Prof^a. Cristina Baddini e o Prof^o Adenilson Oliveira, ou como o chamamos no projeto de extensão, o Prof^o “Adenilshow”. Esse é um par de figuras dentro universidade pelo qual possuo apreço e admiração no mais elevado grau.

Aos meus queridos amigos que contribuíram comigo na missão que tive para construir esse trabalho de conclusão de curso, vocês são os melhores! Anderson Almeida, Elder César e Cássio Rabelo, obrigado por disporem de tempo para mim.

Meus parceiros do “Brazil Without Corruption” seremos para sempre lendas na Turma de Eng. Civil 2015. Meu querido amigo Fábio Dias, desses tu és de certeza um anjo na minha vida.

Agradeço ainda a todos meus demais amigos que me apoiam ou apoiaram ao longo de minha trajetória. Especialmente aqueles mais presentes nos últimos meses e que tem contribuído muito para minha evolução enquanto pessoa, Julyanne Macedo, Douglas Zocoli, Luhana Baddini, Nahiara Baddini, Caio Coutinho, Isabela Santos e Igor Reale. Ainda ao André Badaró, que hoje é um parceiro e mentor dos novos rumos de expansão que venho buscando alcançar.

Por fim, aos meus parceiros de negócio, Wandemberg Almeida e Petter Isackson. Este trabalho é pela e para a SAMAÚMA. Que nosso futuro seja muito próspero e que possamos impactar positivamente a mobilidade urbana no Amapá!

Muito Obrigado!



RESUMO

A descontinuidade gerada pelo encontro de duas ou mais vias cria uma interseção. Nesse ponto surge uma das áreas de maior preocupação quanto a operação e segurança viárias. No encontro da Rodovia Josmar Chaves Pinto com a Rua Hildemar Maia existe um ponto de descontinuidade que tem como solução geométrica uma rótula moderna. Todavia, esta interseção se encontra com defasagem operacional e provoca a elaboração de propostas que se preocupem em eliminar ou atenuar o gargalo viário que essa gerou, especialmente em horários de pico. Para tanto, este estudo foca na proposição de concepção geométrica de uma interseção alternativa que visa solucionar a problemática existente na área estudada e analisa a viabilidade de sua implantação. Almejando criar as bases para a avaliação acurada do estudo de viabilidade, procedeu-se com a realização de pesquisas de tráfego, elaboração de um conceito geométrico de interseção em nível com uso do *software Infracore 2022*®, proposição de uma programação semafórica e microsimulações de tráfego empregadas para avaliar cenários representativos. Os resultados mostram melhoras significativas na operação, mas que encontram limitações quando se considera um horizonte de projeto a longo prazo.

Palavras-Chave: Interseção, interconexão, diamante, divergente, entrecruzamento, simulação.



ABSTRACT

The discontinuity created by the meeting of two or more roads creates an intersection. At this point, one of the areas of greatest concern regarding road operation and safety arises. At the intersection of *Rodovia Josmar Chaves Pinto* and *Rua Hildemar Maia* there is a point of discontinuity whose modern geometry is a hinge solution. However, this intersection has an operational lag and provokes the elaboration of proposals that are concerned with eliminating or mitigating the road bottleneck that it generated, especially at peak times. Therefore, this study focuses on the proposition of geometric creation of an alternative intersection that aims to solve a viable solution existing in the studied area and a feasibility analysis of its implementation. Aiming to create the data for the accurate feasibility study, proceed with the realization of traffic studies, elaboration of a geometric concept, use of the software Infracore 2022[®], proposition of a traffic light programming and traffic microsimulations used to evaluate representative's scenarios. The results show significant improvements in operation, but that encounter limitations when considering a long-term project horizon.

Keywords: Intersection, interchange, diamond, diverging, crossover, simulation.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Interseções em função do número de ramos. Fonte: BRASIL (2005).....	22
Figura 2. Interseções em função da solução adotada. Fonte: BRASIL (2005).....	23
Figura 3. Interseções em níveis diferentes. Fonte: BRASIL (2005).	25
Figura 4. Representação de movimentos em uma interseção. Fonte: DENATRAN (2014). 26	
Figura 5. Tipos básicos de movimento. Fonte: BRASIL (2005).	27
Figura 6. Tipos de conflitos de tráfego, sendo: a) e b) conflitos de cruzamento; c) conflito de convergência; d) conflito de divergência. Fonte: BRASIL (2005).....	28
Figura 7. Fluxo de saturação e tempos perdidos em estágio saturado. Fonte: CONTRAN (2014).	29
Figura 8. Representação gráfica do veículo de projeto CO. Fonte: BRASIL (2005).....	33
Figura 9. Relação entre as funções de mobilidade e acesso. Fonte: Lee (2000).....	40
Figura 10. Curvas de concordância horizontal. Fonte: Pereira et al. (2010).	41
Figura 11. Esquema da concordância com curva simples. Fonte: Lee (2000).....	42
Figura 12. Esquema da concordância com curva de transição. Fonte: Lee (2000).....	43
Figura 13. Interseções alternativas, sendo: (a) Interseção de Fase Dividida Sincronizada e (b) Interconexão Diamante Divergente. Fonte:Chlewicki (2003).....	44
Figura 14. Pontos de conflito em uma DDI. Fonte: FHWA (2021) – Traduzido.	46
Figura 15. Características da DDI. Fonte: FHWA (2014) - traduzido.	48
Figura 16. Geometria e movimentos de tráfego na DDI. Fonte: FHWA (2014).	50
Figura 17. Esquema padrão de fases para uma DDI. Fonte: FHWA (2014).	51
Figura 18. Nomenclatura dos Movimentos Realizados na DDI. Fonte: FHWA (2014) - Traduzido.....	53
Figura 19. Programação semaforica na DDI. Fonte: Leong et. al (2014) - adaptado.	54
Figura 20. Posicionamento dos Grupos Focais. Fonte: NCHRP (2021) - adaptado.....	56
Figura 21. Alocação das linhas de sinalização horizontal. Fonte: FWHA (2014) - adaptado.	57
Figura 22. Aplicação da Setas Direcionais e suas Variações. Fonte: FHWA (2014).....	57
Figura 23. Posicionamento das Placas de Sinalização. Fonte: NCHRP (2021) - adaptado. 59	
Figura 24. Perfis de velocidade conceituais. Fonte: NCHRP (2021) – traduzido.	62
Figura 25. Relação entre a velocidade desejada e os raios de curvas. Fonte: NCHRP (2021) - traduzido.	63
Figura 26. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: O Autor (2022).	65
Figura 27. A rotatória estudada. Fonte: O Autor (2022).....	66
Figura 28. Comprimento aproximado de fila no momento do sobrevoo do VANT. Fonte: O Autor (2022).	67
Figura 29. Dimensões da rotatória existente. Fonte: O Autor (2022).	68
Figura 30. Diagrama de movimentos pesquisados. Fonte: O Autor (2022).....	70
Figura 31. Fluxograma de tráfego. Fonte: BRASIL (2006).....	72
Figura 32. Orientação para concordância dos raios. Fonte: NCHRP (2021) - Traduzido.	74
Figura 33. Comprimentos Tangenciais. Fonte: FHWA (2014).	75
Figura 34. Alternativas de Alinhamento. Fonte: FHWA (2014) - Traduzido.....	76
Figura 35. Alternativa de alinhamento para reduzir a distância entre as interseções. Fonte: FHWA (2014) - Traduzido.	78
Figura 36. Padrão de Trajetória dos Veículos. Fonte: FHWA (2014).	79
Figura 37. Fluxograma.	81
Figura 38. Figura.	82
Figura 39. Fluxograma de tráfego para o ano de abertura. Fonte: O Autor (2022).	86



Figura 40. Fluxograma de tráfego para o ano de projeto. Fonte: O Autor (2022).....	87
Figura 41. Configuração do tipo de estrada. Fonte: captura de tela do <i>Infraworks</i>	89
Figura 42. Atributos da estrada. Fonte: captura de tela do <i>Infraworks</i>	90
Figura 43. Moldagem dos raios e tangentes das interseções de entrecruzamento. Fonte: captura de tela do <i>Infraworks</i>	91
Figura 44. Alocação das barreiras físicas Jersey no interior das interseções. Fonte: captura de tela do <i>Infraworks</i>	91
Figura 45. Atribuição dos fluxos nas interseções de entrecruzamento. Fonte: captura de tela do <i>Infraworks</i>	92
Figura 46. Layout final proposto para a IDD. Fonte: O Autor (2022).	93
Figura 47. Desenho geométrico da IDD. Fonte: Elaborada pelo autor.	94
Figura 48. Desenho geométrico da IDD. Fonte: Elaborada pelo autor.	94
Figura 49. Paginação da sinalização proposta para a IDD. Fonte: O Autor (2022).	96
Figura 50. Detalhamento interseção a Montante.	97
Figura 51. Detalhamento Interseção a Jusante.	97
Figura 52. Grupos de movimentos realizados nas interseções propostas. Fonte: O Autor (2022).	98
Figura 53. Grupos semaforicos. Fonte: O Autor (2022).	98
Figura 54. Diagrama de estágios da montante. Fonte: O Autor (2022).	99
Figura 55. Diagrama de estágios da jusante. Fonte: O Autor (2022).	99
Figura 56. Diagrama de intervalos luminosos para a IM. Fonte: O Autor (2022).	101
Figura 57. Diagrama de intervalos luminosos para a IJ. Fonte: O Autor (2022).	101
Figura 58. Diagrama de espaço-tempo para as interseções de entrecruzamento. Fonte: O Autor (2022).	102
Figura 59. Montagem da matriz O/D no quadro de demandas do simulador. Fonte: Captura de tela do <i>Infraworks</i>	104
Figura 60. Janelas de tempo do simulador. Fonte: Captura de tela do <i>Infraworks</i>	105
Figura 61. Configuração do controle semaforico. Fonte: Captura de tela do <i>Infraworks</i>	106
Figura 62. Definição dos grupos de semáforo e seus intervalos luminosos. Fonte: Captura de tela do <i>Infraworks</i>	106
Figura 63. Determinação das durações dos intervalos luminosos para a IM. Fonte: Captura de tela do <i>Infraworks</i>	107
Figura 64. Determinação das durações dos intervalos luminosos para a IJ. Fonte: Captura de tela do <i>Infraworks</i>	107
Figura 65. Largura da seção da faixa de rolamento. Fonte: Google Earth (2022).	115



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASSTHO	American Association of State Highway and Transportation Officials
BIM	Building Information Modeling
BRASIL	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DDI	Diverging Diamond Interchange
FTP-2	Faixa de Pedestres Paralela
FTP-1	Faixa de Pedestres Zebrada
FHP	Fator Horário de Pico
FHWA	Federal Highway Administration
HCM	Highway Capacity Manual
HM	Hildemar Maia
HP	Hora de Pico
IDD	Interseção Diamante Divergente
IJ	Interseção Jusante
IM	Interseção Montante
JCP	Josmar Chaves Pinto
LBO	Linha de Bordo
LRE	Linha de Retenção
LMS-1	Linha Simples Contínua
LFO-1	Linha Simples Contínua
LMS-2	Linha Simples Seccionada
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
NS	Nível de Serviço
O/D	Origem/Destino
PAT	Painel do Analista de Tráfego
UCP	Unidades de Carro de Passeio
VHP	Volume Horário de Projeto
Z30	Zona 30



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	18
2.2. Geral	18
2.1. Específicos.....	18
3. JUSTIFICATIVA	19
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
4.1. Interseções	20
4.1.1. Classificação das Interseções	21
4.1.1.1. Interseções em Nível	21
4.1.1.2. Interseções em Níveis Diferentes.....	23
4.2. Engenharia de Tráfego	25
4.2.1. Movimentos de Tráfego	25
4.2.1.1. Pontos de Conflito.....	27
4.2.2. Fluxo de Veículos	28
4.2.3. Níveis de Serviço.....	30
4.2.4. Velocidade de Projeto.....	31
4.2.5. Veículo de Projeto	32
4.2.6. Considerações Sobre Transporte Multimodal	33
4.2.7. Controle Semafórico	34
4.3. Estudos de Tráfego.....	36
4.3.1. Contagem Volumétrica	36
4.3.2. Volume Médio Diário	37
4.3.3. Volume Horário.....	38
4.3.3.1. Hora de Pico	38
4.3.3.2. Volume Horário de Projeto	38
4.3.4. Expansão / Projeção do Volume de Tráfego.....	39
4.4. Projeto Geométrico de Rodovias no Brasil.....	39
4.4.1. Parâmetros do Desenho Geométrico.....	39
4.4.2. Classificação Funcional de Vias	40
4.4.3. Curvas de Concordância Horizontal	41
4.4.3.1. Curvas Simples	42
4.4.3.2. Curvas de Transição	42
4.5. Contextualização e Definições Sobre <i>DDIs</i>	43
4.5.1. Conceito e Cronologia da Implementação de <i>DDIs</i>	43



4.5.2.	Visão Geral.....	46
4.5.3.	Propósitos da Aplicação	48
4.5.4.	Considerações Sobre a Geometria.....	49
4.5.5.	A Dupla Fase da Programação Semafórica	50
4.6.	Características Operacionais	52
4.6.1.	Considerações Sobre a Operação	52
4.6.2.	Operação dos Semáforos.....	53
4.6.3.	Sinalização Horizontal e Vertical.....	56
4.7.	Avaliação da Operacionalização	59
4.7.1.	Performance Geral da Interconexão	59
4.7.2.	Perfis de Velocidade.....	61
4.7.3.	Medidas de Desempenho.....	63
5.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	65
5.1.	Área de estudo.....	65
5.2.	Pesquisa de Tráfego	69
5.3.	Determinação do Volume de Tráfego Atual.....	70
5.3.1.	Identificação da Hora de Pico	71
5.3.1.1.	Determinação do Fator Horário de Pico	71
5.3.2.	Os Fluxos do Tráfego	72
5.3.3.	Tráfego Para o Ano de Projeto	72
5.4.	Planejamento de Interseção Alternativa	73
5.4.1.	Veículo e Velocidade de Projeto.....	73
5.4.2.	Curvas das Interseções de Entrecruzamento	74
5.4.3.	Comprimentos Tangenciais	75
5.4.4.	Ângulo de Entrecruzamento	75
5.4.5.	Alinhamento e Distância de Visibilidade	76
5.5.	Metodologia de Construção do Modelo Geométrico.....	80
5.6.	Metodologia de Programação Semafórica	81
5.7.	Avaliação por Microsimulação	81
5.8.	Parâmetros de Validação.....	82
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
6.1.	Composição do Tráfego.....	84
6.2.	Desenho Geométrico Proposto	87
6.2.1.	Processo de Elaboração da Geometria	88
6.2.2.	Concepção Geométrica Final	93
6.3.	Programação Semafórica.....	97



6.3.1.	Movimentos de Tráfego	97
6.3.2.	Definição do Grupos Semafóricos	98
6.3.3.	Definição do Diagrama de Estágios.....	99
6.3.4.	Montagem do Ciclo do Semáforo.....	99
6.3.5.	Coordenação Semafórica	101
6.4.	Simulação do Modelo.....	103
6.4.1.	Calibração da Simulação	103
6.5.	Avaliação da Microssimulação	108
6.5.1.	Comparativo entre a Rotatória e a IDD	109
6.5.2.	Desempenho da Alternativa Proposta	111
6.5.3.	A Interseção Alternativa no Ano de Projeto	112
6.6.	A Viabilidade da Proposta da IDD	114
7.	CONCLUSÕES	118
8.	LITERATURA CITADA	120
	APÊNDICE A – Diagrama dos movimentos pesquisados.	123
	APÊNDICE B – Dados coletados da pesquisa de tráfego	124
	APÊNDICE C – Estradas do Modelo da Interseção Diamante Divergente	130
	APÊNDICE D – Estradas no modelo da Rotatória	131



1. INTRODUÇÃO

Transportar bens e pessoas está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico de uma sociedade. É por meio dos transportes que mercadorias e serviços podem ser transportados de um ponto a outro. Diversos autores destacam a função econômica do transporte, já que este proporciona interação entre produtores e consumidores e dos diferentes bens e produtos comercializados (MARTINS e CAIXETA-FILHO, 1998; MARCUSSO e SOLEK 2018).

É no meio urbano que diversas interações dos meios de transporte ocorrem. Nesse contexto, os transportes necessitam de agilidade, fluidez, eficiência e segurança nesses deslocamentos. Dessas interações, entre os diferentes entes que circulam pela malha urbana, bem como do espaço físico em si - ruas, calçadas, ciclovias/ciclofaixas e demais itens que compõem uma via urbana - surge o sistema de tráfego. Neste sistema, são considerados seus usuários todas as pessoas que desfrutam da estrutura viária disponível para realizar sua locomoção, sendo esse grupo constituído por motoristas, pedestres e ciclistas (LOPES E GIUBERTI, 2011).

Para o transporte por veículos, especificamente, são necessárias vias que garantam sua circulação. Dessa necessidade, no meio urbano, surgem as malhas viárias, que compreendem uma trama de vias projetadas para se ligarem, e conseqüentemente ligar diferentes regiões de uma cidade. Dentro dessas malhas existem aqueles pontos em que uma ou mais vias se encontram, as interseções.

Esses encontros podem causar convergência, divergência ou cruzamento. A depender do plano desses encontros, as interseções podem ser classificadas em nível ou em níveis diferentes, também denominadas interconexões. Ademais, esses encontros geram o que se conhece como pontos de conflito, que são pontos imaginários onde diferentes trajetórias de veículos se interceptam, e neles a probabilidade de acidentes é acentuada.

O gerenciamento de toda essa malha, incluindo as interseções, é realizado através da Engenharia de Tráfego, que se configura como a aplicação prática de conhecimentos técnicos capazes de garantir a melhoria do fluxo de veículos, ciclistas e pedestres, visando sempre garantir a segurança viária. Vasconcelos (1982) aponta a engenharia de tráfego como a responsável por estabelecer prioridades na utilização do espaço disponível, ordenar e hierarquizar os movimentos de bens e pessoas e para tanto é necessário aplicar alguns



procedimentos básicos, que incluem o levantamento das características qualitativas e quantitativas da rede viária, como volumes de tráfego, velocidades, desejos de viagem, comportamentos, capacidade do sistema viário, etc.

Segundo Edara et. al (2003), os engenheiros de tráfego que se deparam com o desafio de mitigar congestionamentos em horas de pico podem estudar a aplicação de projetos de interseções alternativa, buscando aliviar os atrasos e aumentando a segurança para veículos e pedestres, além de considerar a aplicação de soluções menos onerosas e que lidem com restrição de espaço.

Para estudar a malha, a engenharia de tráfego utiliza como ferramenta de estudo a simulação de tráfego. Nela é possível criar modelos dos mais variados elementos do sistema viário, como as interseções. Assim, a engenharia mostra que a modelagem de fluxo de veículos na infraestrutura viária é crucial para analisar o desempenho de estratégias propostas, além de criar a base de dados necessária para gerir e controlar o tráfego (MAIA, 2007). Portanto, ao conduzir as simulações, os engenheiros podem compreender o comportamento de propostas, antes mesmo de ela ser aplicada em campo, avaliando sua aplicabilidade.

No contexto local, compreender o comportamento de pontos problemáticos na malha viária é fundamental para se conceber um eficiente gerenciamento da rede viária. Partindo dessa premissa alguns dados merecem destaque.

Segundo dados do DENATRAN (2018), em uma década - 2008 a 2018 - a frota de veículos de Macapá teve um acréscimo de 40%, passando de aproximadamente 70.000 veículos para 176.000. Tal aumento provoca efeitos negativos em pontos de descontinuidade, como as interseções. Em Macapá, no encontro da Rodovia Josmar Chaves Pinto com a Rua Hildemar Maia um desses pontos de descontinuidade, que é uma interseção em nível do tipo rótula moderna, gera um gargalo viário.

Nessa rotatória os grandes volumes de veículos, associados a uma geometria e operação defasadas, geram a formação de longas filas nas horas de pico do fluxo de veículos. Logo, há um aumento no tempo de viagem na área na qual a rótula está inserida. Em situações adversas, como acidentes, a dimensão dessas filas pode aumentar ainda mais. Assim, a mobilidade no perímetro é diretamente afetada, causando transtornos para os usuários da interseção. Tal prejuízo é corroborado segundo a conceituação de mobilidade que diz que ela



é “definida como a capacidade de os indivíduos se moverem de um lugar a outro” (TAGORE & SIKDAR, 1995; OLIVEIRA, 2014).

Logo, conhecida a problemática da área que será estudada, elabora-se o seguinte questionamento norteador: Existe solução geométrica capaz de atenuar ou dirimir o gargalo viário criado pela rotatória, considerando as restrições do espaço disponível?

Para dar conta de atender ao questionamento formula-se a seguinte hipótese: Uma interseção alternativa é capaz de atender aos elevados volumes de tráfego que se cruzam entre a Rodovia Josmar Chaves Pinto e a Rua Hildemar Maia, na cidade de Macapá - AP, e favoreça a mobilidade aplicando uma seção de desenho geométrico compatível com a área disponível.



2. OBJETIVOS

2.2. Geral

O objetivo deste trabalho foi propor uma concepção geométrica para uma interseção em nível, elaborada a partir da adaptação de um tipo de interconexão alternativa, a Diamante Divergente. Visando a substituição da rotatória existente no encontro da Rodovia Josmar Chaves Pinto com a Rua Hildemar Maia, na Cidade de Macapá – AP, se preocupando em aumentar a capacidade e fluidez do tráfego na área de estudo, considerando especialmente o elevado volume de conversões à esquerda e ainda o transporte multimodal.

2.1. Específicos

Analisar o tráfego na rotatória existente;

Elaborar uma concepção geométrica de interseção alternativa que se adeque às restrições espaciais do local;

Simular a operação da geometria proposta;

Avaliar se há viabilidade na aplicação da interseção alternativa capaz de substituir a rotatória existente e solucionar a defasagem operacional.



3. JUSTIFICATIVA

O cruzamento da Rodovia Josmar Chaves Pinto com a Rua Hildemar Maia se tornou um ponto crítico dentro da malha viária da Cidade de Macapá. Desse encontro é gerada uma rótula que nas condições atuais opera com baixa eficiência e que se transformou em um gargalo viário. É observado na área de estudo, que compreende a rotatória e suas adjacências, a formação de filas longas em um de seus ramos de entrada, tempos totais de viagem elevados e atrasos significativos, reduzindo o nível de serviço e causando uma experiência desagradável aos motoristas que por ela trafegam. Para além, a interseção existente também não abarca de forma satisfatória todos os multimodais que trafegam pela área, revelando sua inadequação para atender a mobilidade urbana com foco na abrangência de todos os tipos de usuários do sistema viário.

A proposta de uma solução para a situação de gargalo viário existente hoje na rotatória é muito relevante. A solução geométrica existente atingiu o limite operacional e demonstra estar com a operação defasada há algum tempo.

Se for considerado o contexto de eixo viário entre Municípios da Região Metropolitana de Macapá, a rotatória passa a ser um ponto ainda mais sensível na malha viária.

Assim, entende-se que há necessidade latente de propor soluções com base em uma avaliação abrangente, que considere todo o contexto atual e suas problemáticas, mas que também se preocupe em apresentar uma alternativa substitutiva que seja eficiente pelo prazo mais longo possível.



4. REVISÃO DE LITERATURA

Visando o aprofundamento acerca dos assuntos discutidos nesta pesquisa, este tópico abordará os temas relacionados a interseções, engenharia de tráfego, estudos de tráfego e aspectos geométricos e operacionais.

4.1. Interseções

No Manual do Projeto de Interseções do BRASIL (2005) as interseções são definidas como aquela área na qual duas ou mais vias se ligam ou se cruzam, sendo tal espaço destinado a permitir que os movimentos dos veículos que nela circulam sejam realizados. Na rede viária, ainda segundo o BRASIL (2005), as interseções representam elementos de descontinuidade e estão atreladas a situações críticas, exigindo ponderações pormenorizadas sobre sua natureza. Assim, as interseções devem propiciar adequada e ordenada circulação dos veículos, garantindo segurança para os usuários dos diferentes multimodais que nela trafegam, uma vez que são parte essencial da rede viária.

Considerando os componentes da malha viária, as interseções merecem destaque especial, uma vez que, especialmente em trechos urbanos, são pontos críticos, em decorrência das interações mais acentuadas entre veículos, pedestres e ciclistas, que requerem a utilização do espaço concomitantemente. Dessa forma, de acordo com Ogden (1996) e Serra (2014), tais interações geram criticidade no tocante à segurança viária, bem como à eficiência (capacidade) das interseções, estando a geometria vinculada a essas correlações, e conseqüentemente na operação das interseções.

No que concerne à operação, as velocidades desenvolvidas em uma interseção são usualmente reduzidas em comparação aos trechos anteriores às aproximações, sendo que em determinados casos os veículos devem parar. Ainda que representem minimamente a dimensão da malha viária, elas representam uma fração significativa no volume de acidentes, carecendo de análises detalhadas sobre a segurança viária (PEÑA, 2011).

Para definir o tipo de interseção a ser utilizada não existem critérios determinísticos generalizados. Segundo destacado no Manual do Projeto de Interseções do BRASIL (2005), a inexistência de uma orientação assertiva se dá em decorrência de:



- a) A escolha se constitui num problema complexo, que envolve volumes de tráfego, velocidades, diferentes tipos de veículos, aspectos topográficos, orçamentos e, sobretudo, o grau de aleatoriedade na distribuição do tráfego;
- b) Do reduzido número de estudos e pesquisas realizadas em outros países que, além do seu caráter local, não possuem o desejado grau de precisão.

4.1.1. Classificação das Interseções

Para o BRASIL (2005), existem dois grandes grupos de interseções, caracterizados em função dos planos em que os movimentos são realizados, sejam eles: Interseções em Nível e Interseções em Níveis Diferentes. Os critérios utilizados variam, sendo válidos em decorrência do aspecto que buscam destacar, atentando-se ao fato de que às vezes uma interseção compartilha características de mais de um grupo.

4.1.1.1. Interseções em Nível

Millack (2014) e Viana (2018) definem as interseções em nível como espaços em que as correntes de tráfego se juntam em um mesmo nível, sem a necessidade de obras de arte, porém, com a aplicação de dispositivos empregados para ordenar os movimentos e diminuir os conflitos de acordo com a necessidade do local, o nível de conforto e com a segurança que se pretende ofertar. Tais dispositivos são representados por aparatos físicos e gráficos que guiam os motoristas e garantem boa operação da interseção.

Pelo estabelecido pelo BRASIL (2005) as interseções em nível podem ser definidas:

- a) Em função do número de ramos:
 - I) Interseção de três ramos ou “T”: A nomenclatura “T” deriva da disposição das vias, uma vez que um dos ramos comumente se situa no prolongamento de outro.
 - II) Interseção de quatro ramos: Interseção em nível com quatro ramos.
 - III) Interseção de ramos múltiplos: Cinco ou mais ramos formam a interseção.

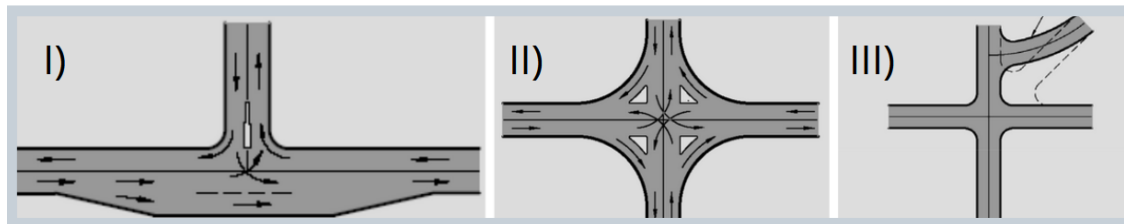


Figura 1. Interseções em função do número de ramos. Fonte: BRASIL (2005).

b) Em função das soluções adotadas:

I) Mínima: solução sem nenhum controle especial, aplicável normalmente onde o volume horário total (dois sentidos) em termos de (UCP) da via principal for inferior a 300 e o da via secundária for inferior a 50.

II) Gota: solução que adota uma ilha direcional do tipo “gota” na via secundária com a função de disciplinar os movimentos de giro à esquerda.

III) Canalizada: solução em que os movimentos do tráfego têm suas trajetórias definidas pela sinalização horizontal, por ilhas e outros meios, com o objetivo de minimizar os seus conflitos.

IV) Rótula (rotatória): solução em que o tráfego se move no sentido anti-horário ao redor de uma ilha central.

V) Rótula vazada: solução em que as correntes diretas da via principal atravessam uma ilha central, em torno da qual as demais correntes circulam no sentido anti-horário.

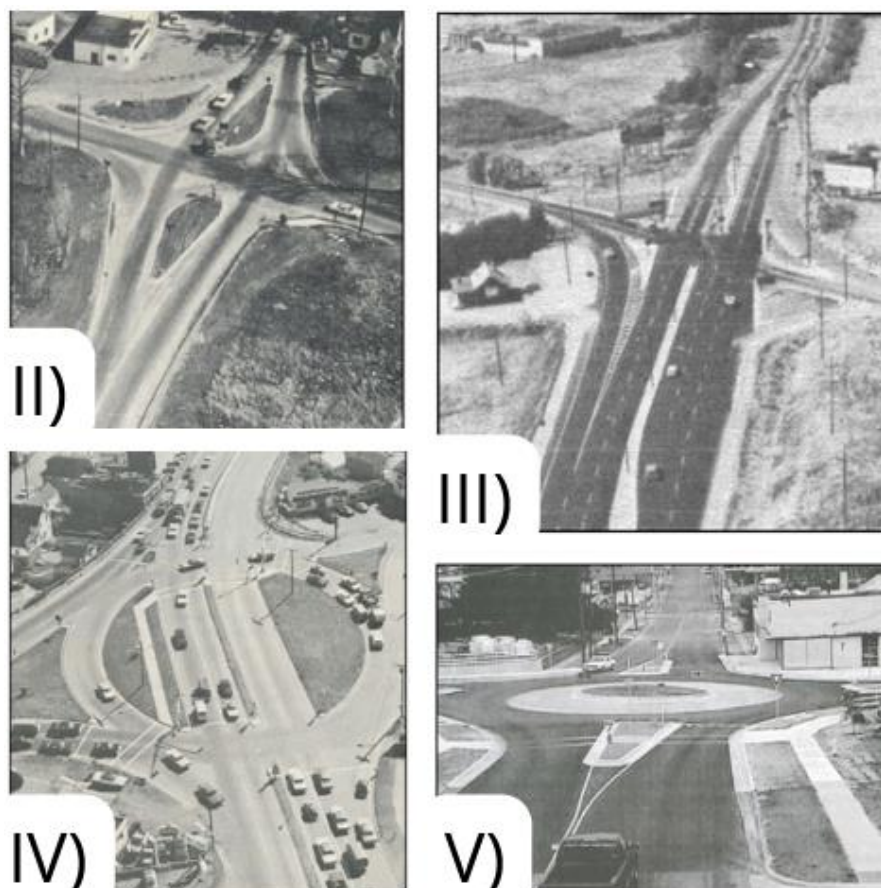


Figura 2. Interseções em função da solução adotada. Fonte: BRASIL (2005).

c) Em função da sinalização:

I) Sem sinalização semafórica (luminosa): típica de zonas rurais onde o fluxo é controlado por sinalização horizontal e vertical.

II) Com sinalização semafórica (luminosa): típica de zonas urbanas onde o fluxo é controlado por semáforo.

4.1.1.2. Interseções em Níveis Diferentes

Para Millack (2014) e Viana (2018) esta configuração de interseção oferece maior segurança aos usuários, eliminando conflitos diretos, além de evitar paralisações e mudanças bruscas de velocidade.

Pelo estabelecido pelo BRASIL (2005) as interseções em níveis diferentes podem ser de dois tipos gerais:

a) Cruzamento em níveis diferentes sem ramos: quando não há trocas de fluxos de tráfego entre as rodovias que se interceptam, ou seja, o cruzamento em desnível não



tem ramos de conexão. As vias se cruzam em níveis diferentes por meio de estruturas de separação dos greides. Esses cruzamentos são designados por:

- I) Passagem Superior: quando a rodovia principal passar sobre a via secundária.
- II) Passagem Inferior: quando a rodovia principal passar sob a via secundária.

b) Interconexão: quando, além do cruzamento em desnível, a interseção possui ramos que conduzem os veículos de uma via à outra. Normalmente as interconexões são classificadas em sete tipos básicos:

- I) Interconexão em “T” ou “Y”: interconexão com três ramos. O aspecto geral do projeto faz com que seja designada por “T” ou “Y”. Quando uma das correntes de tráfego de um ramo executar giro próximo de 270° a interconexão é designada por “trombeta”.
- II) Diamante: interconexão em que a via principal apresenta, para cada sentido, uma saída à direita antes do cruzamento e uma entrada à direita após o mesmo. As conexões na via secundária são interseções em nível.
- III) Trevo completo: interconexão em que, nos quatro quadrantes, os movimentos de conversão à esquerda são feitos por laços (*loops*) e à direita por conexões externas aos laços.
- IV) Trevo parcial: interconexão formada pela eliminação de um ou mais ramos de um trevo completo, apresentando pelo menos um ramo em laço.
- V) Direcional: interconexão que utiliza ramos direcionais para os principais movimentos de conversão à esquerda. Quando todos os movimentos de conversão são feitos por ramos direcionais a interconexão diz-se “totalmente direcional”.
- VI) Semidirecional: interconexão que utiliza ramos semidirecionais para os principais movimentos de conversão à esquerda.
- VII) Giratório: interconexão que utiliza uma interseção rotatória (rótula) na via secundária.

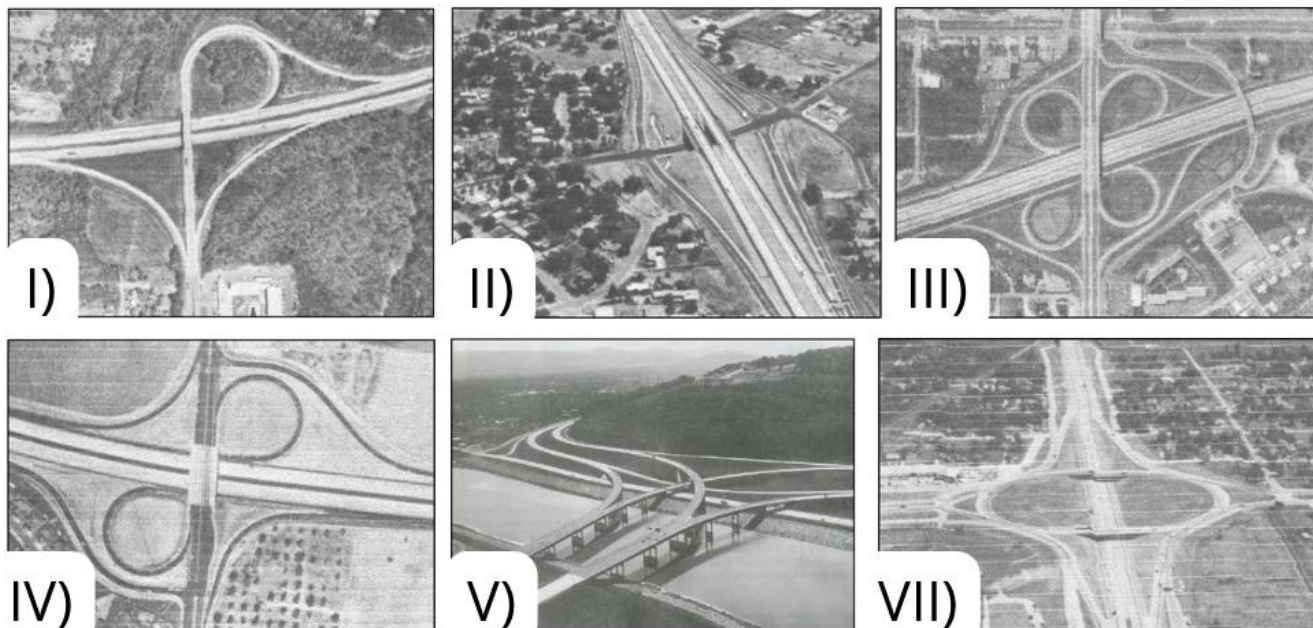


Figura 3. Interseções em níveis diferentes. Fonte: BRASIL (2005).

4.2. Engenharia de Tráfego

4.2.1. Movimentos de Tráfego

O DENATRAN (2014) define movimento como forma de identificar o fluxo de veículos que têm a mesma origem e destino em uma interseção ou trecho viário. Tal fluxo implica em um deslocamento que ocorre na mesma direção, porém, seu sentido não é estritamente o mesmo, podendo se dar de forma oposta. Assim, considerando a conceituação apresentada, pode-se representar graficamente os movimentos de tráfego, por meio de traços e setas, sendo os traços indicativos da direção, enquanto as setas indicam o sentido, como demonstrado na Figura 4. Nesta, denotam-se quatro movimento veiculares (MV1 e MV2 com mesma origem e destinos diferentes, assim como MV3 e MV4) e dois movimentos de pedestres (MP1 e MP2) realizados em uma interseção.

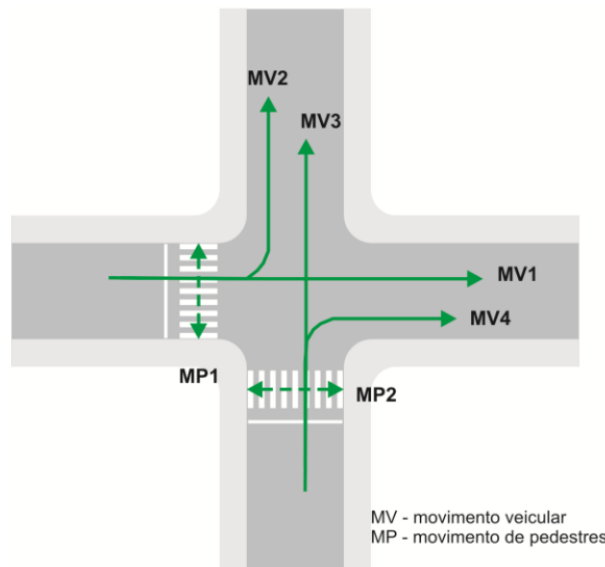


Figura 4. Representação de movimentos em uma interseção. Fonte: DENATRAN (2014).

Os movimentos de tráfego em uma interseção estão intrinsecamente vinculados às correntes de tráfego. Segundo o BRASIL (2005), essas são constituídas por um conjunto de veículos que circulam por uma mesma pista/faixa de tráfego e no mesmo sentido. Todavia, tal circulação não é plenamente livre, uma vez que é afetada por fatores como: Frequência de interseções, número e largura das faixas, distâncias de visibilidade, comprimentos e declividades de rampas, sinalização, iluminação, etc. (BRASIL, 2005).

Em observância ao elencado pelo Manual do Projeto de Interseções do BRASIL (2005), os movimentos (Figura 5) podem ser classificados da seguinte forma:

a) **Movimentos de cruzamento:** Quando a trajetória dos veículos de uma corrente corta a trajetória dos veículos de outra corrente. Tal movimento requer que os veículos de uma corrente passem pelos intervalos que surgem na outra ou que uma delas se interrompa momentaneamente.

b) **Movimentos convergentes (incorporações):** Quando as trajetórias dos veículos de duas ou mais correntes se juntam para formar uma única. Para a execução desse movimento é preciso regular o direito de passagem dos veículos que convergem, ou então, que os veículos de uma corrente esperem que ocorram intervalos adequados na outra para nela se inscreverem.

c) **Movimentos divergentes:** Quando os veículos de uma corrente de tráfego se separam e formam trajetórias independentes. É um movimento simples quando os veículos que divergem são livres para efetuar essa manobra, não tendo que aguardar oportunidade



adequada (brechas em corrente oposta) ou reduzir significativamente suas velocidades (trajetórias de saída com raios pequenos, faixas de trânsito acanhadas ou com pavimento de baixa qualidade).

d) Movimentos de entrecruzamento (entrelaçamento): Quando a trajetória dos veículos de duas ou mais correntes independentes se combinam, formam uma corrente única e depois se separam. O trecho onde se verifica este movimento é denominado "trecho de entrecruzamento".

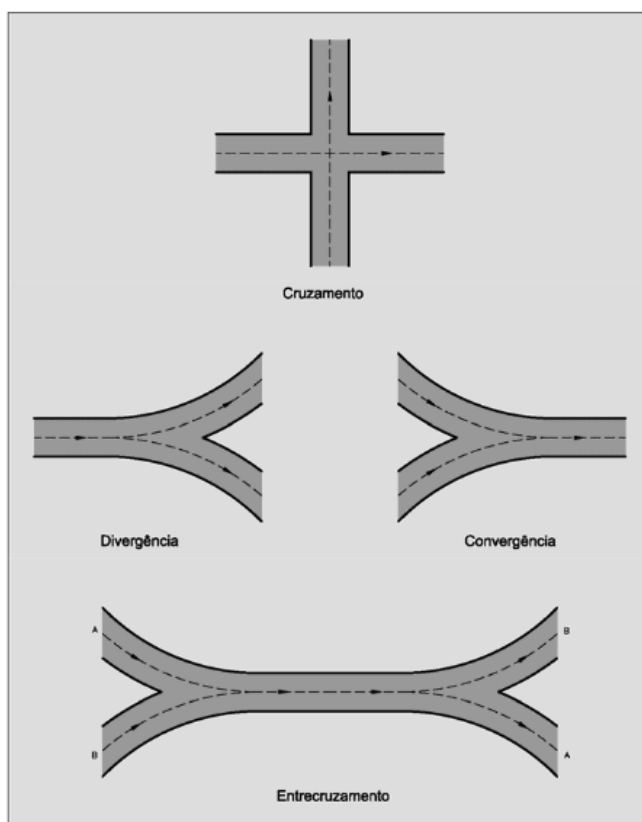


Figura 5. Tipos básicos de movimento. Fonte: BRASIL (2005).

4.2.1.1. Pontos de Conflito

Segundo Ferraz et al. (2012) e Marcusso & Solek (2018) os conflitos de tráfego constituem uma interação anormal entre dois veículos, dois veículos e um pedestre ou entre um veículo e um elemento guia. Em termos técnicos, pode-se considerar os conflitos como “quase acidentes”, que não são concretizados devido à ação evasiva tomada por um ou mais indivíduos envolvidos na ocorrência. Ademais, os pontos de conflito afetam de forma direta o desenvolvimento das velocidades, a segurança e a capacidade da interseção.



Dentro da malha viária, as interseções representam os locais em que movimentos de tráfego entram em conflito de forma mais proeminente. Os movimentos geram manobras, que podem ser de conversão, divergência ou cruzamento, e dessas decorrem os conflitos, podendo ser do tipo veículo-veículo, veículo-pedestre, veículo-ciclista, que por fim podem ocasionar acidentes de trânsito (MARCUSO E SOLEK, 2018).

Para BRASIL (2005), os pontos de conflitos são definidos como aqueles locais onde são realizados os movimentos de cruzamento, convergência e divergência, sendo categorizados e representados graficamente conforme segue: I) conflito de cruzamento; II) conflito de convergência; e III) conflito de divergência.

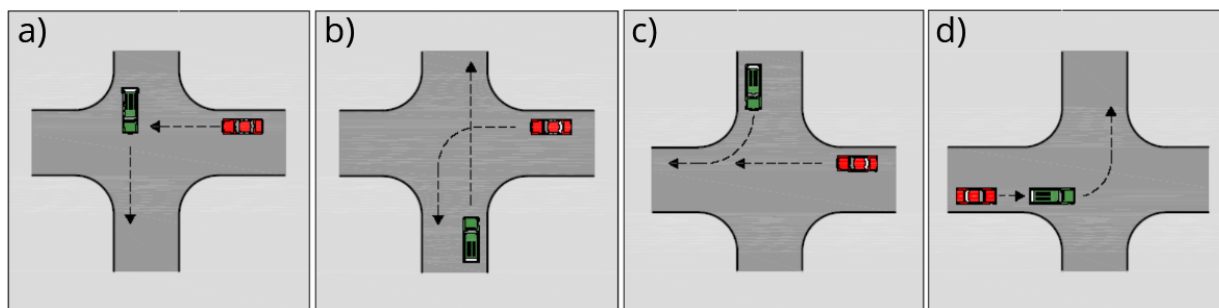


Figura 6. Tipos de conflitos de tráfego, sendo: a) e b) conflitos de cruzamento; c) conflito de convergência; d) conflito de divergência. Fonte: BRASIL (2005).

A quantidade de conflitos varia conforme a geometria da interseção, que pode influenciar num aumento ou diminuição desses. Cruzamentos convencionais, com quatro ramos e dois sentidos por ramo, apresentam 32 pontos de conflito, sendo desse total 8 pontos de divergência, 8 de convergência e 16 pontos de cruzamento.

Para atenuar a probabilidade de acidentes em interseções deve haver o gerenciamento de conflitos, que consiste, de acordo com o DENATRAN (2014), em estabelecer uma rotina de análise que abrange a identificação do problema, determinação de causas prováveis, finalizando com proposta de soluções.

4.2.2. Fluxo de Veículos

A quantidade de veículos ou pedestres que trafegam por uma determinada seção de via em um período estabelecido para a execução de uma contagem, denomina-se fluxo de tráfego ou volume de tráfego (DENATRAN, 2014). Tal fluxo de tráfego está vinculado aos movimentos realizados na via e varia de acordo com o transcorrer do tempo, estando sob a



influência da hora do dia, do dia da semana, da semana do mês, do mês e do ano no qual o mesmo é observado.

Para DENATRAN (2014) o fluxo de tráfego veicular pode ser denominado por equivalência por meio de unidades de carro de passeio (UCP), uma vez que na corrente de tráfego existem veículos de tipos diferentes que apresentam desempenho particulares conforme suas características. Dessa forma, para estabelecer uma composição veicular com base única, adota-se a equivalência entre veículos, tendo-se como valor de referência o automóvel convencional, expresso pelo fator de equivalência = 1 UCP.

Quando um grupo de movimentos corresponde ao número máximo de veículos trafegando em uma aproximação controlada por semáforo, na situação hipotética de a aproximação receber indicação de verde durante uma hora inteira, observa-se o fluxo de saturação. Representativamente, esse é determinado pela máxima taxa de fluxo de tráfego observada em períodos saturados, como demonstrado na Figura 7.

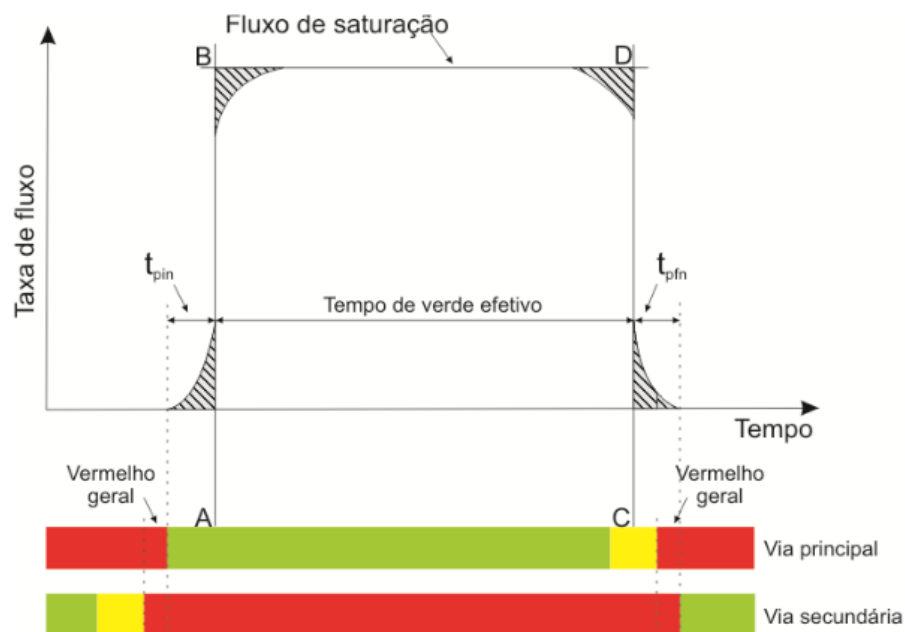


Figura 7. Fluxo de saturação e tempos perdidos em estágio saturado. Fonte: CONTRAN (2014).

Na indicação gráfica acima, é apresentada a condição mais comum observada nas vias, onde a taxa do fluxo de saturação ocorre num período inferior ao tempo de verde, uma vez que a fila que se formou no momento em que o fluxo estava interrompido pelo vermelho necessita ser dissipada para permitir que se atinja o fluxo de saturação, que indica uma taxa



constante de fluxo. Transcorrido o período da taxa constante, o fluxo é reduzido para um patamar inferior, correspondendo à demanda daqueles veículos que chegaram à aproximação.

Nos casos em que a via é demandada acima da sua capacidade de operação, observa-se a formação de filas pelos veículos, decorrente do acúmulo destes entre um ciclo de verde e seu sucessor.

4.2.3. Níveis de Serviço

De acordo com o *Highway Capacity Manual – HCM (2000)* a determinação do nível de serviço - NS operado em uma via se dá a partir da velocidade média dos veículos que trafegam através das faixas. A velocidade de viagem pelos veículos em uma seção de um segmento da via, ou em seu comprimento total decorre das velocidades desenvolvidas entre interseções sinalizadas, e de quanto se controla os atrasos nessas interseções. Dessa forma, segundo o *HCM (2000)* o NS em vias urbanas é caracterizado em patamares gerais de forma a descrever cada nível de serviço, conforme elencado:

- 1) Nível de Serviço A: Operação de fluxo livre primário nas velocidades de viagem, correspondendo a aproximadamente 90% da velocidade de fluxo livre. Os veículos não enfrentam entraves para manobrar na corrente de tráfego. Controle dos atrasos, nas interseções sinalizadas, é mínimo;
- 2) Nível de Serviço B: Indica aparecimento de entraves leves na operação da velocidade média de viagem, na ordem de 70% da velocidade de fluxo livre. Manobrar na corrente de tráfego é levemente restrito. Controle dos atrasos, nas interseções sinalizadas, é mínimo;
- 3) Nível de Serviço C: Operação estável, entretanto, executar manobras e mudar de faixas pode ser mais restrito que no NS B. A velocidade passa a ser 50% da velocidade de fluxo livre, podendo decorrer de filas longas e coordenação semafórica defasada;
- 4) Nível de Serviço D: Margeia um estado no qual pequenos aumentos no fluxo podem refletir em maiores atrasos e redução na velocidade de viagem. Pode decorrer de coordenação semafórica defasada, temporização



inadequada, grandes volumes, ou da combinação desses fatores. A velocidade corresponde a 40% da velocidade de fluxo livre;

5) Nível de Serviço E: Apresenta atrasos significativos e uma velocidade de 30% do fluxo livre. É causado pela combinação de coordenação defasada, grande densidade no sinal, grandes volumes, extensos atrasos em interseções críticas e temporização inadequada de sinais;

6) Nível de Serviço F: Representa velocidades extremamente baixas, na ordem de um a quatro terços da velocidade de fluxo livre. Grande probabilidade de congestionamentos localidades semaforizadas, com grandes atrasos, grandes volumes e filas extensas.

Já nas interseções sinalizadas, o nível de serviço é determinado com base no controle dos atrasos, que é medido através do desconforto dos motoristas, frustração, consumo de combustível e aumento no tempo de viagem (HCM, 2000). Os critérios para a determinação do NS em semáforos são computados com base na média do controle de atrasos, em um período de análise de aproximadamente 15 minutos (HCM, 2000). Todavia, é válido destacar que medir atrasos é uma tarefa complexa, que depende de muitas variáveis.

4.2.4. Velocidade de Projeto

O BRASIL (2005) define velocidade de projeto ou velocidade diretriz como aquela na qual um perímetro de uma via pode ser percorrido com segurança, levando em consideração apenas as limitações referentes às características geométricas. Estabelece, ainda, como a velocidade selecionada para fins de projeto, que influencia os valores mínimos de determinadas características físicas que estão imediatamente ligadas à operação e ao movimento dos veículos, bem como com a resposta dos motoristas.

Ao estabelecer a velocidade de projeto é necessário adotar a maior proporção possível, porém atendendo aos níveis adequados de segurança, mobilidade e eficiência, além de respeitar as condições complementares como ambientais, econômicas e estéticas e os impactos sociais (VIANA, 2018).



4.2.5. Veículo de Projeto

Para elaboração do projeto de vias e suas interseções é necessário analisar que veículos trafegarão sobre as faixas, a quais classes pertencem e como estas são representadas no dimensionamento em decorrência de seus tamanhos.

É notório que existe grande variedade de veículos, todavia, para se ater ao perfil técnico de um projeto, é selecionado um veículo representativo que seja capaz de servir como modelo característico de dimensões, peso e limitações de manobra, denotado como veículo de projeto. Assim, o veículo de projeto é essencial para estabelecer o adequado controle do projeto de rodovias e interseções, sendo necessário examinar todos os tipos de veículos e, em seguida, proceder com a escolha (BRASIL, 2005).

De acordo com o BRASIL (2005) uma variedade de aspectos do dimensionamento geométrico e estrutural são condicionados por características físicas dos veículos e pelas proporções dos vários tipos de veículos.

No Manual do Projeto de Interseções (2005) são estabelecidos cinco tipos básicos de veículos de projeto, sendo esses:

- **VP** - Representa os veículos leves, física e operacionalmente assimiláveis ao automóvel, incluindo minivans, vans, utilitários, pick-ups e similares.
- **CO** - Representa os veículos comerciais rígidos, não articulados. Abrangem os caminhões e ônibus convencionais, normalmente de dois eixos e quatro a seis rodas.
- **O** - Representa os veículos comerciais rígidos de maiores dimensões. Entre estes incluem-se os ônibus urbanos longos, ônibus de longo percurso e de turismo, bem como caminhões longos, frequentemente com três eixos (trucão), de maiores dimensões que o veículo CO básico. Seu comprimento aproxima-se do limite máximo legal admissível para veículos rígidos.
- **SR** - Representa os veículos comerciais articulados, compostos de uma unidade tratora simples (cavalo mecânico) e um semirreboque. Seu comprimento aproxima-se do limite máximo legal para veículos dessa categoria.
- **RE** - Representa os veículos comerciais com reboque. É composto de um caminhão trator trucado, um semirreboque e um reboque, e que mais se aproxima



do veículo conhecido como bitrem. Seu comprimento é o máximo permitido pela legislação.

Na elaboração do projeto geométrico o veículo de projeto, por meio de suas dimensões e mínimos de giro, guiam a verificação de condições limites da geometria da via, como pode ser observado na Figura 8. Dessa forma, preconizando a representatividade, o BRASIL (2005) recomenda o veículo de projeto **CO** como aquele capaz de cobrir a maioria dos veículos que trafegam nas vias brasileiras, uma vez que tal modelo abrange ônibus e caminhões.

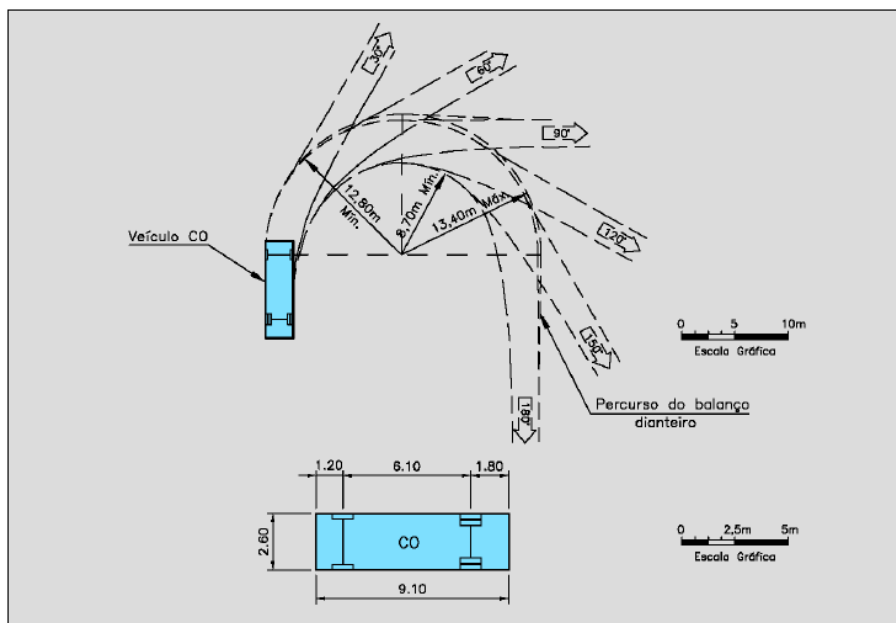


Figura 8. Representação gráfica do veículo de projeto CO. Fonte: BRASIL (2005).

Os veículos com características menos favoráveis não ficarão impossibilitados de trafegar na via, apenas que poderão estar sujeitos a situações e condições operacionais menos favoráveis.

4.2.6. Considerações Sobre Transporte Multimodal

Para se deslocarem as pessoas podem utilizar diversos multimodais de transporte, sendo os mais comuns aqueles desenvolvidos a pé; por bicicleta; por ônibus; por motocicleta; ou por automóvel. Dentre esses multimodais, pode-se estabelecer uma macro divisão entre aqueles que empregam o uso de máquinas para se locomover e aqueles que não as



empregam. Desta feita, tem-se o transporte motorizado - carros, ônibus, caminhões, etc. - e o não motorizado - pedestres e ciclistas.

A infraestrutura viária que dá suporte ao transporte a pé deve apoiar a caminhada, oferecendo o mesmo nível de qualidade requerido pelos veículos. Dessa forma, o espaço destinado aos pedestres na estrutura viária deve atender alguns princípios básicos, sejam eles:

- a) Segurança viária: Garantida pelo espaço disponibilizado para caminhar; pela localização na via; pelo grau de proteção para com o tráfego de veículos; além das condições físicas do calçamento.
- b) Conforto: Disponibilização de pisos com boa qualidade e regularidade.
- c) Continuidade: Garantia de um trajeto contínuo, disponibilizado através de uma rede de calçadas que se interligam.
- d) Conectividade: Propiciada pela articulação entre calçadas de lados e direções opostas, através de travessias em nível - faixas de pedestres - ou em desnível - passarelas.

No tocante à infraestrutura para as bicicletas, o déficit comumente decorre da falta de espaço para implementação de vias exclusivas para ciclistas, uma vez que as áreas urbanas já estão consolidadas. Todavia, ainda que possa não haver sítio para implementação de ciclovias, a disponibilização de faixas (ciclofaixas) ou distinção de piso sem segregação física tende oferecer bons resultados para os ciclistas (GONDIM, 2001).

4.2.7. Controle Semafórico

O Manual de Sinalização Semafórica (CONTRAN, 2014) destaca quais são os principais elementos relacionados à implantação desse tipo de sinalização. Tais elementos básicos caracterizam a concepção do controle semafórico. Ademais, no manual são apresentados os tipos de controle e estratégias na gestão desses dispositivos. Assim, seguindo o manual os termos utilizados pelo manual para a definição do controle semafórico tem-se:

- a) Grupo de movimentos: É o conjunto de movimentos presentes em uma mesma aproximação que recebem simultaneamente o direito de passagem.



b) Grupo semafórico: É o conjunto de semáforos (grupos focais) com indicações luminosas idênticas que controlam grupos de movimentos que recebem simultaneamente o direito de passagem.

c) Estágio: Denomina-se estágio o intervalo de tempo em que um ou mais grupos de movimentos recebem simultaneamente o direito de passagem. O estágio compreende o tempo de verde e o tempo de entreverdes que o segue.

d) Entreverdes: É o intervalo de tempo compreendido entre o final do verde de um estágio e o início do verde do estágio subsequente. Para semáforos veiculares, o entreverdes é composto de um tempo de amarelo, acrescido de um tempo de vermelho geral sempre que necessário. Para semáforos de pedestres, o entreverdes corresponde ao tempo de vermelho intermitente seguido de um tempo de vermelho geral.

e) Vermelho geral: É o intervalo de tempo entre o final do amarelo (ou do vermelho intermitente) de um estágio e o início do verde do próximo estágio.

f) Ciclo: Denomina-se ciclo a sequência completa dos estágios de uma sinalização semafórica. A duração do ciclo (tempo de ciclo) em uma interseção, ou seção de via, é definida pela soma dos tempos de todos os estágios programados para o controle do tráfego no local.

g) Intervalo luminoso: É o período de tempo em que permanece inalterada a configuração luminosa dos semáforos (grupos focais) que controlam o tráfego em um determinado local.

h) Diagrama de estágios: O diagrama de estágios é a representação gráfica da alocação dos movimentos que podem ser realizados (motorizados e não motorizados) em cada estágio do ciclo.

i) Diagrama de intervalos luminosos ou diagrama de barras: Consiste na representação da duração e sequência dos intervalos luminosos e estágios por meio de barras horizontais, associando-os aos grupos semafóricos correspondentes.

j) Tipos de controle: O controle em tempo fixo utiliza planos semafóricos calculados com base em dados de tráfego disponíveis, obtidos por contagens volumétricas e outros levantamentos de campo. As contagens volumétricas,



sempre que possível, devem ser classificatórias. O controle atuado decorre do monitoramento da demanda de tráfego na interseção, mediante a implantação de detectores de tráfego em todas as suas aproximações, permitindo alterações nos tempos dos estágios.

k) Estratégias de controle: No controle isolado, cada interseção é controlada independentemente das demais, ou seja, não ocorre nenhum tipo de coordenação semaforica. Já o controle em rede pode visar o aumento do desempenho da circulação do tráfego ao longo de uma rede aberta ou de uma rede fechada. O controle em rede aberta visa privilegiar a circulação do tráfego em uma via (ou em um percurso pré-estabelecido) e, por isso, é comumente referido como controle em corredor.

4.3. Estudos de Tráfego

4.3.1. Contagem Volumétrica

Na engenharia de tráfego é necessário proceder com análises detalhadas do tráfego, a fim de obter informações específicas sobre capacidade, avaliar congestionamentos e acidentes, dimensionar pavimentos, projetar a geometria, além de implementar melhorias na operação. Para tanto, recorre-se à aplicação de contagens volumétricas como um dos instrumentos de coleta de dados. Elas são realizadas para determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos que trafegam por um ou mais pontos de uma via/interseção em uma determinada unidade de tempo (BRASIL, 2006).

O Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006) classifica as contagens em:

- a) Globais: Registra o número de veículos que circulam por um trecho de via, desconsiderando o sentido e condensando todas as classes. Empregadas para o cálculo de volumes diários, elaboração de mapas de fluxo e tendências do tráfego;
- b) Direcionais: Contabiliza a quantidade de veículos por sentido de fluxo. Aproveitadas para calcular capacidade, determinação de intervalos de sinais, controle de trânsito, estudos de acidentes, etc;
- c) Classificatórias: Cataloga os volumes para os vários tipos ou classes de veículos. Empregadas para o dimensionamento estrutural e projeto geométrico de rodovias e interseções, cálculo de capacidade.



Interseções necessitam de uma contagem específica, a fim de catalogar os dados necessários para elaboração de fluxogramas, projetos de canalização, identificação dos movimentos permitidos, cálculos de capacidade e análise de acidentes, uma vez que o volume de tráfego e características do tráfego estão intrinsecamente relacionados a solução que se adotará. Assim, os dados coletados serão traduzidos em fluxogramas indicativos das variadas correntes de veículos, classificados em carros de passeio, ônibus e caminhões, por exemplo. Tais fluxogramas são elaborados para o ano de abertura e o ano de projeto, que corresponde ao décimo ano após a conclusão da obra (BRASIL, 2006).

As metodologias de execução das contagens, segundo o BRASIL (2006), podem ser:

- 1) Manuais - feitas por pesquisadores com auxílio de fichas e contadores manuais;
- 2) Automáticas - feitas através de contadores automáticos que detectam veículos;
- 3) Videoteipe - consiste na filmagem com câmeras de vídeo.

4.3.2. Volume Médio Diário

Segundo definição do BRASIL (2006) o volume de tráfego (fluxo de tráfego) representa o montante de veículos transpassando por uma seção de via e uma determinada unidade de tempo, podendo ser expresso em veículos/dia (vpd) ou veículos/hora (vph). O mais usual para estudos de tráfego é considerar o volume médio diário (VMD), que contabiliza a média entre o volume de veículos trafegando em um dia, em um trecho de via. Sua finalidade é indicar as condições do local estudado, revelando se este é capaz de suportar o volume circundante ou se adaptações são necessárias para abarcar de forma satisfatória o fluxo. Portanto, o VMD atua como um importante parâmetro de avaliação na análise das condições operacionais de uma via/interseção.

Em termos de expressão, o BRASIL (2006) subdivide o VMD de acordo com a unidade temporal adotada, quais sejam: 1) Volume médio diário anual (VMDa) - total de veículos trafegando em um ano dividido por 365; 2) Volume médio diário mensal (VMDm) - total de veículos em um mês dividido pelo número de dias do mês; 3) Volume médio diário semanal (VMDs) - total de veículos em uma semana dividido por 7; 4) Volume médio diário em um dia de semana (VMDd) - total de veículos trafegando em um dia da semana. A unidade adotada para esses VMD é a de veículos/dia (vpd). Já o VMD de maior relevância é o VMDa.



4.3.3. Volume Horário

Ao longo das horas do dia há variação no fluxo de tráfego que pode ser determinada através do volume horário, expresso pela relação do número total de veículos trafegando em uma determinada hora (BRASIL, 2006). Tais volumes horários são condensados em gráficos para representar a variação horária ao longo de um ano.

4.3.3.1. Hora de Pico

Comumente, em um projeto viário, não se dispõe de dados de contagem para um ano inteiro. Entretanto, é possível vislumbrar horas de pico, que indicam os maiores volumes de veículos em um determinado dia, sendo que tais volumes (para o mesmo local) tendem a se manter estáveis no mesmo dia da semana, mas variando ao longo da semana e do ano (BRASIL, 2006).

Em decorrência da indisponibilidade de dados para um ano inteiro, os picos tornam-se relevantes, uma vez que o VHP é próximo de um dos volumes de pico do ano (BRASIL, 2006). A exemplo de aplicabilidade dessa metodologia, pode-se realizar uma contagem por uma semana, determinar os volumes de pico desse período e estimar o provável volume da hora de pico do ano, posteriormente determinando o VHP.

4.3.3.2. Volume Horário de Projeto

Nos projetos geométricos de vias e interseções, por razões econômicas, costuma-se adotar para o dimensionamento um volume de tráfego representativo, uma vez que é comum não haver contagens horárias contínuas que abranjam um ano inteiro, sendo esse o Volume Horário de Projeto - VHP. Tal volume é utilizado para prever as horas mais congestionadas, já que está próximo de um dos momentos em que o fluxo estará mais carregado no ano. Recomenda-se sempre que possível, que o VHP seja expresso também em unidades de carro de passeio por hora (UCP/hora).

Ademais, o BRASIL (2006) preconiza que o VHP seja utilizado no planejamento da demanda de uma via ou interseção, estabelecendo o ano de projeto, que consiste no décimo ano após a conclusão das obras. Esta medida é adotada para evitar superdimensionamento, que levaria a investimentos de grande vulto, bem como evitar a ociosidade.



4.3.4. Expansão / Projeção do Volume de Tráfego

O Manual dos Estudos de Tráfego (BRASIL, 2006) destaca que se deve dar atenção à disponibilização de um nível de serviço aceitável em sua vida útil, sendo esse foco aplicado através da projeção mais acurada do volume e distribuição do tráfego no futuro, objetivando fornecer elementos para dimensionamento e análise da viabilidade econômica do projeto (BRASIL, 2006).

A projeção do tráfego futuro se baseia na extrapolação de tendências, que são expressas a partir de funções que possam se aproximar das variações que transcorrem no tempo, e adotando-as como balizadoras da previsão do tráfego futuro, desde que considerando como fator limitante o isolamento da evolução do tráfego de variáveis que têm parte ativa na influência do mesmo.

4.4. Projeto Geométrico de Rodovias no Brasil

4.4.1. Parâmetros do Desenho Geométrico

Fisicamente, entende-se que uma via como entidade tridimensional na qual a dimensão longitudinal predomina, a qual atua como referência geométrica para os demais elementos a partir de uma linha fluente e contínua.

Os elementos geométricos podem ser decompostos em três dimensões, seja primeira o plano horizontal (projeto em planta), onde se visa estabelecer o eixo da via; já a segunda está ligada ao plano vertical (projeto em perfil), no qual se busca determinar o *greide* da via; e para a terceira dimensão o escopo é definir a seção transversal, designando os componentes da via de acordo com os planos verticais perpendiculares ao eixo longitudinal (LEE, 2000).

Dessa forma, pode-se partir para a determinação dos elementos planialtimétricos, altimétricos e transversais, que são guiados pelos parâmetros de projeto, dos quais destacam-se: A velocidade de projeto, veículo de projeto e distâncias de visibilidade. Ademais, além dos parâmetros de projeto, existem outros elementos básicos do projeto geométrico, conforme destaca Lee (2000):

- a) eixo da via: Linha que representa geometricamente a rodovia, projetada no plano horizontal;
- b) faixa de rolamento (ou faixa de trânsito): é o espaço dimensionado e destinado à passagem de um veículo por vez;
- c) pista de rolamento: é o espaço correspondente ao conjunto das faixas contíguas.



4.4.2. Classificação Funcional de Vias

O tipo de serviço que uma via oferece pode atuar como referência para a classificação dessa. Para tanto, é necessário reconhecer o tipo de serviço oferecido através da determinação das funções básicas de mobilidade e acessibilidade que a via fornece (LEE, 2000).

Tomando como base o início e o final do percurso, busca-se identificar como é proporcionado o acesso aos locais de origem e destino. Assim, em termos práticos, quando uma viagem típica é realizada, vias de pequeno porte são utilizadas, oferecendo o devido acesso aos pontos terminais da viagem. Todavia, quando o percurso é longo são utilizadas vias de grande porte, que oferecem maior mobilidade. Há ainda aquelas que atuam na interface, oferecendo facilidades de acesso e relativa mobilidade (LEE, 2000).

A base conceitual de mobilidade/acesso, gera o agrupamento hierárquico dos sistemas funcionais, conforme estabelecido no Figura 9, que dispõe a relação entre as funções de mobilidade e acesso. Assim, de acordo com as características básicas dos serviços oferecidos, as vias são classificadas da seguinte forma (LEE, 2000):

- a) Sistema Arterial - compreende as vias cuja função principal é de propiciar mobilidade;
- b) Sistema Coletor - engloba as vias que proporcionam um misto de funções de mobilidade e de acesso;
- c) Sistema Local - abrange as vias cuja função principal é oferecer oportunidade de acesso.

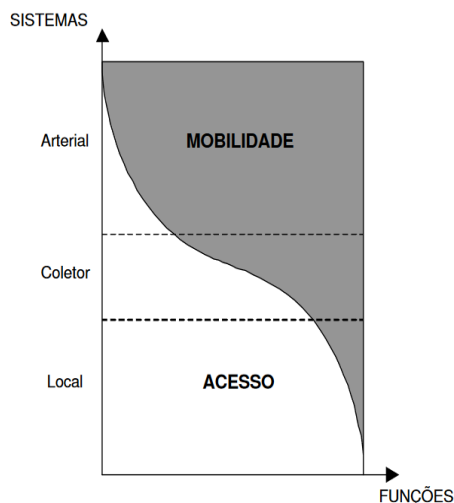


Figura 9. Relação entre as funções de mobilidade e acesso. Fonte: Lee (2000).



4.4.3. Curvas de Concordância Horizontal

No plano horizontal, os trechos com alinhamentos retos que possuem mudanças de direção necessitam ser concordados uns com os outros para dar a devida suavidade no traçado. É dessa necessidade que surgem as curvas de concordância horizontal, que representam os trechos curvilíneos em um traçado, enquanto os trechos retos representam as tangentes. As curvas horizontais podem ser diferenciadas em curvas simples (circulares) e curvas de transição (compostas), como pode ser observado na Figura 10.

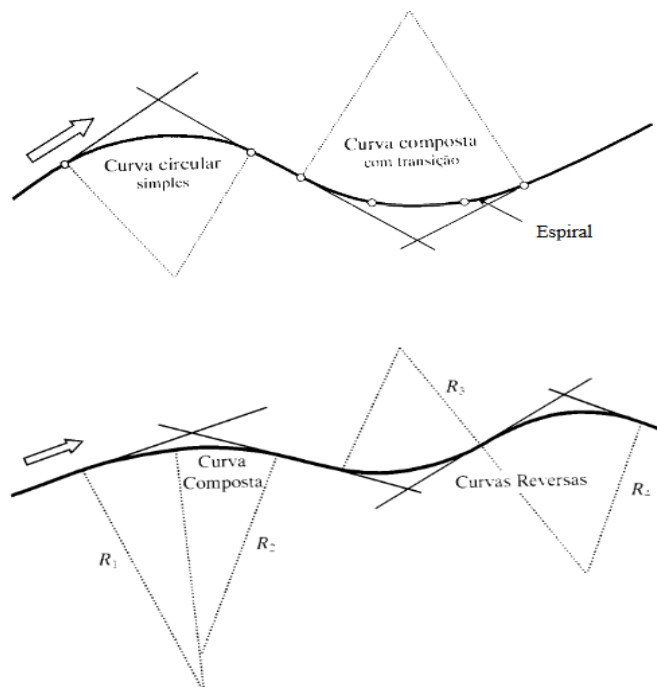


Figura 10. Curvas de concordância horizontal. Fonte: Pereira et al. (2010).

Os raios de curvatura são um dos pontos basilares das curvas horizontais, e na escolha da dimensão desses alguns aspectos devem ser observados, dentre eles o BRASIL (2005) elenca:

- Atendimento aos veículos: O raio deve ser dimensionado visando primeiramente a atender satisfatoriamente às necessidades dos veículos que realizam manobras de conversão no local, especialmente os de maior porte, sem a invasão de outras faixas. É essencial considerar o tipo, o volume e a velocidade dos veículos que utilizam a interseção. Nesse sentido, devido à relação existente entre velocidade e raio de giro, que são diretamente proporcionais, o raio de curvatura escolhido deve ser tal que induza os veículos a realizar manobra com velocidade adequada, que atenda a taxa de escoamento requerida e a segurança da operação.



- **Ângulo de Giro:** É aquele formado entre as tangentes inicial e final de uma curva. Geralmente define o raio a ser empregado, em função do espaço disponível. Ângulos pequenos conduzem ao emprego de raios maiores para atender os comprimentos mínimos desejados. Ângulos grandes impõem raios menores, para reduzir as dimensões das áreas necessárias.

4.4.3.1. Curvas Simples

Curvas simples ou curvas circulares são aqueles segmentos de circunferência de um projeto geométrico de vias. São utilizadas para dar concordância de dois alinhamentos retos que se interceptam em um vértice. O emprego desse tipo de curva decorre de suas propriedades favoráveis oferecidas ao tráfego (usuários da via) e ao projeto de curva propriamente, no que tange a sua posterior materialização em campo através de processos de locação (LEE, 2000). Seus elementos fornecem maior facilidade de cálculo e locação em campo e podem ser observados na Figura 11, sendo sua notação discriminada a seguir.

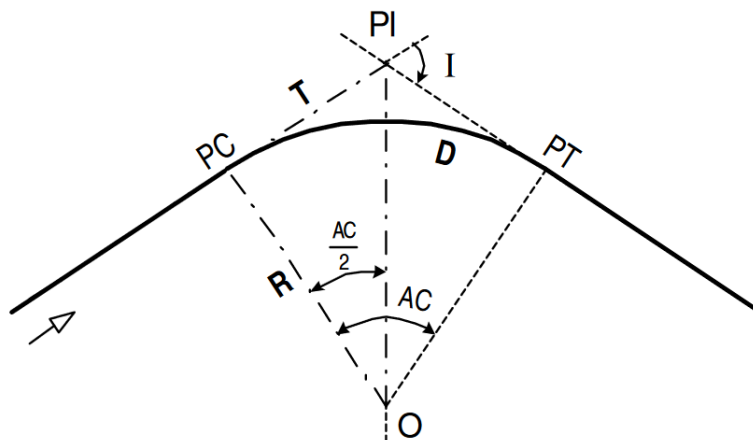


Figura 11. Esquema da concordância com curva simples. Fonte: Lee (2000).

onde,

PI: Ponto de Interseção;

PC: Ponto de Curva;

PT: Ponto de Tangente;

I: Ângulo de Deflexão;

AC: Ângulo Central;

T: Tangente Externa ou Exterior (m);

D: Desenvolvimento (ou comprimento) da Curva Circular (m);

R: Raio da Curva Circular (m);

O: Centro da Curva Circular

4.4.3.2. Curvas de Transição

Curvas de transição ou curvas compostas são aqueles segmentos de circunferência que intercalam dois segmentos de curva de um projeto geométrico de via. Primordialmente, sua função é a de permitir transição gradativa de um traçado em tangente para um traçado em curva circular (LEE, 2000). Elas podem ser definidas, ainda, como arcos de curvas de raio



um estudo de simulação, o comportamento da interconexão diamante convencional existente no local de estudo.

No trabalho, Chlewicki (2003) sugeriu dois novos desenhos para projetos de interseções e interconexões - a *Synchronized Split-Phasing (SSP) Intersection* e a *Diverging Diamond Interchange (DDI)* - que em tradução significam, respectivamente, Interseção de Fase Dividida Sincronizada e Interconexão Diamante Divergente. No arranjo sincronizado de fase dividida se permite que, tanto o movimento reto quanto o de conversão à esquerda, se cruzem antes da interseção (EDARA et al., 2005) principal, para que no meio os veículos possam convergir para a esquerda ou seguir em linha reta. Na figura 13 são representados os esquemas da geometria e dos fluxos de tráfego da SSP e da DDI.

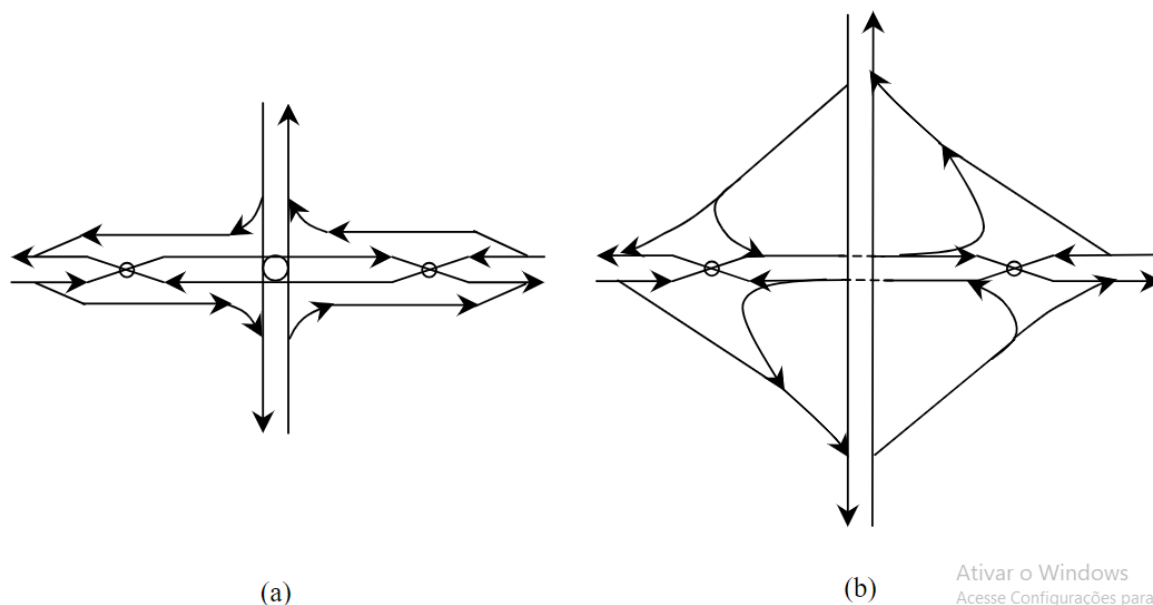


Figura 13. Interseções alternativas, sendo: (a) Interseção de Fase Dividida Sincronizada e (b) Interconexão Diamante Divergente. Fonte:Chlewicki (2003).

Antes de ter sido introduzido nos Estados Unidos em 2003, o conceito de uma Interconexão Diamante Divergente (DDI, em inglês) havia sido aplicado em Versalhes, França na *Autoroute de Normandie and Boulevard de Jardy*, onde as configurações desse tipo interconexão foram implantadas (PARK, 2017).

Segundo Chlewicki (2003) a ideia de uma interseção de fase dividida sincronizada se originou de uma interconexão em Baltimore, onde duas rodovias se interceptam. Destarte, a idealização da interconexão tinha como objetivo disponibilizar rampas de saída curtas,



mantendo velocidades altas e transições suaves para os motoristas que adentrariam na interestadual abaixo da rampa (CHLEWICKI, 2003).

Caracterizando os padrões de tráfego têm-se: Iniciando na margem oeste da Figura 13, o tráfego no sentido leste poderá usar uma rampa de acesso para realizar conversão para a direção sul, assim como o do sentido oeste poderá se dirigir ao norte. Nas interseções, as faixas de rolamento se entrecruzam, fazendo com que cada uma das correntes de tráfego percorra a via no lado esquerdo, semelhante a uma rodovia com divisão de mão britânica. Um semáforo controla os cruzamentos em ambos os sentidos. Após o entrecruzamento dos sentidos, a via leste-oeste cria uma interseção com a via norte-sul, a qual é denotada como “interseção principal” ou “cruzamento principal”. Posteriormente, passada a “interseção principal”, os semáforos nas interseções controlam o retorno das correntes para o lado adequado da via (CHLEWICKI, 2003).

No caso da Interconexão Diamante Divergente, ilustrada na Figura 13(b), os tráfegos nos sentidos leste e oeste permitem a conversão à direita em uma rampa antes do entrecruzamento. Depois do entrecruzamento, tem-se as correntes que vem das direções sul e norte, que desejam rumar para os sentidos oeste e leste, sendo que estes irão convergir à esquerda no trecho invertido, ou seja, entrarão na *DDI*. Ainda no trecho invertido são providenciados, nos lados esquerdos, rampas de saída, onde são realizadas as conversões à esquerda para sair da interconexão, rumo à via expressa. Saindo do trecho invertido, as pistas retornam para o sentido regular nas interseções de entrecruzamento, encerrando assim seu percurso na *DDI* (CHLEWICKI, 2003).

Baseado no conceito proposto por Chlewicki, em 2009 foi inaugurada a primeira *DDI* nos Estados Unidos, em *Springfield* no estado de *Missouri*, em uma construção que durou seis meses e custou três milhões de dólares, sendo destacada pela Revista *Popular Science* como uma das melhores inovações em engenharia no ano de 2009, em termos de segurança e perspectiva de eficiência (ANDERSON, 2016). Em seguida, uma pesquisa elaborada pelo Departamento de Trânsito de *Missouri* (*DOT*, em inglês) para detectar a percepção do funcionamento da interconexão demonstrou que a maioria das respostas apontou a *DDI* como mais segura, mais eficiente na movimentação do tráfego e que no geral os usuários estavam satisfeitos (CHLEWICKI, 2011).



Anteriormente, em 2007, a *Federal Highway Administration* (Administração Federal de Autoestradas Americana) divulgou os resultados de um estudo que simulava a operação da *DDI* para determinar sua segurança (CHLEWICKI, 2011). A conclusão apontou que se bem desenhada, sinalizada e demarcada a geometria particular da *DDI* não causaria confusão nos motoristas. Ademais, concluiu-se ainda que tal interconexão seria mais segura, uma vez que nela constavam apenas 14 pontos de conflitos (Figura 14), uma redução considerável em comparação aos 26 pontos de conflito da diamante convencional (CHLEWICKI, 2011).

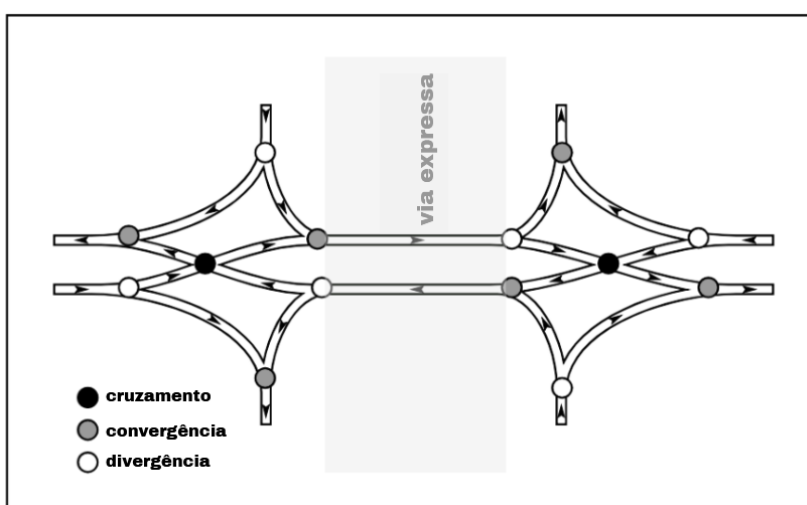


Figura 14. Pontos de conflito em uma DDI. Fonte: FHWA (2021) – Traduzido.

Desde a abertura da primeira *DDI* em *Springfield, Missouri*, inúmeras interconexões desse tipo foram abertas nos Estados Unidos (PARK, 2017), devido ao seu sucesso operacional. No *website* oficial *Diverging Diamond Interchange* são listadas inúmeras localidades onde já há *DDIs* implementadas nos Estados Unidos e em outras localidades no globo, bem como a previsão para construção de novas. O portal virtual dá conta de 99 *DDIs* implementadas mundo afora, sendo a grande maioria na América do Norte.

4.5.2. Visão Geral

A *DDI* é uma alternativa de interconexão (FHWA, 2014) para interseções em níveis diferentes, especificamente para a interconexão em diamante. *DDI* deriva do termo em inglês para *Diverging Diamond Interchange*, o que na Língua Portuguesa corresponde a Interconexão Diamante Divergente. No que concerne ao seu objetivo, o desenho da *DDI* é



idealizado para acomodar conversões à esquerda com maior volume e, portanto, eliminando uma das fases no ciclo semaforico de cada uma das interseções (CHLEWICKI, 2011).

Em cada lado da interconexão existem dois entrecruzamentos direcionais, que representam as características fundamentais do desenho de uma *DDI*, sendo ainda atrelados a melhora na operação de movimentos de conversão à esquerda para saída da *DDI* em direção à via expressa que se pretende adentrar (FWHA, 2014).

Tais entrecruzamentos são denominados, na literatura americana, como *crossovers* e são, na realidade, duas interseções dentro da interconexão em que as faixas de tráfego são invertidas, direcionando o fluxo para lados opostos ao convencional, no perímetro compreendido entre os dois entrecruzamentos. Para tanto, o desenho geométrico idealizado para possibilitar os movimentos de entrecruzamento origina curvaturas reversas que direcionam os veículos para lados contrários (FWHA, 2014).

Primordialmente, a diferença entre uma *DDI* e uma interconexão diamante convencional está figurada em seus desenhos geométricos, especificamente nos cruzamentos, nos quais os da *DDI* apresentam entrecruzamentos direcionais em cada um dos lados da interconexão (FWHA, 2014). Os pontos de entrecruzamento permitem que cada um dos fluxos bidirecionais dos veículos seja direcionado para o lado esquerdo da via, entre as duas interseções semaforizadas.

Em virtude desse direcionamento, a necessidade dos veículos que irão convergir à esquerda de cruzarem com o tráfego que vem em sentido oposto é eliminada (FWHA, 2014). Por conseguinte, os motoristas que trafegam na via cruzada podem convergir à esquerda para sair da interconexão sem a preocupação de realizar o movimento com atenção ao tráfego no sentido oposto, uma vez que o mesmo fora desviado nos pontos de entrecruzamento, e ainda sem a necessidade de proceder com paradas. A Figura 15 ilustra o desenho geométrico da *DDI* e suas características chave.

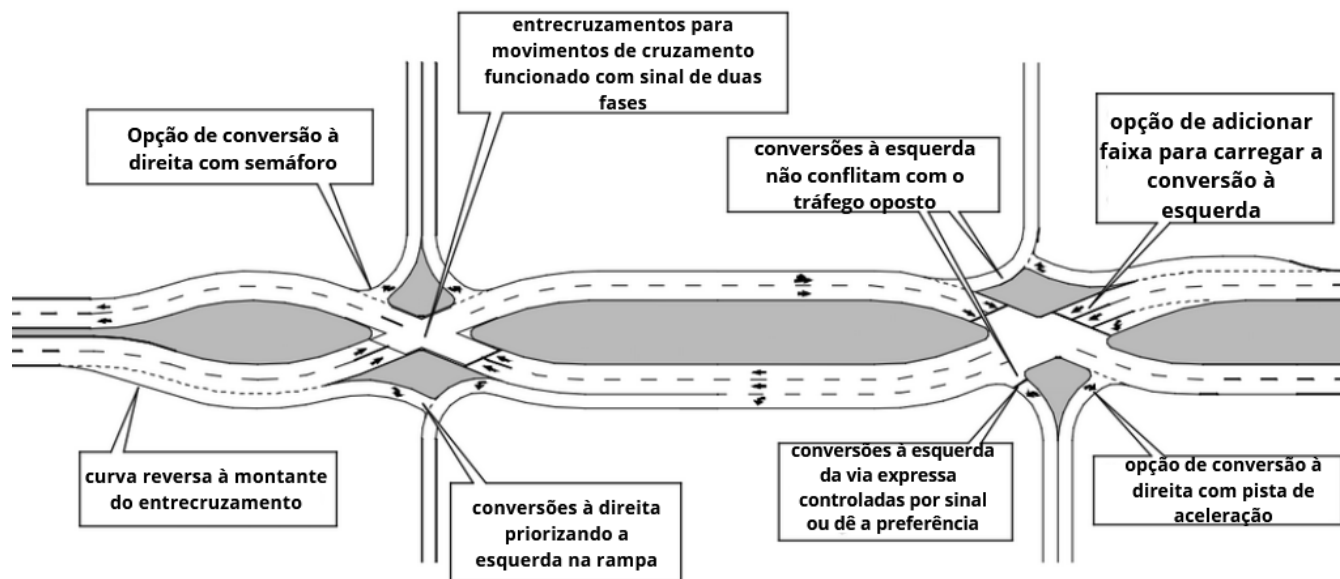


Figura 15. Características da DDI. Fonte: FHWA (2014) - traduzido.

4.5.3. Propósitos da Aplicação

Comumente grandes volumes de movimentos de conversão geram transtornos em interseções. Como resultado, muitas interseções não conseguem mais operar satisfatoriamente e diluir o fluxo de tráfego de forma constante e fluida, gerando filas e atrasos em suas aproximações. Assim, muitas interseções necessitam de três faixas para conversões à esquerda ou à direita, ocasionando disfunções na segurança e na operação (CHLEWICKI, 2003). Quando há grande volume de conversões em uma direção os atrasos podem se tornar frequentes, alterando significativamente a capacidade do tráfego, originando problemas com a sincronização e potencializando a ocorrência de acidentes.

A fim de solucionar e/ou mitigar os efeitos dos conflitos gerados em uma interseção com grande volume de conversões à esquerda a Interconexão Diamante Divergente se apresenta como um conceito inovador, explorado como um tipo de interconexão alternativa que fornece melhorias significativas na capacidade de operação enquanto minimiza a requisição de espaço a ser ocupado (SPETH, 2008).

A Interconexão Diamante Divergente tem se mostrado como uma solução ideal para interconexões, devido às suas características de segurança, menores custos de implementação, além de seus benefícios operacionais em diferentes cenários, nos quais as conversões são protagonistas (CHLEWICKI, 2011). De forma geral, a literatura evidencia que as *DDIs* oferecem aperfeiçoamento substancial na operação em comparação a outros tipos



de interconexão, quando há elevado volume de conversões à esquerda. O formato de uma *DDI* é mais compacto do que outras formas de interconexão, geralmente seu custo de implementação é menor, ocasiona menos impactos ambientais e gera menos desapropriações (CHLEWICKI, 2011)

Sua implementação pode ocorrer tanto convertendo uma interconexão diamante convencional em uma Interconexão Diamante Divergente, ou idealizando seu projeto em substituição a outra forma de interseção pré-existente.

4.5.4. Considerações Sobre a Geometria

A geometria desenhada para qualquer interseção/interconexão varia em decorrência do local e do contexto do projeto. Em perímetros urbanos, pontos de preferência de passagem, gerenciamento do acesso nas proximidades da interconexão e considerações sobre pedestres e ciclistas muito provavelmente irão influenciar em muitas das decisões relacionadas ao desenho do projeto (*FWHA*, 2014).

Por ser uma interconexão, o posicionamento da *DDI* pode se dar em um de seus dois níveis, ou seja, a mesma poderá passar por cima da via arterial ou por baixo. Todavia, a maioria das *DDIs* avaliadas pela literatura são reconstruções de interconexões diamante convencionais, e a decisão pelo seu posicionamento já foi tomada anteriormente (*FWHA*, 2014).

Sua geometria promove, teoricamente, benefícios para a segurança, uma vez que nessa configuração os números de pontos de conflitos se tornam reduzidos, especialmente aqueles pontos de conflito que se originam do cruzamento de movimentos de conversão à esquerda com os que seguem em sentido reto.

Conectando o trecho das vias invertidas e a via arterial existem duas rampas de entrada e duas de saída. Uma das rampas de entrada promove movimentos de conversão à esquerda e à direita. Em relação à distância entre as duas interseções semaforizadas, o habitual é que se estendam em média por 152,4 metros (*FWHA*, 2014). Os movimentos pela interconexão podem ser compreendidos observando a Figura 16.

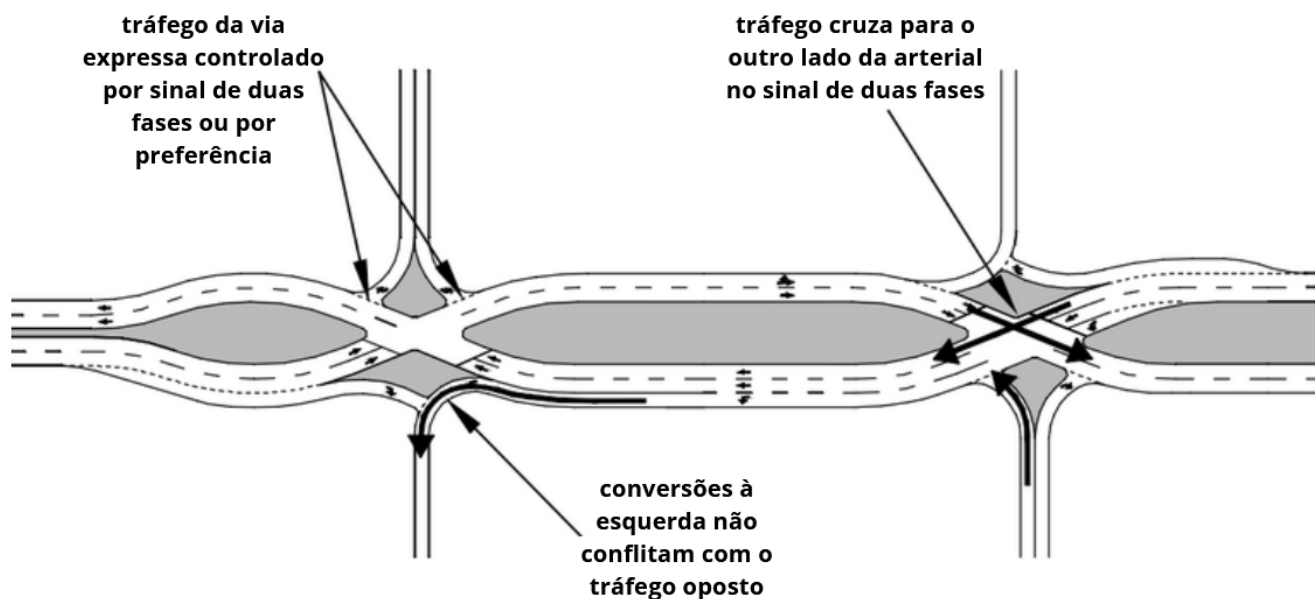


Figura 16. Geometria e movimentos de tráfego na DDI. Fonte: FHWA (2014).

4.5.5. A Dupla Fase da Programação Semafórica

O conceito da programação semafórica é baseado em fases duplas, que controlam os movimentos de entrecruzamento gerados pelo desenho da interconexão (CHLEWICKI, 2003). No tocante aos dispositivos de controle semafórico, a *FHWA* (2014) aponta que são dispostos dois semáforos por interseção e suas programações operam a partir do conceito de fase dupla, e em sincronia.

Para ilustrar a programação, a Figura 17 representa o esquema de estágios dos sinais da *DDI*. Identifica-se a existência de 2 estágios que controlam os movimentos nas interseções, para atender esses estágios são programadas duas fases para cada interseção. Os estágios alteram os movimentos entre entradas e saídas do trecho invertido. Essas fases estão associadas ainda aos estágios que controlam os movimentos de conversão à esquerda e à direita das rampas de entrada, e ocorrem simultaneamente com os movimentos de entrecruzamento.

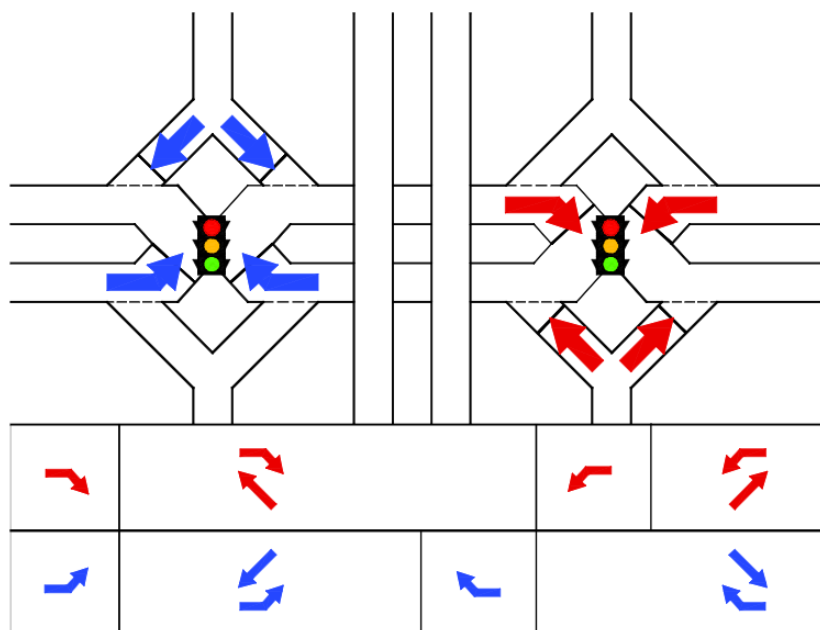


Figura 17. Esquema padrão de fases para uma DDI. Fonte: FHWA (2014).

A fase da rampa será combinada com o tráfego advindo do sentido leste/oeste, que não é conflitante. O tempo de verde para a rampa não necessita ser tão extenso quanto o outro tempo de verde na mesma fase, uma vez que pode desencadear disfunção na fila do outro sinal. Já para o segundo sinal, pode haver a necessidade de dilatar o tempo de verde em uma determinada direção, em relação à outra fase, a fim de prevenir que os movimentos de conversão à esquerda das rampas causem enfileiramento uma segunda vez no sistema. Entretanto, quanto maior for o tempo de verde para o segundo sinal, mais este se assemelhará a um semáforo de três fases (CHLEWICKI, 2003).

Os ganhos no ciclo semaforico aparentam ser sutis, todavia, esses resultam em vantagens significativas na capacidade de cada uma das interseções, além de contribuir para eliminar a comum frustração dos motoristas associada à espera em interseções compreendidas como “vazias” (FHWA, 2014). Assim, apesar de atípica a programação e coordenação dos sinais em uma DDI tende a fornecer interessantes benefícios operacionais, proporcionando maior fluidez no tráfego.

Ademais, quando se reduz o número de fases no sinal, conseqüentemente, há a diminuição no tempo total perdido, oportunizando em cada interseção maior capacidade de escoamento do tráfego. A redução no número de fases acarreta, também, minoração nos tempos de amarelo e em todo o tempo de vermelho. Tem-se ainda a redução no tempo



perdido, em virtude do tempo que o primeiro veículo leva para iniciar o movimento ao reagir ao sinal verde abrindo a sua frente. Tais decréscimos no tempo perdido contribuem para que o ciclo semafórico estabelecido seja reduzido (SPETH, 2008).

Somado aos benefícios na operação do tráfego de veículos, o número reduzido de fases tem o potencial de favorecer os movimentos não-motorizados, quando comparado a sinais de múltiplas fases. Nestes sinais há a necessidade de fazer com que os movimentos dos pedestres, nas faixas, sejam concluídos de forma adequada, o que tende a resultar em certa influência nas fases, sucedendo programação de ciclos semafóricos estendidos, e, conseqüentemente, maior atraso na travessia dos pedestres. Nos sinais de uma *DDI* quem controla a duração das fases de cada estágio são os movimentos dos veículos, o que na maioria dos casos propicia que a duração das fases tenha tempo suficiente para servir também aos pedestres (FHWA, 2014).

4.6. Características Operacionais

4.6.1. Considerações Sobre a Operação

O atendimento do fluxo de tráfego que irá convergir à esquerda para acessar a via expressa, em uma *DDI*, é significativamente superior ao que se observa em uma diamante convencional. Esse ganho operacional se deve aos movimentos de entrecruzamento que ocorrem em cada uma das duas interseções. Dessa forma, ao cruzar os fluxos de tráfego para lados opostos, a convergência à esquerda não se depara com tráfego advindo em sentido oposto, podendo realizar a conversão livremente.

A nomenclatura dos movimentos em uma *DDI* é realizada por escolha do projetista. Os nomes designados devem representar e definir claramente cada um dos pontos que orientam os movimentos, de acordo com sua origem-destino (FHWA, 2014). Assim, considerando a origem e o destino, é comum nomear os movimentos que trafegam na interconexão de acordo com coordenadas geográficas. A exemplo: Movimento L/O (leste para oeste), movimento O/L (oeste para leste). Seguindo tal lógica de nomenclatura, associam-se os nomes com representações gráficas que indiquem cada um deles, semelhante ao ilustrado na Figura 18.

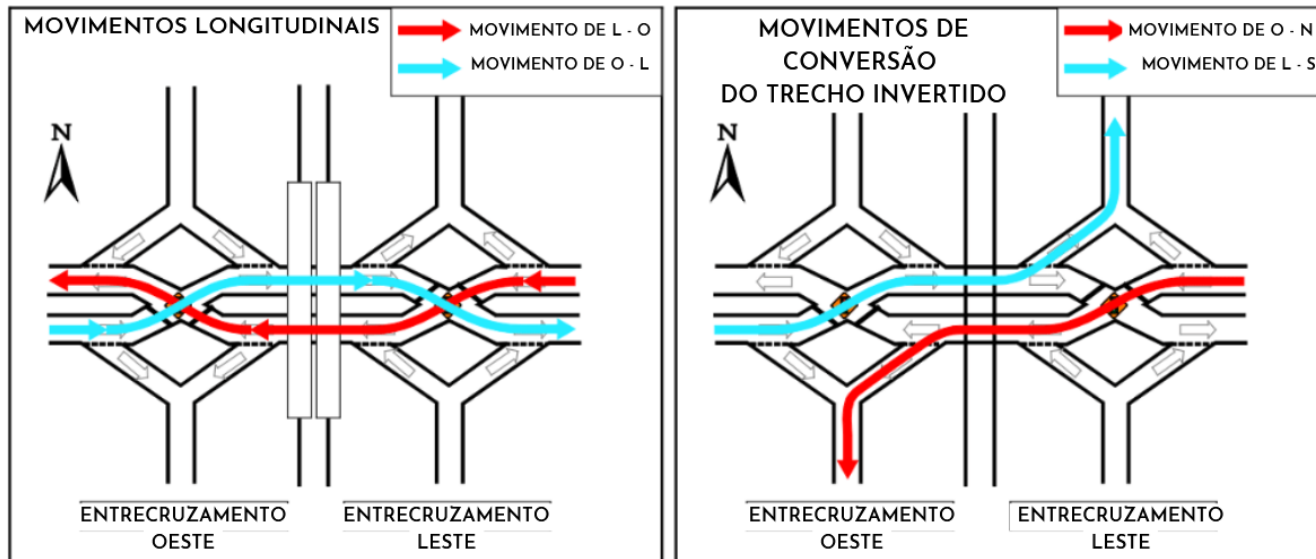


Figura 18. Nomenclatura dos Movimentos Realizados na DDI. Fonte: FHWA (2014) - Traduzido.

Na *DDI* existem apenas dois pontos de conflito do tipo cruzamento, que são os tipos que geram acidentes mais severos no caso de colisão. Todavia, os pontos de conflito na interconexão estão distantes uns dos outros. Assim, qualquer veículo que entre na *DDI* está propenso a ser atingido em apenas uma direção. Para operação, essa disposição de conflitos é vantajosa, uma vez que a redução gera uma demanda menor no tempo de amarelo e de vermelho total, implicando em menos atrasos, mais tempo de verde e maior capacidade (SPETH, 2008).

4.6.2. Operação dos Semáforos

A maior distinção dos sinais da *DDI* é em relação à sincronização da dupla fase dividida nas duas interseções de entrecruzamento. Com efeito, a redução de fases nos estágios proporciona maior eficiência na programação semafórica, uma vez que os ciclos tendem a ser reduzidos, elevando a fluidez dos fluxos (FHWA, 2014). A programação dos sinais nas interseções principais alterna, concomitantemente, os estágios que controlam os movimentos de entrada/saída e os de conversões, conforme esquematizado na Figura 19.

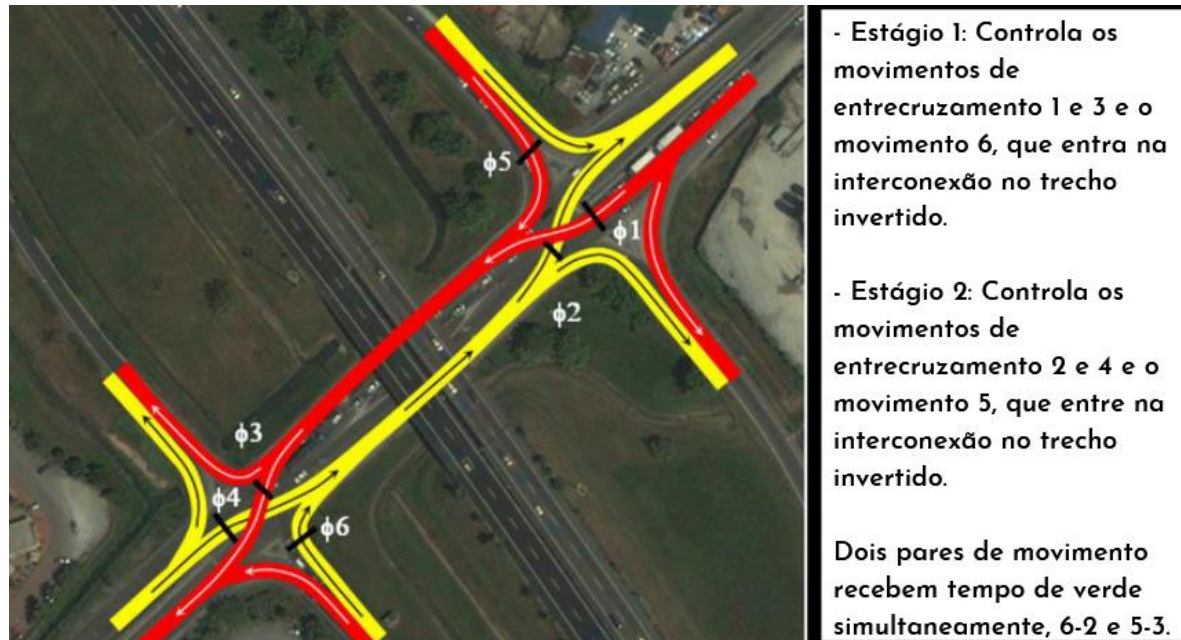


Figura 19. Programação semafórica na DDI. Fonte: Leong et. al (2014) - adaptado.

A literatura mostra que o sinal de duas fases da *DDI*, aliado à sua geometria, promove ganhos operacionais, especialmente no ciclo semafórico (CHILUKURI, 2011). Por conseguinte, a coordenação dos sinais é concebida sem maiores empecilhos entre as fases das rampas e as fases de movimento contínuo - aquele que segue o eixo longitudinal.

A programação dos sinais é diretamente afetada pelo espaço entre as duas interseções de entrecruzamento. Consequentemente, caso não seja bem dimensionada, há efeito na operação da interconexão, potencializando a formação de filas. Quando a distância entre os sinais é mais curta e estes estão coordenados, a tendência é que se tenha maior capacidade, uma vez que menos tempo é gasto trafegando de uma interseção à outra (FHWA, 2014).

Apesar de se guiarem pelos mesmos parâmetros de programação para sinais em interseções comuns, algumas considerações especiais são feitas para uma *DDI*. O primeiro destaque é quanto ao tempo de clareamento, que está associado às velocidades desenvolvidas, e impacta nos intervalos de entreverdes (NCHRP, 2021). Dessa forma, é recomendável que após a abertura para o tráfego as velocidades desenvolvidas sejam monitoradas para que possam ser realizados ajustes na temporização dos sinais (NCHRP, 2021).



No concernente aos controladores de sinal, comumente é adotada a aplicação de controlador isolado, em virtude do reduzido número de fases. Com essa configuração, os movimentos são controlados por sobreposições, mantendo a progressão independentemente do volume de tráfego e da confiabilidade de comunicação entre os sinais de cada interseção, além de prevenir disfunção na coordenação devido a falhas iniciais no ciclo (*FHWA*, 2014). Ademais, para cada interseção são estabelecidos dois grupos semafóricos que se alternam, de forma que a transição ocorra em diferentes pontos do ciclo para criar progressão (*FHWA*, 2014).

O tipo de controle aplicado nos sinais de uma *DDI* pode ser tanto o atuado, quanto o de tempo fixo. No primeiro caso, as vantagens que ele oferece para interseções convencionais podem não ser experimentadas em uma diamante divergente (*FHWA*, 2014). Já na configuração de tempo fixo, é assegurado que o intervalo de verde e as oportunidades de progressão serão mantidas em ciclos seguidos, sendo o mais recomendado em uma *DDI* (*FHWA*, 2014).

Geralmente, o posicionamento das estruturas dos sinais é no lado oposto da aproximação, conforme ilustrado na Figura 20. Essa alocação permite que os veículos alinhados na linha de retenção - LRE tenham ampla visão dos sinais. Por conseguinte, segundo a *FHWA* (2014), essa forma de posicionamento permite aos motoristas compreensão visual de como se orientar nas faixas de rolamento. Ademais, os braços dos mastros não devem interferir na visibilidade de um grupo focal para com o outro. O guia informacional da *FHWA* (2014) destaca que os grupos focais nessas estruturas podem ser de três tipos, conforme segue:

- a) Tipo 1: Bolas vermelhas, verdes e amarelas;
- b) Tipo 2: Bola vermelha, setas amarelas e verdes;
- c) Tipo 3: Setas vermelhas, amarelas e verdes.

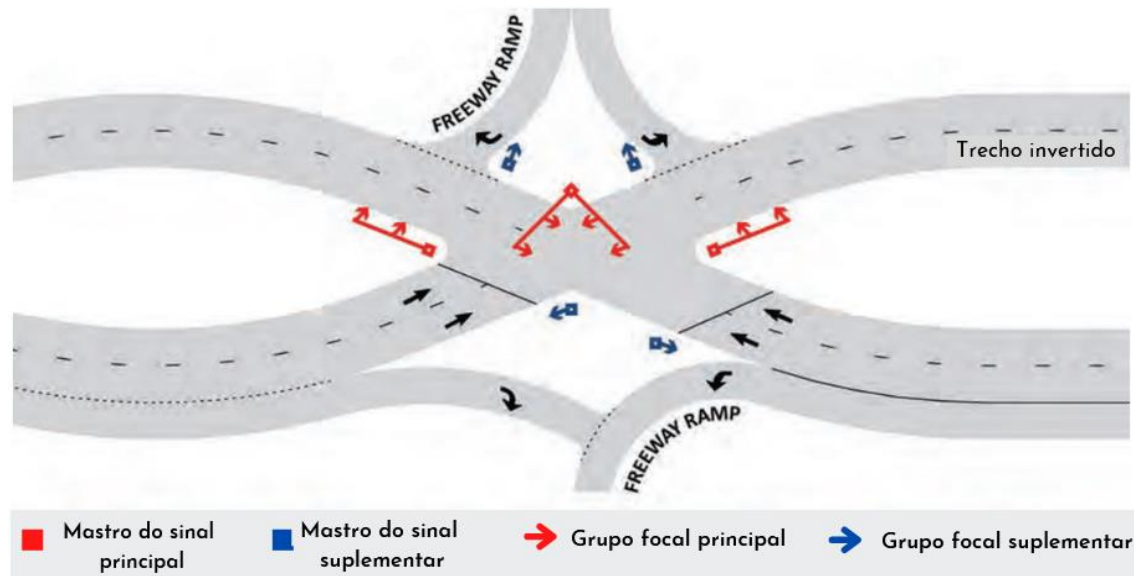


Figura 20. Posicionamento dos Grupos Focais. Fonte: NCHRP (2021) - adaptado.

Para o fluxo dos movimentos de entrecruzamento, os tipos 1 e 2 podem ser usados por cada faixa, sendo que o tipo 2 pode usar uma seta com ângulo para orientar a inversão pretendida, auxiliando na orientação do motorista para se manter em linha reta no alinhamento longitudinal, e não convergir em outra direção (FHWA, 2014).

Devido à preocupação em acomodar os transportes multimodais dentro de uma *DDI* é recomendável implementar sinais para pedestres, considerando a disponibilização de equipamento sonoro, que comunique aos pedestres cegos ou com baixa visibilidade o momento adequado para cruzar a faixa de pedestres.

4.6.3. Sinalização Horizontal e Vertical

Devido a suas características geométricas particulares, a *DDI* não está prevista nos manuais de sinalização. Assim, a sinalização horizontal implantada na zona de entrecruzamento acaba sendo relativamente divergente de uma *DDI* para outra. Todavia, linhas simples contínuas (LMS-1) devem ser aplicadas nas aproximações para desencorajar mudanças repentinas de faixa (FHWA, 2014).

Na maioria das *DDIs* implementadas, as linhas simples seccionadas (LMS-2) são empregadas para dividir as faixas de rolamento. As linhas de bordo (LBO) são pintadas no lado direito, enquanto as linhas simples contínuas (LFO-1) são posicionadas no lado esquerdo, mantendo a ideia de que ainda existem fluxos oposto, mesmo quando estão



separados no trecho invertido (FHWA, 2014), como pode ser observado na Figura 21. É nas pontas das ilhas de canalização - onde ocorrem convergências ou divergências - que geralmente se muda a coloração da sinalização horizontal.



Figura 21. Alocação das linhas de sinalização horizontal. Fonte: FHWA (2014) - adaptado.

Amplamente disponibilizadas em *DDIs*, as setas direcionais, combinadas com a sinalização vertical (regulamentação, advertência e indicação), promovem a adequada condução dos motoristas na interconexão. Existem três variações de setas que podem ser aplicadas, conforme destacado na Figura 22.

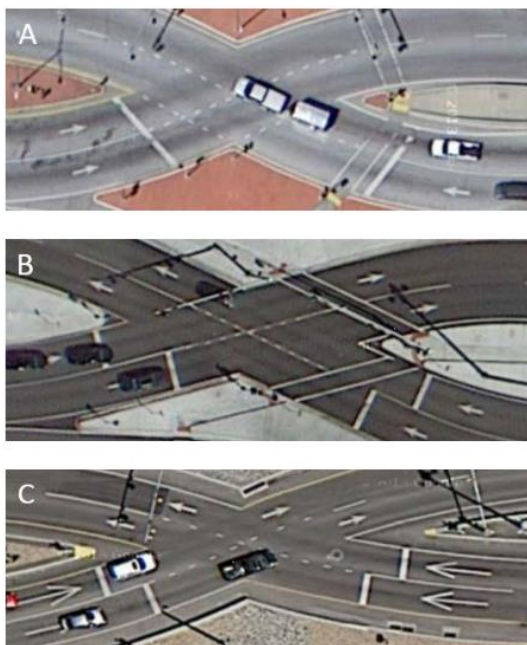


Figura 22. Aplicação da Setas Direcionais e suas Variações. Fonte: FHWA (2014).



As linhas de retenção (LRE) são empregadas nas aproximações dos entrecruzamentos - controlados por sinais - e nas rampas, onde são empregadas para indicar a preferência pelo direito de passagem (FHWA, 2014). Na Figura acima é possível identificar as linhas de retenção.

Geralmente, faixas de pedestre do tipo paralela (FTP-2) são aplicadas em *DDI*s em virtude da menor propensão a serem confundidas com o restante da sinalização horizontal, além de terem menor custo de aplicação (FHWA, 2014), como exemplificado nas partes A e B da Figura 22. Todavia, as faixas longitudinais do tipo zebra (FTP-1) são mais visíveis para os motoristas.

Para os pedestres que desejam cruzar uma faixa em uma *DDI* existe uma particularidade. O tráfego em alguns trechos está com o sentido invertido, porém, a tendência é que o pedestre olhe para o sentido habitual antes de atravessar. Para atenuar tal problemática pode ser empregado sinalização suplementar, ou mensagens informacionais emitidas pelos semáforos de pedestres, indicando a direção para qual olhar antes de realizar a travessia na faixa (FHWA, 2014). Um exemplo da sinalização horizontal suplementar é fornecido abaixo.



Figura 23. Inscrição no Pavimento para Orientar Pedestres “OLHE PARA A ESQUERDA”. Fonte: FHWA (2014).

Para auxiliar efetivamente o deslocamento dos motoristas pela *DDI*, emprega-se a sinalização vertical. Esse tipo de sinalização deve instruir os condutores quanto às configurações particulares da interconexão. Todavia, devido à singularidade da *DDI*, as práticas de sinalização vertical não estão previstas nos manuais regulatórios, o que torna a sinalização vertical nos diamantes divergentes um processo em evolução (FHWA, 2014).

Nos entrecruzamentos é recomendável utilizar placas sinalização vertical de regulamentação, indicando que faixas podem ou não ser acessadas, como exemplificado na



Figura 24. São comumente instaladas nas ilhas de canalização centrais que formam os entrecruzamentos (FHWA, 2014).

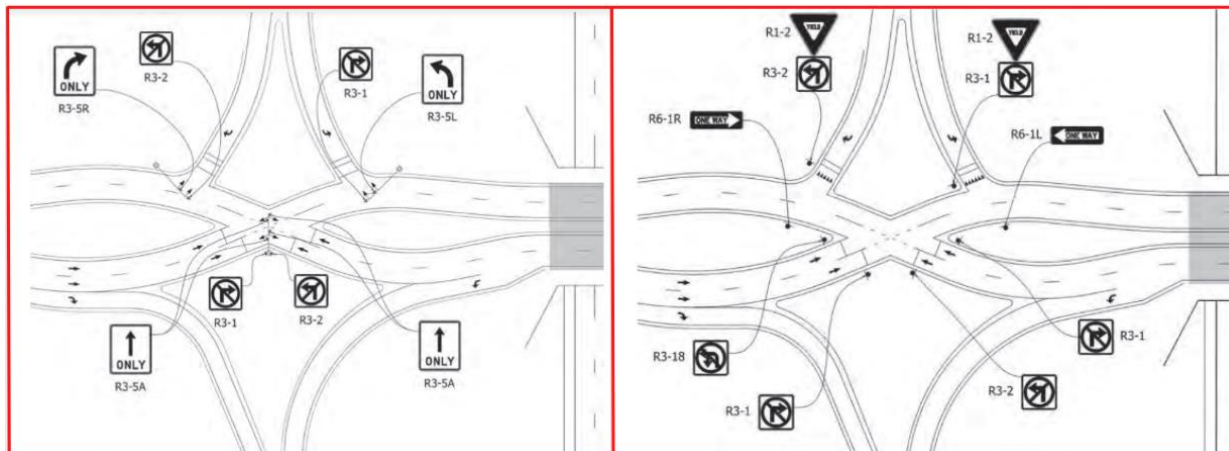


Figura 23. Posicionamento das Placas de Sinalização. Fonte: NCHRP (2021) - adaptado.

A sinalização vertical de advertência é utilizada para alertar os motoristas sobre pontos ou trechos específicos de uma DDI, como os sinais (A-14) nos entrecruzamentos. Já as placas de sinalização vertical de indicação, indicando rotas, vias ou destinações na cidade devem ser alocadas em áreas com visão desobstruída, de forma que possam ser lidas a uma distância apropriada que permita aos condutores tomar decisões sobre seu posicionamento antes de adentrarem na interconexão (FHWA, 2014).

4.7. Avaliação da Operacionalização

4.7.1. Performance Geral da Interconexão

No rol de informações dispostas na literatura, a operação do tráfego em uma DDI é significativamente mais eficiente quando volumes de conversão são elevados, uma vez que é o movimento reto que gera conflitos quando está oposto ao fluxo de conversão (CHILUKURI, 2011). O inverso ocorre quando há pouca conversão e elevado volume do movimento no sentido longitudinal.

Segundo a *Federal Highway Administration* (2014) algumas ponderações quanto à sua operação podem ser adotadas, com base nas observações e estudos de caso de operação de DDIs implementadas nas rodovias norte-americanas. Para elucidar essas considerações, destacam-se alguns aspectos envolvidos na operacionalização de uma interconexão diamante divergente, conforme segue:



- 1) Filas: A probabilidade de ocorrência é nas aproximações dos entrecruzamentos. Isso ocorre devido ao fato de que a interseção à jusante pode não conseguir processar toda a demanda gerada a montante. A propensão deriva da maior capacidade e menor grau de saturação nas interseções.
- 2) Progressão da corrente de tráfego: Os movimentos longitudinais não podem ser processados concomitantemente devido a necessidade de se cruzarem, o que pode limitar a progressão através da *DDI*. Por isso a interconexão opera com fases divididas.
- 3) Utilização de faixas: Observações de campo mostraram que há a propensão de desbalanceamento no uso das faixas, devido ao pré-posicionamento dos veículos. O desbalanceamento, neste caso, ocorre após a seção de entrecruzamento das interseções, onde se pode seguir reto ou convergir à esquerda.
- 4) Fluxo de saturação: Devido a suas características geométricas particulares, a *DDI* apresenta, segundo observações, redução no fluxo de saturação, implicando em melhor operação do tráfego.
- 5) Movimento de entrelaçamento: Suscetível de ocorrer quando existem interseções adjacentes à interconexão, mas que pode ser minimizado com o distanciamento da interseção.

A literatura reforça a evidência de que um dos maiores contribuintes para eficiência operacional da *DDI* advém do esquema de dupla fase dos sinais. Os sinais necessitam de ciclos menores do que de interseções adjacentes, e comumente as interseções de entrecruzamento operam com ciclos correspondentes à metade dos nas adjacências. Nos ciclos, o tempo de verde pode ser estendido consideravelmente em relação a outros esquemas, ou ainda pode ser distribuído em outra fase para compensar tempo perdido (CHLEWICKI, 2003).

O nível de serviço (NS) em uma diamante divergente decorre dos atrasos experimentados nos trechos da interconexão, sendo estes somatizados para estabelecer o geral (FHWA, 2014). Assim, atraso é uma métrica relevante para a análise da operacionalização de uma *DDI* e de sua performance.

Conforme recomendado pelo Guia Informacional da FHWA (2014), a avaliação de *DDIs* pode ser realizada com o auxílio de ferramentas de simulação, uma vez que elas são



capazes de analisar as características geométricas únicas, bem como o esquema de dupla fase da programação semafórica.

A análise por microssimulação é a metodologia mais empregada para construir as avaliações, sendo que as características mais críticas para a modelagem da *DDI* são a reprodução da geometria dos entrecruzamentos e codificação dos ciclos semafóricos, o que gera a necessidade de calibração e validação (*FHWA*, 2014).

Extraído da literatura sobre o tema, o estudo conduzido pelo *Missouri Department of Transportation* (Departamento de Transportes do Estado de Missouri) (2011) mostrou que as *DDIs* conseguem atender a grandes demandas de tráfego, tanto quando são abertas, quanto são experimentados aumentos na demanda dentro do seu horizonte de projeto. Tais resultados foram conduzidos por meio de duas metodologias, a simulação de cenários representativos e por observações de campo.

4.7.2. Perfis de Velocidade

Conforme discutido pelo *National Cooperative Highway Research Program* (Programa de Pesquisa Cooperativa Rodoviária Nacional) (2021), o perfil de velocidade traduz uma visão holística da performance de velocidade almejada em direção à *DDI* e através dela, podendo ser aplicado para:

- 1) Estimar as relações de velocidade para e através da *DDI* e estabelecer um raio de curva horizontal que corresponda com a transição no entrecruzamento.
- 2) Estimar o comprimento de transição para obter redução de velocidade entre a via invertida e o entrecruzamento.
- 3) Para avaliar os raios de curvas horizontais e quais relações possui com a velocidade das curvas dos entrecruzamentos, especificamente, e partir daí identificar perfis conceituais de velocidade. Tal conceitualização dos perfis de velocidade pode ser visualizada por meio da Figura 25.

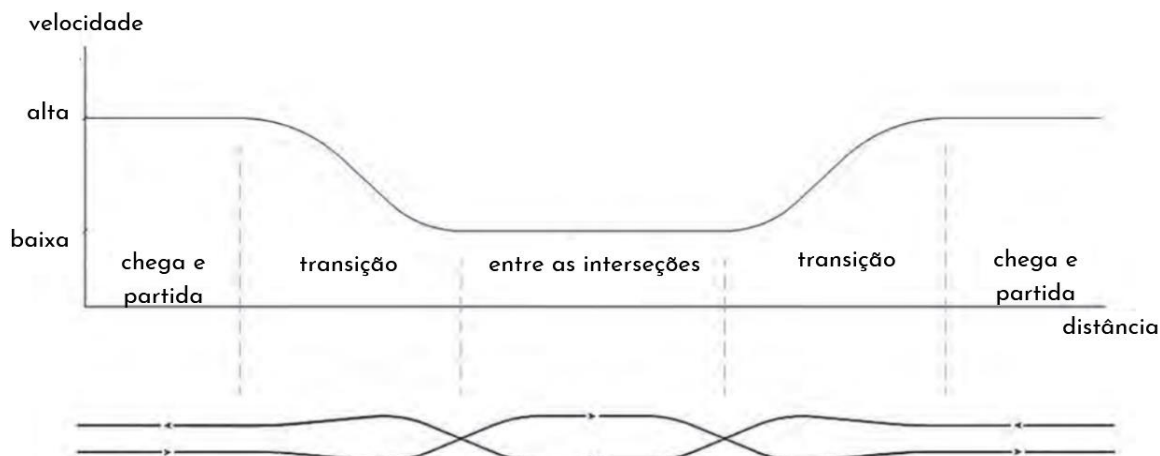


Figura 24. Perfis de velocidade conceituais. Fonte: NCHRP (2021) – traduzido.

Ao analisar a figura acima é possível identificar que as menores velocidades devem ser desenvolvidas nos trechos de transição e entre as interseções. Segundo o *NCHRP* (2021), onde os fluxos estão invertidos as velocidades indicadas devem variar de 32 km/h a 56 km/h, uma vez que tais velocidades se ajustam a raios que variam de aproximadamente 30 m a 122 m. Essa conceitualização é útil para desenvolver o alinhamento horizontal preliminar, ao se dimensionar raios que resultam nas relações já esperadas. Além disso, essa conceitualização pode ser usada para checar a performance dos alinhamentos após a finalização da *DDI*.

O desenvolvimento de velocidades consistentes para os variados movimentos, considerando seu desenho geométrico, é um dos balizadores do projeto de uma *DDI*. Dessa forma, as velocidades desejadas podem ser conceitualmente pré-dimensionadas através da relação em entre os raios das curvas horizontais e as zonas de velocidade, conforme destacado na Figura 25.

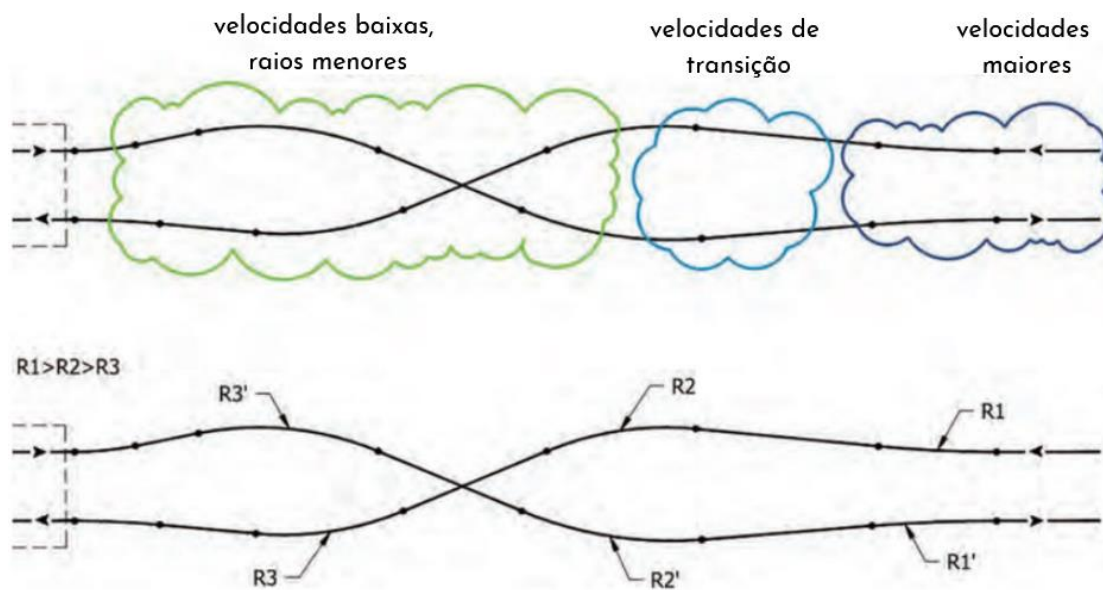


Figura 25. Relação entre a velocidade desejada e os raios de curvas. Fonte: NCHRP (2021) - traduzido.

De acordo com o Guia Informacional do *NCHRP* (2021), redução das velocidades e suavização das transições são objetivos dentro da concepção de uma *DDI*, processado por meio da seleção de velocidades intermediárias de transição.

4.7.3. Medidas de Desempenho

A avaliação da performance geral de um projeto pode ser realizada através do estabelecimento de medidas de desempenho, desde que levando em conta a natureza do projeto e que desempenhos serão avaliados. As medidas de desempenho podem ser categorizadas para compreensão detalhada de cada um dos grupos a serem avaliados, sempre considerando o contexto do projeto, dada sua influência direta na performance.

Análises operacionais podem ser realizadas na fase de desenvolvimento do projeto. Para apoiar as decisões a serem tomadas, avaliação sobre filas, atrasos, utilização de faixas e outras medidas de desempenho podem ser aplicadas (*NCHRP*, 2021).

Portanto, na concepção e desenvolvimento do projeto, as medidas de desempenho já podem ser utilizadas para compor a avaliação de sua viabilidade e eficiência operacional. Conforme orientação do Guia Informacional da *FHWA* (2014), algumas medidas de desempenho para os procedimentos de análise da performance de uma *DDI*, sejam elas:

- Tempo de viagem: tempo médio gasto pelos veículos transpassando a interconexão, incluindo os atrasos - expresso em segundos ou minutos por veículo;
- Velocidade: taxa de locomoção - expresso distância por unidade de tempo;



- c) Atrasos: Tempo adicional de viagem experimentado pelos motoristas nos entrecruzamentos e no trecho invertido - expresso em segundos ou minutos;
- d) Filas: comprimento de veículos enfileirados que usam o sistema - expresso em distância ou número de veículos;
- e) Paradas: número de paradas experimentadas nos entrecruzamentos e no trecho invertido - baseado em um limite mínimo de velocidade de deslocamento;
- f) Densidade: número de veículos em um segmento de via em média pelo espaço - expresso em veículos por metro ou veículo por metro por pista).

Das medidas de eficácia elencadas, as filas geram maior dificuldade na incorporação da análise da performance, uma vez que o espaçamento disposto entre os dois entrecruzamentos é relativamente curto, podendo causar formação de filas quando não há a devida coordenação dos movimentos (FHWA, 2014). Todavia, é mais prudente analisar isoladamente as medidas de desempenho para cada uma das interseções, ao invés de apenas computar essas medidas em médias, uma vez que assim o comportamento da operação das interseções não fica tão evidente (FHWA, 2014).

Em estudo conduzido para compreender a performance de uma *DDI*, por meio de simulações, Leong et al. (2014) empregaram a utilização de medidas de desempenho como atrasos e tempo de viagem, comparando os dados de tráfego contemporâneos ao momento do estudo e para uma demanda projetada para anos futuros. Nesse estudo, os autores destacam que, no geral, a Interconexão Diamante Divergente apresentou significativas melhorias em relação ao cenário avaliado anteriormente, até mesmo para as projeções futuras, que acentuam a demanda do tráfego.

Na literatura, grande parte dos estudos que avaliam a performance de uma *DDI* a partir de medidas de desempenho selecionam, geralmente, os atrasos, tempo de viagem e as filas para compor as análises. A exemplo, Chlewicki (2003) aplicou como medida de desempenho em seu estudo os atrasos, pois de acordo com o autor tal medida demonstra efetivamente o tempo gasto nos sinais, bem como a frustração psicológica dos motoristas.



5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Área de estudo

A Rodovia Josmar Chaves Pinto (Rod. AP-010), segundo o art. 68 do Plano Diretor de Macapá (2004), é um eixo viário prioritário da cidade, e é ainda uma das vias de ligação entre os Municípios de Macapá e Santana (Figura 26). Dessa forma, enquanto eixo, opera como canal de deslocamento entre diversos bairros da zona sul da cidade e deles para com a região central, sendo interceptada por muitas vias importantes da malha viária macapaense. Cabe ainda destacar que na Rodovia estão situados grandes empreendimentos privados, universidades, hospitais e órgãos da administração pública, que atuam como grandes geradores de demandas de tráfego.

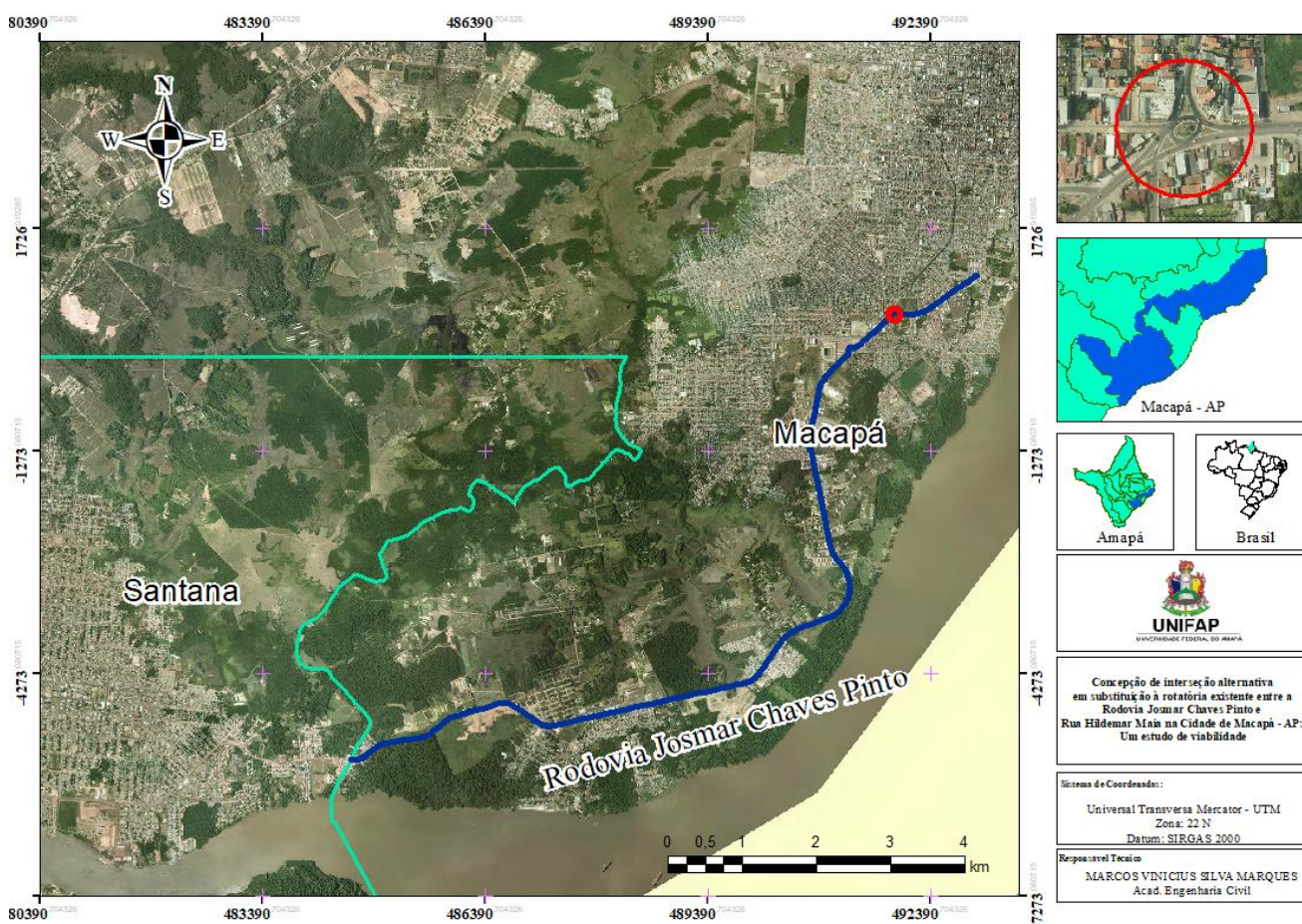


Figura 26. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: O Autor (2022).



No tocante a sua classificação no sistema viário, a Rodovia Josmar Chaves Pinto, no trecho estudado, pode ser enquadrada no sistema coletor, pois apesar de atender a um grande volume de tráfego, suas limitações espaciais proporcionam mobilidade tanto quanto reduzida.

Na interseção gerada pelo cruzamento da Rodovia Josmar Chaves Pinto com Rua Hildemar Maia está implementada uma rótula, sendo suas saídas destinadas a atender majoritariamente os fluxos longitudinais da Rodovia e a conversão à esquerda para a Hildemar Maia, conforme explicitado na Figura 27, por meio fotografia captura por um Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT. Dessa forma, em decorrência da ligação das duas vias e do elevado volume de tráfego que perpassa pela interseção, a rótula hoje se configura como um gargalo viário, especialmente no seu ramo de entrada, no lado leste (ramo-1).



Figura 27. A rotatória estudada. Fonte: O Autor (2022).

Considerando a operação de uma rótula, que prioriza o tráfego que está circulando em seu interior (BRASIL, 2005), e que a interseção da Rod. Josmar Chaves Pinto com a Rua Hildemar Maia possui um intenso fluxo circulatório, gerado pelos veículos que se dirigem para



a Rua Hildemar Maia, observa-se uma desproporcionalidade acentuada entre fluxos das correntes de tráfego.

Tal desbalanceamento decorre do, quase que ininterrupto, fluxo que circunda a ilha central em direção à Rua Hildemar Maia e do pouco lapso temporal que corrente de tráfego que deseja entrar no ramo-1 possui. Assim, nos horários de pico, quando o volume de veículos que chega na aproximação do ramo-1 aumenta, são formadas filas extensas, uma vez que o atraso na interseção se eleva bruscamente.

De seu início, na aproximação do ramo-1, em diante o comprimento das filas varia bastante e pode se estendendo por muitos metros, como pode ser observado na Figura 28. Denota-se uma fila no comprimento de aproximadamente 555 metros, medida através da ferramenta de medição do programa *Google Earth* ©. Como o volume de veículos que usam o ramo-2 para encerrar suas trajetórias na rótula é muito elevado, a corrente de tráfego que chega até o Ramo-1 necessita aguardar intervalos prolongados para se inserir na rotatória, gerando as filas observadas.



Figura 28. Comprimento aproximado de fila no momento do sobrevoo do VANT. Fonte: O Autor (2022).

Não só o fluxo intenso nas vias, como também a geometria da rótula, afetam consideravelmente sua capacidade, reduzindo a fluidez e, conseqüentemente, a mobilidade



na área. Assim, analisando sua configuração geométrica (Figura 29) se nota que a ilha central apresenta um formato elíptico, que resulta em um diâmetro externo de aproximadamente 32,84 m no eixo y e 41,80 no eixo x. Em decorrência de tal disposição geométrica, o fluxo que deseja se inserir na rotatória pelo ramo-1 é ainda mais prejudicado, uma vez que a distância percorrida no eixo y é menor que a no eixo x. Considerando ainda o elevado volume de veículos que trafegam na trajetória de menor comprimento (no eixo y) em direção ao ramo-2, é gerada uma espécie de “barreira veicular” na aproximação leste.

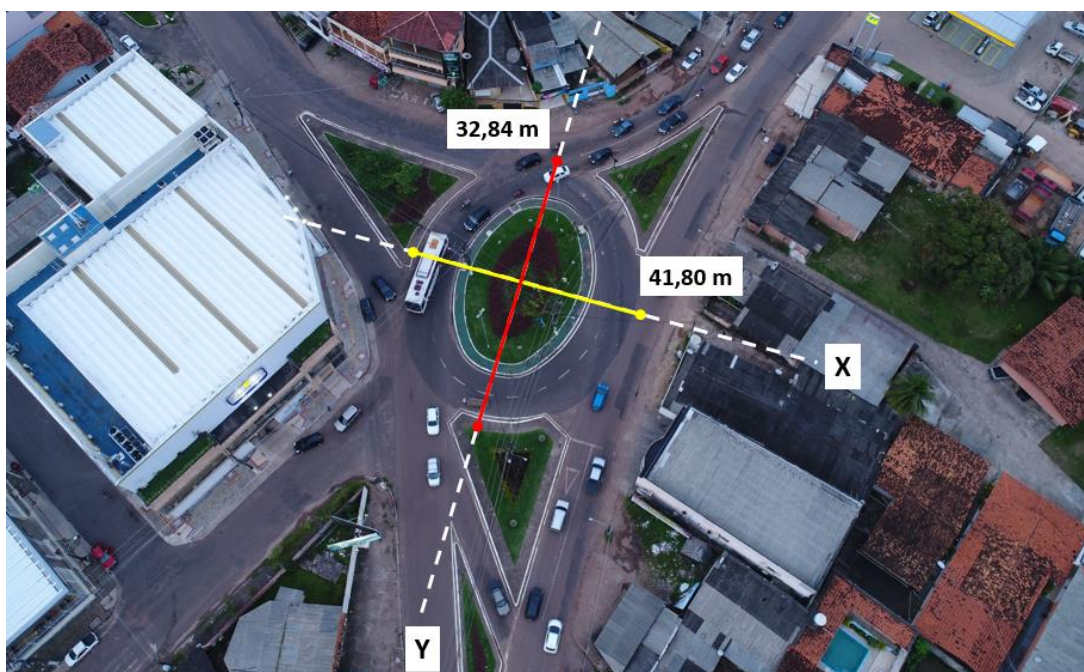


Figura 29. Dimensões da rotatória existente. Fonte: O Autor (2022).

Enquanto desfavorece o fluxo que chega ao ramo-1, a geometria da rotatória favorece grandemente o fluxo que se dirige do lado oeste para o leste, no ramo-3. Por estar praticamente alinhado com o eixo longitudinal da Rodovia, o arco sul, gerado pela ilha central, não gera grandes deflexões para os veículos que trafegam nesse sentido, ou seja, o fluxo é basicamente livre. Além disso, conforme os resultados da pesquisa de tráfego demonstram (Apêndice B), é ínfimo o movimento de retorno em “U”, não gerando a necessidade de esse fluxo dar preferência a quem trafega no interior da rotatória.

Em virtude da sobreposição de fatores agravantes, relacionados ao elevado fluxo de veículos e da geometria da rotatória, surge uma problemática na capacidade de operação dessa interseção. Particularmente, a operação é bastante desvantajosa para o fluxo que se



direciona ao ramo-1, gerando atrasos consideráveis e tempo de viagem longo, que podem ser facilmente identificados por meio da fila formada a partir de sua aproximação. Adicionalmente, tais fatores contribuem negativamente para o nível de serviço que a rotatória oferece, especialmente nos momentos de pico.

5.2. Pesquisa de Tráfego

Em atenção ao escopo do trabalho, que busca propor uma interseção alternativa em detrimento da rótula implementada, procedeu-se com a realização de pesquisas de tráfego de natureza volumétricas direcionais classificatórias, para determinar a composição do tráfego.

Dessa forma, baseando-se no Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006), a pesquisa foi executada nos dias 06, 07 e 10 de junho de 2019 em dois períodos do dia pré-determinados, sendo o primeiro das 7:00 h às 10:00 h e o segundo das 16:00 h às 19:00 h. As metodologias aplicadas para a execução foram a manual, com auxílio de contadores e pranchetas e por videoteipe.

A escolha dos movimentos (fluxos) dos veículos priorizou o critério da qualificação daqueles que se apresentam como mais expressivos na composição do tráfego na rótula, todavia, foram pesquisados ainda os fluxos secundários, para configurar com maior acuracidade os fluxos de tráfego que serão apresentados neste trabalho. Tais movimentos são representados graficamente na Figura 30 e descritos no Quadro 1. No tocante às classes de veículos, foram consideradas as seguintes classes: veículos de passeio (carros) - VP, ônibus - O, caminhões - C, carretas (reboques e semirreboques) - RE/SR e motocicletas - M.

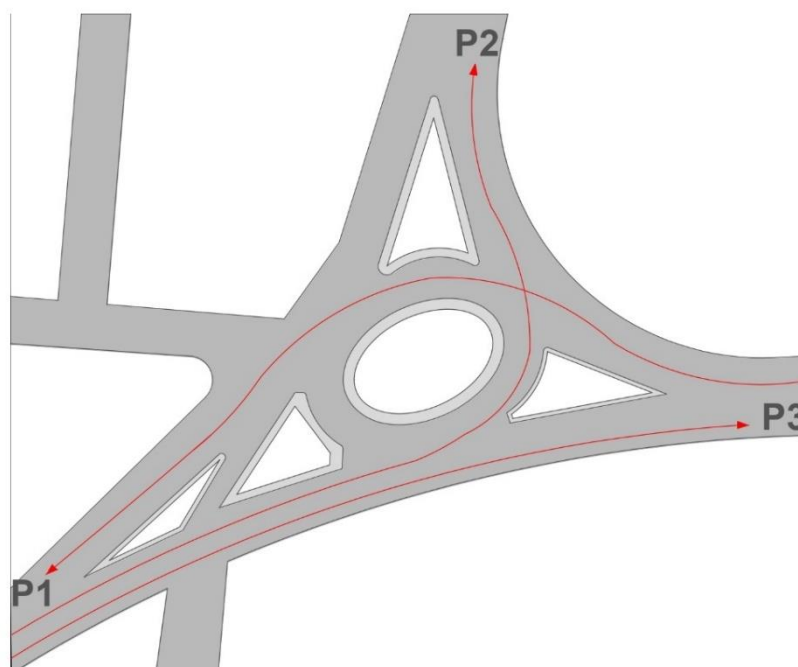


Figura 30. Diagrama de movimentos pesquisados. Fonte: O Autor (2022).

Quadro 1. Descrição dos movimentos pesquisados.

Movimento	Descrição
P1	Rodovia Josmar Chaves Pinto, sentido Município de Santana (direção oeste)
P2	Rodovia Josmar Chaves Pinto com conversão à esquerda para a Rua Hildemar Maia (direção norte)
P3	Rodovia Josmar Chaves Pinto, sentido Orla do Araxá (direção leste)

Fonte: O Autor (2022).

5.3. Determinação do Volume de Tráfego Atual

De posse dos dados obtidos através da pesquisa volumétrica e em consideração aos parâmetros estabelecidos quanto à direção e classificação dos veículos, procede-se com a composição do tráfego, que deve ser expressa em uma única base, para tanto o procedimento aplicado é a multiplicação dos fatores de equivalência do Quadro 2 pelas respectivas classes discriminadas para a pesquisa, conforme descrito por BRASIL (2006).

Quadro 2. Fatores de conversão em unidades de carro de passeio.

Tipo de veículos	VP	CO/O	SR/RE	M	B	SI
Fator de equivalência	1	1,5	2	1	0,5	1,1

Fonte: BRASIL (2006) – Adaptado.



5.3.1. Identificação da Hora de Pico

A hora de pico fornece a representação do maior volume de tráfego que cruza a interseção. O procedimento de cálculo para obter a HP consiste em agrupar os dados de hora a hora, considerando o conjunto de 4 intervalos consecutivos de 15 minutos, seguido da soma dos valores de todos os movimentos dentro de cada intervalo, totalizando uma hora corrida, conforme descrito em BRASIL (2006).

Tabela 1. Intervalos consecutivos para a identificação da Hora de Pico. Fonte: O Autor (2022).

Intervalo (h-h)	
16:00 – 17:00	17:00 – 18:00
16:15 – 17:15	17:15 – 18:15
16:30 – 17:30	17:30 – 18:30
16:45 – 17:45	17:45 – 18:45
	18:00 – 19:00

5.3.1.1. Determinação do Fator Horário de Pico

A determinação do FHP deve levar em conta a não uniformidade do fluxo de tráfego ao longo do tempo, assim, a análise do volume de veículos é feita com base na flutuação que ocorre nas contagens. Segundo a metodologia do BRASIL (2006), compara-se quatro períodos consecutivos de 15 minutos para estabelecer o Fator Horário de Pico (Equação 1), que evidenciará a uniformidade do fluxo e que será utilizado para estudar a capacidade das vias.

$$FHP = \frac{V_{hp}}{4V_{15max}} \quad \text{Equação (1)}$$

onde:

FHP = fator horário de pico

V_{hp} = volume da hora de pico

V_{15max} = volume do período de quinze minutos com o maior fluxo de tráfego dentro da hora de pico

Tais intervalos de 15 minutos são empregados para evitar super ou subdimensionamento. Ademais, a variação do FHP, em teoria, vai de 0,25 (fluxo totalmente concentrado) a 1,00 (fluxo completamente uniforme), o que em nenhum dos casos está próximo da realidade, sendo mais comum se obter FHP na ordem de 0,75 a 0,90 (BRASIL, 2006).

Após reconhecer qual a hora crítica na interseção é possível distinguir cada um dos volumes coletados nos intervalos computados a cada 15 minutos e identificar qual o maior dentre eles.



5.3.2. Os Fluxos do Tráfego

Para elaboração do fluxograma de tráfego na rótula é necessário identificar a hora de pico, dentro da qual estão agrupados os dois intervalos de 15 minutos. Em virtude de a HP representar o momento mais carregado no fluxo da interseção, é dela que se extraem os volumes de tráfego para cada um dos movimentos. Assim, cada um desses volumes é utilizado para compor o fluxograma de tráfego, que evidenciará quais as proporções de cada movimento realizado no interior da rótula, como exemplificado na Figura 31 a seguir.

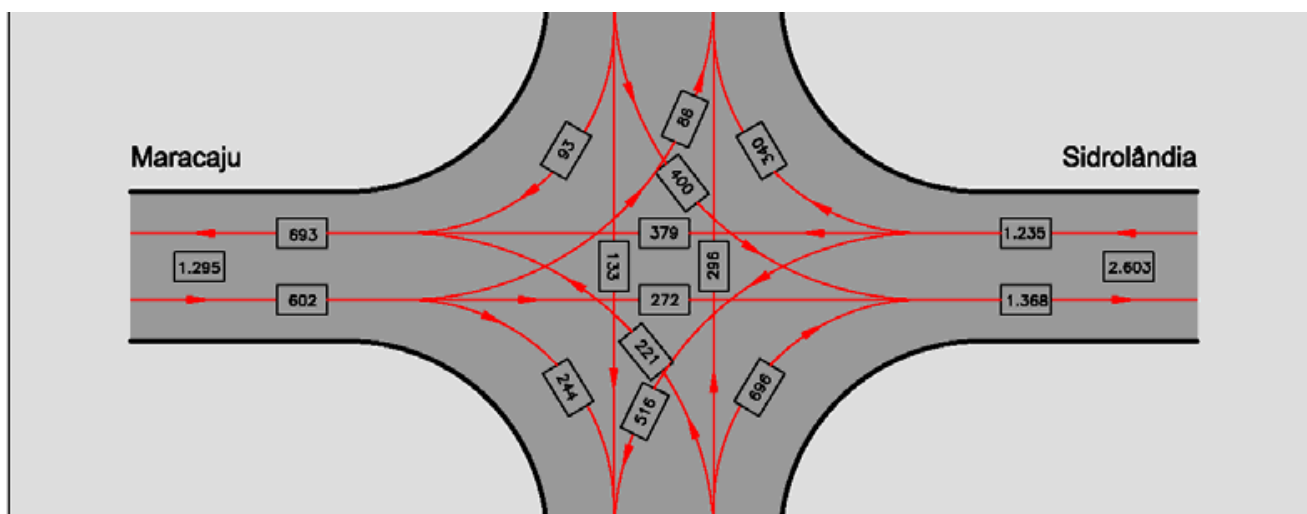


Figura 31. Fluxograma de tráfego. Fonte: BRASIL (2006).

5.3.3. Tráfego Para o Ano de Projeto

Segundo o Manual de Pesquisas de tráfego do DNIT (2006), no dimensionamento de interseções o período adotado para a projeção do tráfego é de 10 anos a partir do ano previsto para a abertura do tráfego.

Para tanto, o BRASIL (2006) elenca três procedimentos: Utilização de curvas representando uma progressão aritmética, uma progressão geométrica ou exponencial e de curvas do tipo logístico. Sendo que em períodos curtos ou de média duração, a que se mostra com maior probabilidade é a variação exponencial.

Para determinar o tráfego para o ano de projeto é necessária a posse dos dados sobre o crescimento da frota veicular da Cidade de Macapá, o que não se encontra disponibilizado nos bancos de dados oficiais. Dessa forma, seguindo a recomendação do BRASIL (2006) para a adoção da taxa de crescimento anual da frota de 3%, procedeu-se com os cálculos para



determinação do tráfego futuro para cada um dos movimentos destacados neste trabalho, aplicando-se a Equação 2, conforme segue.

$$V_n = V_0 (1+a)^n \quad \text{Equação (2)}$$

onde:

V_n = volume de tráfego no ano “n”

V_0 = volume de tráfego no ano base

a = taxa de crescimento anual

n = número de anos decorridos após o ano base

5.4. Planejamento de Interseção Alternativa

Destaca-se, a seguir, alguns dos princípios guiaram o desenvolvimento do conceito da *DDI*, considerando ainda o contexto da interconexão e as interseções adjacentes próximas:

a) acomodar o veículo de projeto no entrecruzamento e na extensão da via invertida; b) promover velocidades de projeto (40-50 km/h) reduzidas e consistentes através da interconexão; c) canalizar os movimentos de entrada e saída de cada um dos entrecruzamentos para encorajar os motoristas a usar as faixas pretendidas; d) criar um padrão de alinhamento de veículos que os direcione para as faixas receptoras apropriadas.

Projetar esse tipo de interconexão exige que sejam tomadas cuidadosas considerações quanto à segurança, operação e performance geométrica, englobando não tão somente o veículo de projeto, mas ainda os modais não motorizados, que deverão ter seus espaços previstos no desenho proposto.

5.4.1. Veículo e Velocidade de Projeto

O veículo de projeto foi o tipo **CO** devido a sua grande representatividade. Assim, as dimensões serão guiadas também pelos requisitos de trajetória de conversão desse veículo e seu gabarito de giro.

Com o fim de promover a segurança viária e a moderação da velocidade a velocidade de projeto adotada será de 30 km/h, fazendo assim da área da *DDI* uma Zona 30 (Z30), que é um tipo de solução versátil e adaptativa para espaços com diferentes dimensões e exigências (art sobre z30).



5.4.2. Curvas das Interseções de Entrecruzamento

O desenho dos entrecruzamentos e da rampa terminal - trecho entre as duas interseções - foram projetados com base em princípios gerais do desenho de vias, porém mantendo-os compactos, enquanto agem para separar os movimentos conflitantes. Ademais, serão utilizadas na interseção curvas horizontais, a fim de que estas iniciem a configuração de entrecruzamento das vias. Portanto, é da disposição das curvas horizontais que surgem os ângulos das interseções que invertem os fluxos de tráfego.

De acordo com o *NCHRP* (2021) aquele raio da curva que se dirige ao entrecruzamento ($R3'$) antes do trecho de via cruzada - a primeira curva que o motorista deve navegar - deve ser no mínimo igual ao raio da curva que sai do entrecruzamento ($R2'$) - as curvas que estão entre as duas interseções. Dessa forma, a curva de fora se torna consistente com os efeitos de transição para dentro da *DDI*, enquanto a curva interna (saindo do entrecruzamento) produz velocidades reduzidas no trecho de vias cruzadas (*NCHRP*, 2021). Ainda mais, o *National Cooperative Highway Research Program* (Programa Nacional de Pesquisas Cooperativas sobre Rodovias) (2021) recomenda que se raios de curva diferentes forem aplicados para armar o entrecruzamento por fora, é preferível que raios menores sejam utilizados interiormente, de forma que produzam velocidades reduzidas, conforme pode ser observado na Figura 32.

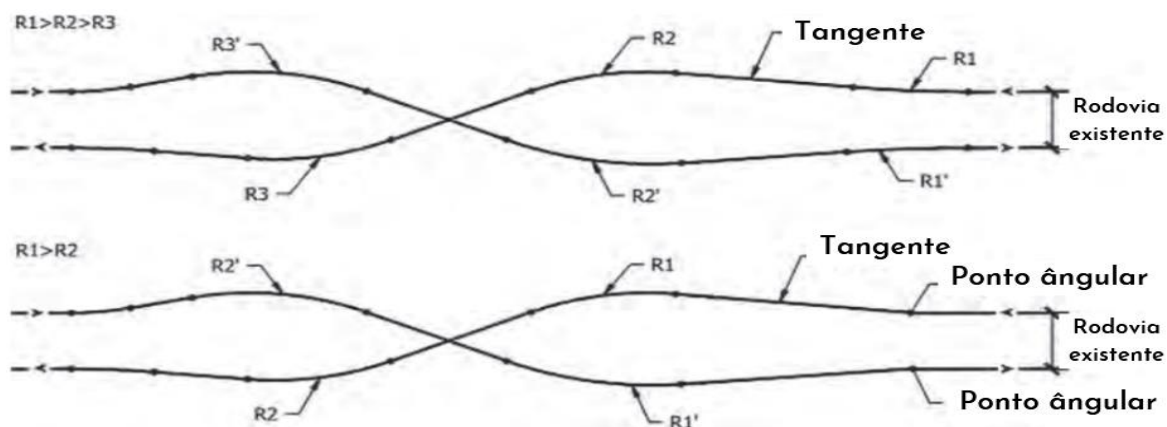


Figura 32. Orientação para concordância dos raios. Fonte: NCHRP (2021) - Traduzido.

As curvas estabelecidas no desenho da interconexão diamante divergente são tipicamente curvas reversas. É através desse tipo de configuração que se pode minimizar o comprimento do trecho no qual as vias estão invertidas, sendo necessário quatro curvas



reversas em cada uma das interseções, bem como é devido fornecer tangentes adequadas entre tais curvas, já que é desse balizamento geométrico que se designa o espaçamento entre os entrecruzamentos (FHWA, 2014).

5.4.3. Comprimentos Tangenciais

Habitualmente, uma tangente com 30,50 metros é satisfatória para a maioria dos desenhos de entrecruzamentos (FHWA, 2014). Todavia, o comprimento total depende de quantas faixas irão se cruzar e do ângulo formado pelas vias em sentidos opostos, ou seja, o comprimento está vinculado às características específicas da locação (FHWA, 2014). Desse total, merecem destaque e dimensionamento específico, o comprimento da tangente logo após a linha de retenção (em média de 4,5 a 7,6 m - aproximadamente o comprimento de um carro) e aquele posterior à margem teórica da rota de tráfego que vem do sentido oposto, compreendendo um tamanho variável entre 3,05 m (FHWA, 2014), como pode ser observado na Figura 33.

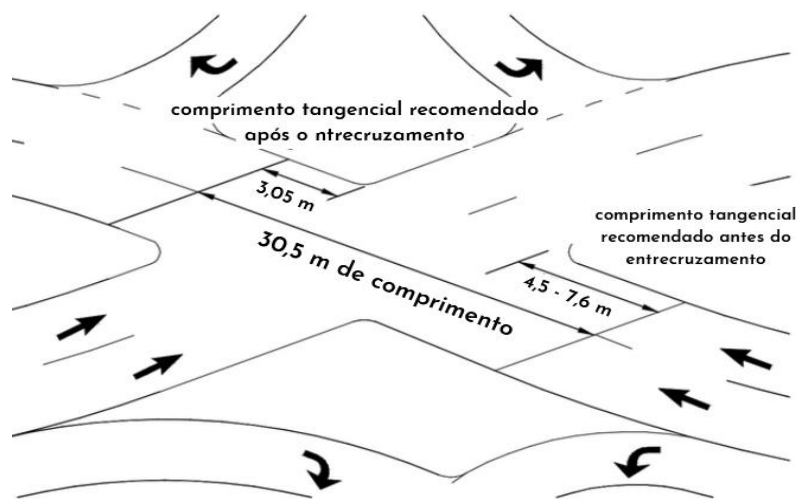


Figura 33. Comprimentos Tangenciais. Fonte: FHWA (2014).

5.4.4. Ângulo de Entrecruzamento

O preconizado pela FHWA (2014) é que os ângulos desses entrecruzamentos sejam na ordem de 45 graus ou mais, para que as interseções operem satisfatoriamente e com segurança. Complementarmente, departamentos de trânsito americanos que já implementaram *DDIs* em suas rodovias recomendam que os ângulos de entrecruzamento variem entre 40 a 50 graus, ou seja, é almejado se encontrar o maior ângulo de entrecruzamento possível, adaptando-o para cada condição única de lotação do projeto.



5.4.5. Alinhamento e Distância de Visibilidade

De acordo com o *NCHRP* (2021), para suportar devidamente a operação, o alinhamento horizontal de uma *DDI* deve seguir os princípios básicos no desenho geométrico.

Dentre os quais destacam-se:

- a) Raio da curva horizontal: Deve ser ajustado para que as velocidades estejam dentro do almejado. O que implica considerar que as velocidades desenvolvidas no trecho invertido tendem a ser maiores que aquelas nos entrecruzamento, não sendo necessário que ambas sejam iguais;
- b) Tangentes entre curvas reversas: Usadas entre as curvas reversas, as tangentes propiciam aos condutores melhor percepção do alinhamento de sua rota e os guiam de um elemento geométrico para o próximo;
- c) Tangentes na aproximação e através da *DDI*: Atuam, na geometria da via, como precedentes no direcionamento dos motoristas para as faixas que os receberão.

O guia informacional da *FHWA* (2014) apresenta três possibilidades de alinhamento, gerando uma seção de via mínima para o trecho invertido, divididos em dois métodos de alinhamento, conforme identificado na Figura 34. Para tanto, essas alternativas utilizam quatro curvas reversas em cada uma das interseções. Ademais, reduzir a largura média no perímetro de contrafluxo implica na redução da seção desses trechos de via.

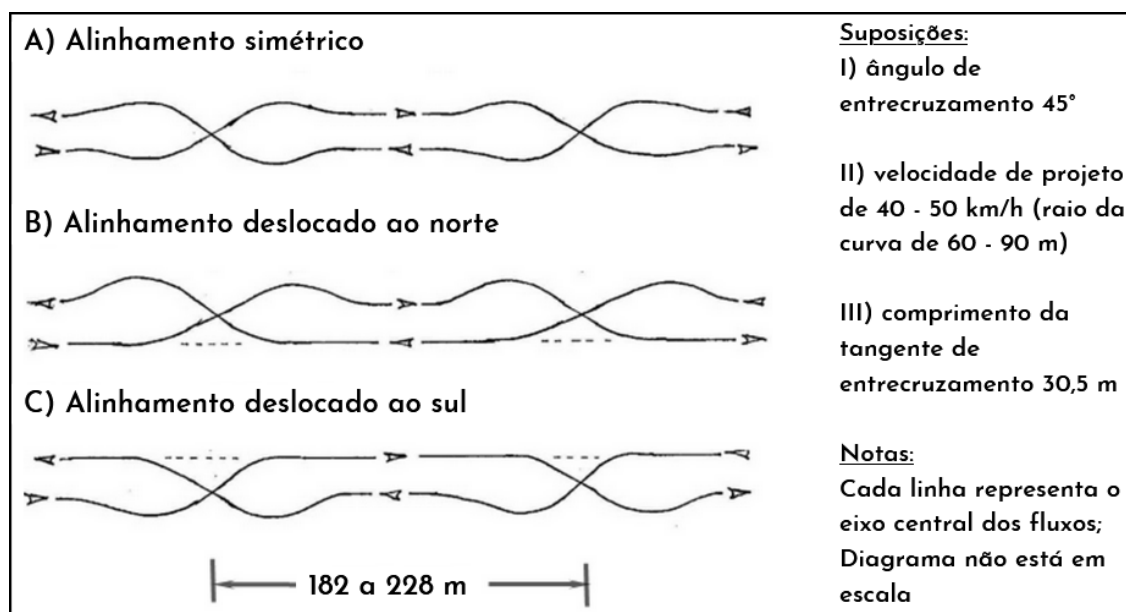


Figura 34. Alternativas de Alinhamento. Fonte: FHWA (2014) - Traduzido.



O alinhamento (A) - alinhamento simétrico - é idealizado para que as faixas atinjam 45 graus nos entrecruzamentos e sejam alinhadas de forma a criar uma seção mínima nas vias invertidas (FHWA, 2014). As combinações de curvatura são ordenadas para estreitar a seção do trecho de contrafluxo entre as interseções.

Os alinhamentos (B) e (C) - alinhamentos deslocados - visam propiciar o ângulo de 45 graus nos entrecruzamentos através de um deslocamento assimétrico de uma das vias do trecho de contrafluxo (FHWA, 2014). O deslocamento de uma das vias para um lado é feito em relação à linha transversal central. Geralmente utilizados para adaptação às restrições do local.

Para minimizar a distância entre as interseções com entrecruzamentos - vias de contrafluxo - existem cinco alternativas de alinhamento (Figura 35), que resultam em apenas duas curvas reversas em cada uma das direções de entrecruzamento, promovendo um espaçamento entre as interseções de cerca de 122 a 152 m (FHWA, 2014). Ao reduzir a quantidade de curvas reversas se reduz os problemas com padrões de alinhamento e a carga de trabalho dos condutores (FHWA, 2014). Cada uma das alternativas é a seguir descrita:

- 1) Alinhamento Simétrico (A): Ambas as vias do contrafluxo são alinhadas simetricamente com a linha central longitudinal para atingir ângulos de cruzamento de 45 graus.
- 2) Alinhamentos de Descolamento (B/C): Uma das vias se mantém no alinhamento da linha central, enquanto a segunda é realinhada para um lado da linha central, a fim de atingir 45 graus de ângulo de cruzamento.
- 3) Alinhamentos Deslocados (D/E): Ambas as vias de contrafluxo são deslocadas para um dos lados da linha central para alcançar os 45 graus.

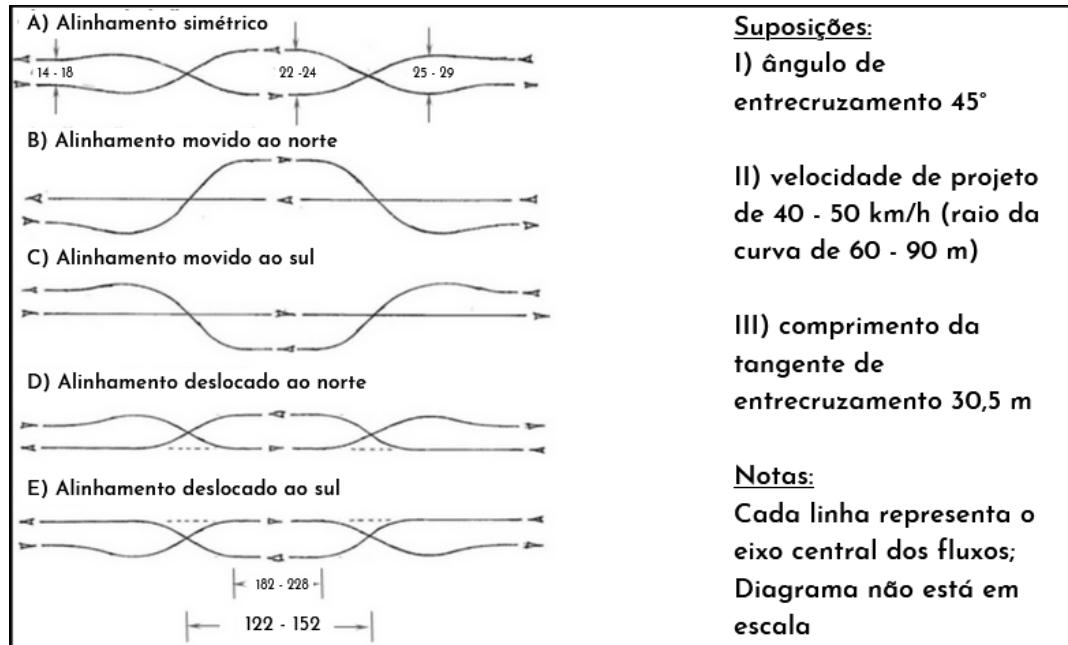


Figura 35. Alternativa de alinhamento para reduzir a distância entre as interseções. Fonte: FHWA (2014) - Traduzido.

O comprimento tangencial entre as curvas reversas dos entrecruzamentos deve favorecer um alinhamento direto. O raio de curva no meio dos movimentos de entrecruzamento aplica o ponto de curvatura ou a tangente na interseção onde os condutores não costumam realizar conversões (FHWA, 2014). Caso ocorra a falta da disposição de tangentes entres as curvas, ou padrões de alinhamento indiretos, os veículos podem ser levados a sobrepor suas trajetórias, ou ainda se dirigirem para o tráfego no sentido oposto (FHWA, 2014).

Dessa forma, as tangentes devem atuar como geradoras de padrão de alinhamento, direcionando os motoristas, após a linha de retenção (LRE) na aproximação do cruzamento, para a devida faixa receptora que sai do entrecruzamento (NCHRP, 2021). É, portanto, da disposição de tangentes que são criadas características rodoviárias auto descritivas para os motoristas, ao invés de depender apenas nas marcações do pavimento (NCHRP, 2014), conforme pode ser observado na Figura 36.

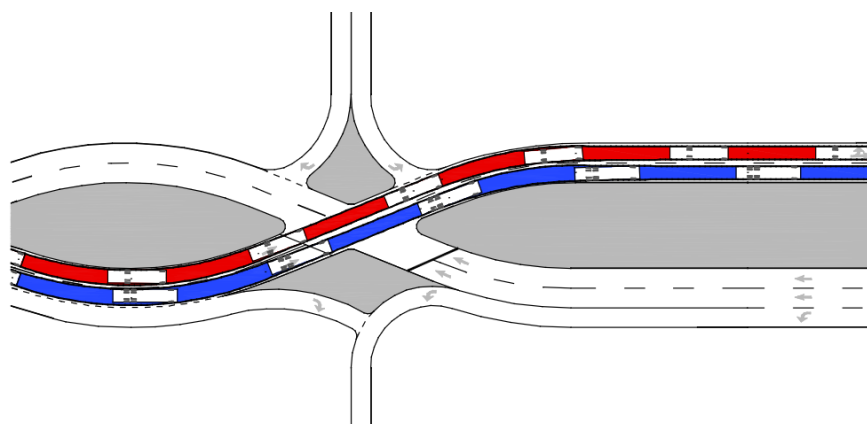


Figura 36. Padrão de Trajetória dos Veículos. Fonte: FHWA (2014).

Pelo descrito no guia informacional do *NCHRP* (2021) os elementos do trecho de contrafluxo são os mesmos de outros tipos de interconexões, todavia, algumas características divergem devido às particularidades de uma *DDI*, conforme segue:

- a) Largura mediana - A largura total das faixas de contrafluxo e a seção mediana desse trecho têm grande influência nas configurações da *DDI*, uma vez que quanto mais estreito o canteiro central dessas vias, mais extenso é o alinhamento horizontal que vai e que sai dos entrecruzamentos se torna.
- b) Desenho do entrecruzamento - Devido a ele os motoristas conduzem os veículos em um alinhamento curvilíneo, ou seja, o alinhamento se dá em uma via de conversão e um alargamento de faixas será necessário após as curvas reversas da seção do entrecruzamento para manter o veículo disciplinado na faixa.
- c) Ciclofaixas - As relativamente pequenas curvas horizontais acentuam a probabilidade de invasão dos veículos nas ciclofaixas, necessitando, algumas vezes, de largura extra para criar espaço amplo para os ciclistas.
- d) Tratamentos nas travessias de pedestres - botões de acionamento, avisos tácticos e canalização da travessia ajudam a guiar os pedestres para as calçadas adequadas.

É na transição dos entrecruzamentos que a largura das faixas se torna mais sensível, sendo recomendável que a largura não varie desnecessariamente, e que a dimensão estabelecida se mantenha consistentemente alinhada no trecho de contrafluxo (art. 17; pág. 175). Dessa forma, as larguras das faixas na aproximação do entrecruzamento e sua saída devem estar compatibilizadas.



5.5. Metodologia de Construção do Modelo Geométrico

Para a elaboração do desenho geométrico da proposta de interseção alternativa foi utilizado o *software Infracworks 2022 da Autodesk*®, por se tratar de uma interessante ferramenta de concepção de projetos de engenharia urbana. O programa trabalha com a construção de modelos de planejamento e análise dentro da plataforma *Building Information Modelin* - BIM, configurando-se assim como alternativa muito interessante para elaboração de propostas em infraestrutura urbana. Por ser construído dentro do padrão BIM, o *software* é capaz de se comunicar com diversos outros programas, além de permitir o amplo compartilhamento de dados “via nuvem”, facilitando o trabalho colaborativo em tempo real.

Dessa forma, pôr o escopo deste trabalho ser a proposição de uma concepção de interseção alternativa, o *Infracworks*® se mostrou como a opção mais viável para a elaboração do desenho geométrico da proposta. Todavia, cabe destacar que o programa não fornece um resultado final detalhado, como se exige de um projeto executivo, porém o objetivo deste trabalho não é conceber um projeto executivo completo, sim estudar a viabilidade da implantação de uma interseção alternativa para atenuar a defasagem operacional da rotatória entre a Rodovia Josmar Chaves Pinto e Rua Hildemar Maia.

Diante da contextualização da escolha do programa, os próximos passos serão focados em descrever como foi elaborado o desenho geométrico da interseção alternativa. Todavia, é necessário salientar que esta proposta se baseia em um tipo alternativo de interconexão, a *DDI*, que é concebida para ligações viárias em níveis diferentes, porém, na proposta aqui apresentada foi elaborada uma ligação viária em mesmo nível, portanto se trata de uma interseção em nível. Isto posto, os parâmetros que guiaram a elaboração da geometria foram todos retirados nos guias e manuais americanos que discutem as Interconexões Diamantes Divergentes, e tais parâmetros foram seguidos tanto quanto possível, desde que considerando o contexto adaptativo da proposta de interseção alternativa deste trabalho.

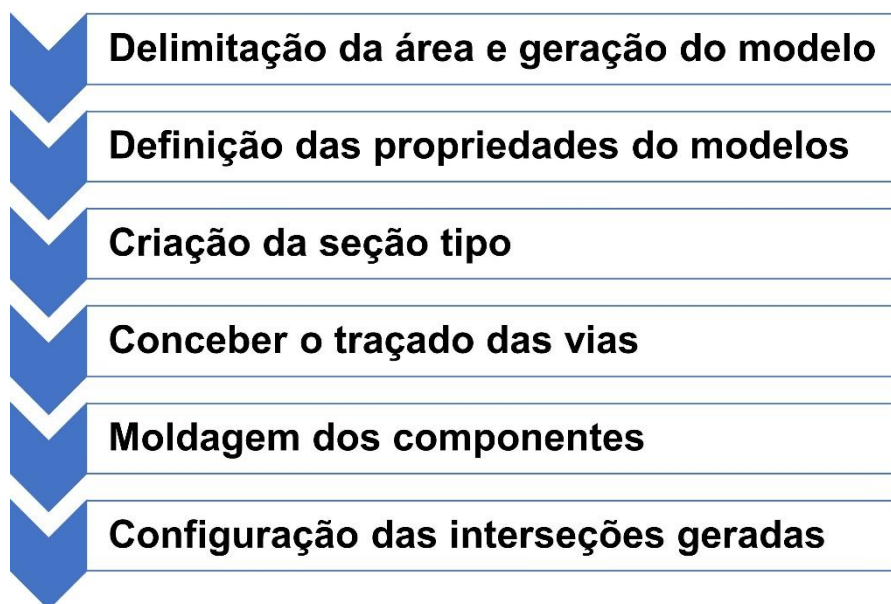


Figura 37. Fluxograma da criação do modelo geométrico no *infraworks*. Fonte: O Autor (2022).

5.6. Metodologia de Programação Semafórica

A elaboração da programação semafórica se baseou no Manual de Sinalização Semafórica (CONTRAN, 2014) e nos conceitos apresentados no item 4.6.2 desta pesquisa. Dessa forma, atendendo as recomendações elencadas para operação semafórica de DDIs, o tipo de controle adotado para a programação semafórica neste trabalho foi o de tempo fixo e a estratégia de controle foi a em rede, já é necessário estabelecer coordenação semafóricas entre os dois sinais das interseções de entrecruzamento.

5.7. Avaliação por Microsimulação

Segundo Park (2017) a microsimulação se apresenta como a ferramenta de estudo mais utilizada em estudos sobre a operação de *DDIs*, uma vez que essa metodologia fornece aos engenheiros a capacidade de analisar a performance operacional considerando diferentes cenários de tráfego, como volumes, movimentos e direitos de passagem diferentes, além de ser aplicável em vários tipos de geometrias alternativas. Em decorrência dessas vantagens, os *softwares* de microsimulação se consagraram como ferramenta essencial em análises operacionais de tráfego.

Para proceder com a avaliação da operacionalização da interseção alternativa proposta neste trabalho, foi criado um modelo de microsimulação no *software Infraworks da Autodesk*® através do seu Painel de Analista de Tráfego – PAT, uma sub-ferramenta do programa.



Ademais, a justificativa para microsimular a alternativa proposta reside na capacidade de se testar o tráfego que circulará pela geometria conceitualizada, gerando animações gráficas que são utilizadas para entender a operação e que eventuais benefícios a IDD pode oferecer.

Foram simulados três cenários, a partir de dois modelos. O primeiro modelo é o da interseção alternativa, nele se procedeu com a simulação dos Cenários 1 e 2. O segundo modelo é o da rotatória existente, que liga a Rodovia Josmar Chaves Pinto à Rua Hildemar Maia, para ele foi criada a simulação do Cenário 3. Todos os cenários são descritos abaixo:

- Cenário 1: Volumes dos movimentos configurados para o ano de abertura da interseção, a dizer 2022;
- Cenário 2: Volumes dos movimentos configurados para o ano de projetos, que corresponde a 2032;
- Cenário 3: Volumes dos movimentos configurados para o ano de 2022, mas dispostos através da geometria da rotatória. Idealizado para averiguar como opera atualmente e como se comportam suas medidas de desempenho.

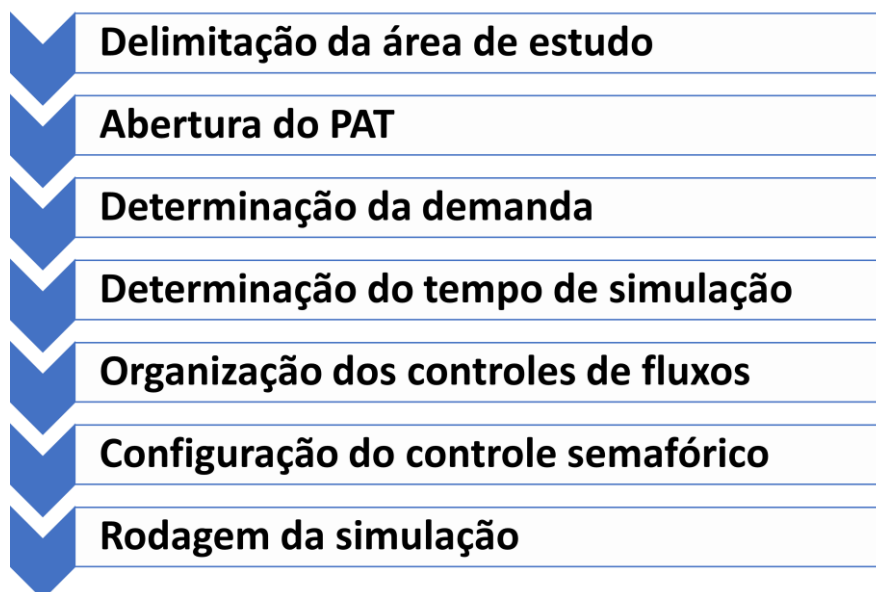


Figura 38. Fluxograma da calibração da simulação do modelo. Fonte: O Autor (2022)..

5.8. Parâmetros de Validação

O processo de validação dos modelos simulados foi feito com base na determinação de medidas de desempenho, que foram posteriormente comparadas entre o modelo da IDD e o modelo da rotatória implementada. O Guia Informacional de Interconexões Diamantes Divergente da *FHWA* (2014) elenca como parâmetros chave de validação de *DDIs*:



- Tempo de viagem: Definido como o tempo de viagem nos segmentos entres os dois semáforos e nos das saídas das rampas de conversão à esquerda.
- Comprimento médio de filas: Comprimento máximo de filas baseado em cada um dos ciclos.

O Manual de Sinalização Semafórica (CONTRAN, 2014) também indica medidas de desempenho para a avaliação de interseções, dentre elas está o “atraso”, que mede a espera causada aos veículos pela sinalização, e representa a diferença entre os tempos gastos por um veículo para percorrer um trecho sob controle de semáforo e o tempo que levaria para percorrer um trecho em fluxo ininterrupto.

Dessa forma, considerando os parâmetros de validação recomendados nos manuais, foram considerados para a validação dos modelos simulados neste trabalho os seguintes parâmetros: Tempo de viagem, comprimento médio de filas e os atrasos.



6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a devida elaboração da concepção de interseção alternativa em substituição à rotatória entre a Rodovia Josmar Chaves Pinto e Rua Hildemar Maia, considerou-se os procedimentos elencados a seguir.

6.1. Composição do Tráfego

Através da pesquisa de tráfego se obteve um montante de 66.210 veículos computados em 3 dias de pesquisa, com dois turnos diários de 3 horas cada. Esses dados podem ser vislumbrados na Tabela 2, a qual condensa os volumes para cada dia, considerando os movimentos e as classes de veículos pré-determinadas.

Tabela 2. Consolidação dos Dados da Pesquisa. Fonte: O Autor (2022)

Dia	Classe	Movimento			Total
		P1	P2	P3	
1	VP	4458	3763	5280	15799
	O	204	69	198	508
	C	191	140	162	554
	SR/RE	12	6	8	26
	M	1404	1321	1427	5199
	Total	6269	5299	7075	24382
2	VP	4578	2121	5169	14111
	O	219	66	182	503
	C	168	167	155	568
	SR/RE	13	6	3	22
	M	13	1245	1441	5252
	Total	6472	3605	6950	20456
3	VP	4752	3742	5289	16304
	O	192	76	164	471
	C	131	108	152	451
	SR/RE	12	4	5	21
	M	153	1312	1454	4155
	Total	5240	5242	7074	21372

Por conseguinte, foi possível calcular a média diária de veículos que trafegaram pela interseção no período de coleta de dados. Tal média pode ser considerada como análoga ao VMD, uma vez que determina os valores médios da contagem para todos os movimentos e todas as classes de veículos nos três dias de pesquisa. Cabe ressaltar que para se obter o VMD é necessário proceder com a expansão da média para as 24 horas do dia, o que não foi possível realizar devido a limitação de dados disponíveis.



Diante dessa limitação, aplicou-se apenas a média aritmética aos valores obtidos na Tabela 2, considerando a conversão de dados em UCP. Na Tabela 3 são expressos os valores médios para cada movimento pesquisado.

Tabela 3. Média do volume para o ano de abertura. Fonte: O Autor (2022).

Movimento			
P1	P2	P3	Total
5994	4715	7033	

Outra variável analisada se atém à determinação da hora de pico, que considera o maior volume identificado dentre os dias pesquisados. Dessa forma, identificou-se que a HP está lotada no intervalo de 17h15min às 18h15min do dia 10 de junho, conforme consta na Tabela 4.

Tabela 4. Fluxo Horário na Rótula. Fonte: O Autor (2022).

INTERVALO (H-H)	T. GERAL	
16:00 - 17:00	3578	
16:15 - 17:15	3736	
16:30 - 17:30	3927	
16:45 - 17:45	4134	
17:00 - 18:00	4215	MAX = 4250
17:15 - 18:15	4250	UCP/h
17:30 - 18:30	4161	
17:45 - 18:45	4099	
18:00 - 19:00	4049	

Por não haver contagens horárias contínuas que abranjam um ano inteiro, o volume horário de projeto determinado para este trabalho coincide com a hora de pico, uma vez que é neste momento que se denota o maior volume de tráfego nos dias pesquisados. Dessa forma, o valor correspondente para o VHP é de 4250 UCP/h.

Determinado o VHP, construiu-se o fluxograma de tráfego, evidenciando os volumes de cada movimento na hora mais carregada, conforme disposto na Figura 39. Esses volumes são utilizados como dado de entrada para estabelecer as demandas nas simulações de tráfego.

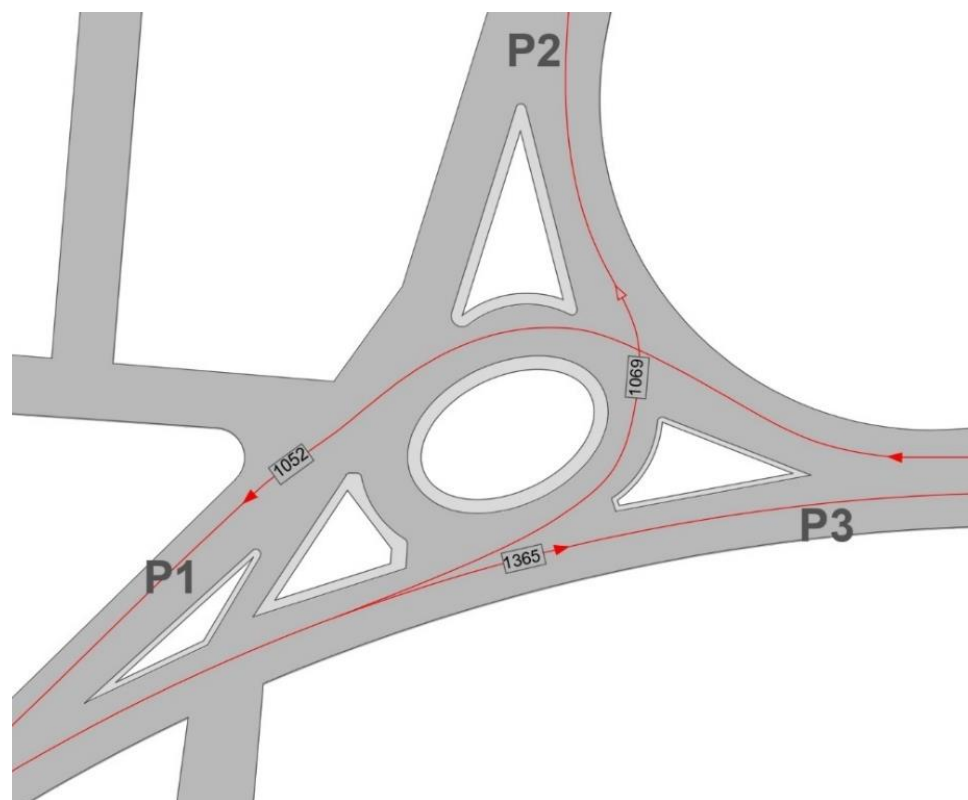


Figura 39. Fluxograma de tráfego para o ano de abertura. Fonte: O Autor (2022).

Conhecida a HP, procedeu-se com o cálculo do Fator Horário de Pico, que considera o maior volume dentro dos intervalos de 15 minutos da hora de pico. Na Tabela 5 pode ser observados os volumes desses intervalos.

Tabela 5. Volumes dos intervalos da hora de pico. Fonte: O Autor (2022).

INTERVALO (H-H)	T. GERAL
17:15 - 17:30	1085
17:30 - 17:45	1086
17:45 - 18:00	1033
18:00 - 18:15	1046

Assim, considerando que o maior volume é de 1086 UCP, no intervalo de 17:30 a 17:45, o FHP é 0,97. Esse valor revela que o fluxo de veículos na rotatória existente está próximo ao do fluxo completamente uniforme, que seria de 1,0.

Por fim, foi indicado qual o volume de tráfego para o ano de projeto através da expansão volumétrica exponencial, calculada pela Equação 02, do item 5.3.3. Os dados



calculados foram condensados na Tabela 6 para elencar os volumes de tráfego para o ano de projeto, considerando os movimentos realizados na interseção.

Tabela 6. Média de volume para o ano de projeto. Fonte: O Autor (2022)

Movimento			
P1	P2	P3	Total
8055	6337	452	

Analogamente, a equação pode ser aplicada para determinar os volumes de cada movimento na HP, que foi utilizado para compor o fluxograma do ano de projeto, exibido abaixo.

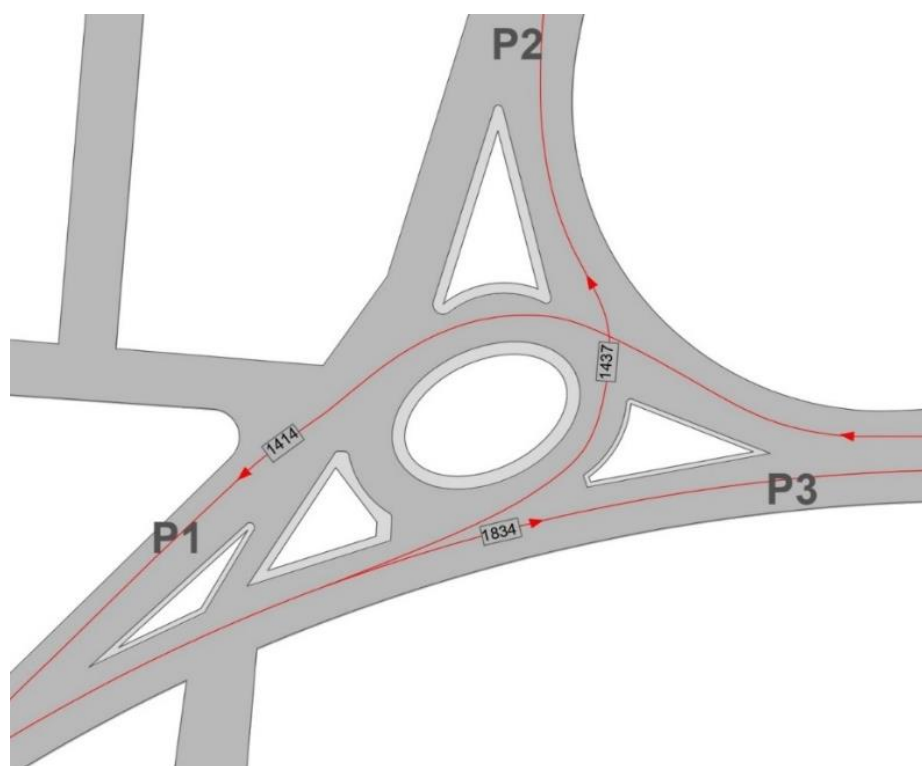


Figura 40. Fluxograma de tráfego para o ano de projeto. Fonte: O Autor (2022).

6.2. Desenho Geométrico Proposto

A proposta de desenho se baseou no desenho de uma Interconexão Diamante Divergente, que é uma ligação viária em dois níveis. Todavia, o desenho aqui proposto trata de uma ligação viária que se pretende realizar em nível, aproveitando ao máximo possível o traçado existente, bem como o espaço disponível.

Sendo assim, a montagem da proposta do desenho geométrico da interseção alternativa seguiu as seguintes etapas:



6.2.1. Processo de Elaboração da Geometria

I. Delimitação da área e geração do modelo

Inicialmente é necessário delimitar qual será a área modelada considerando quais as vias são as de interesse para traçar a geometria proposta, o que no caso envolve a Rod. JCP e a Rua HM. Logo, sabendo as vias de interesse foi aberta a janela “gerador de modelo” que mostra a visão da superfície com base em um mapa georreferenciado (LL84), com coordenadas geográficas acuradas. Na janela, foi criado um polígono retangular que circunscreveu todas as vias de interesse para a elaboração do desenho geométrico, gerando assim o modelo a ser utilizado posteriormente.

II. Definição das propriedades do modelos

Criado e aberto o modelo foram estabelecidas as propriedades do modelo, na aba “gerenciar”. Abrindo o quadro de propriedades foi alterado o padrão de projeto de estradas, do padrão “ASSTHO” (padrão americano) para o padrão “BRA-BRASIL”, que emprega as normas brasileiras. Após foi inserido o conteúdo auxiliar da norma brasileira, o “*Brazil Country kit*”, que anteriormente necessitou ser baixado na *internet*, anexado ao programa e depois selecionado como habilitado.

III. Criação da seção tipo

Estabelecidos os parâmetros normativos, procedeu-se com a criação de uma seção tipo que baseará o traçado das vias. Para tanto, foi aberto na aba “gerenciar” o quadro de “paleta de estilos”, que permite selecionar um tipo de estrada (como o *software* chama as vias) e alterar suas configurações. Assim, o tipo escolhido foi uma via simples com duplo sentido, com calçada e ciclovia. Após a escolha foram feitas as alterações na seção, incluindo uma faixa adicional para cada sentido de circulação, bem como a determinação das larguras de cada superfície da via. As larguras foram:

- Faixa de rolamento - 3 m (mínimo da norma do BRASIL);
- Meio-fio - 0,15 m;
- Calçadas - 1,20 m (mínimo para calçadas);
- Ciclovia com dois sentidos - 2 m, sendo 1 m para cada sentido (mínimo para ciclovias).

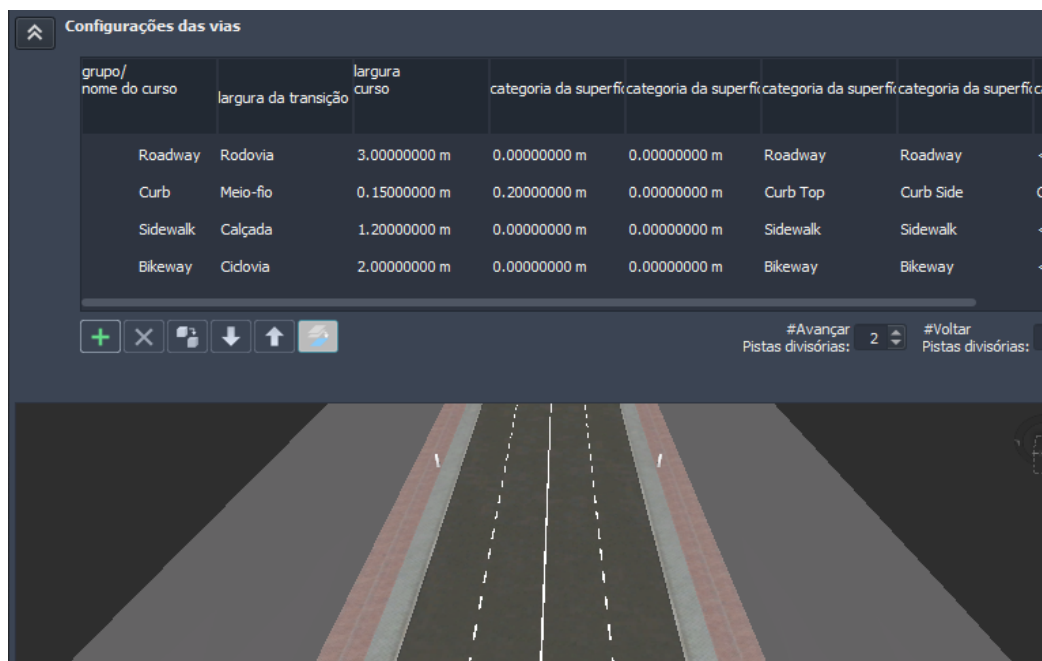


Figura 41. Configuração do tipo de estrada. Fonte: captura de tela do InRoads.

IV. Conceber o traçado das vias

O traçado das vias foi idealizado dentro do quadro de “planejamento de estradas” acessado na aba “criar”. Nessa funcionalidade do programa é possível elaborar o traçado preliminar, conforme a idealização de malha viária que se pretende criar, sendo que o próprio *software* entende quando criar interseções quando uma ou mais vias se interceptam.

Utilizando a seção tipo concebida na etapa anterior foram executados os traçados, inicialmente com os sentidos do eixo longitudinal da Rod. JCP, o primeiro de oeste-leste e o segundo de leste-oeste e posteriormente o da conversão à esquerda, onde se inicia a Rua HM.

Como as seções foram criadas para disponibilizar duas faixas de rolamento para cada sentido, foi necessário eliminar as faixas no sentido oposto para cada um dos traçados, no campo “pista de fluxo contrário”, zerando a pista contrária (Figura 42).

Foi determinado ainda como atributo da estrada, a velocidade de 30 km/h, conforme descrito anteriormente.

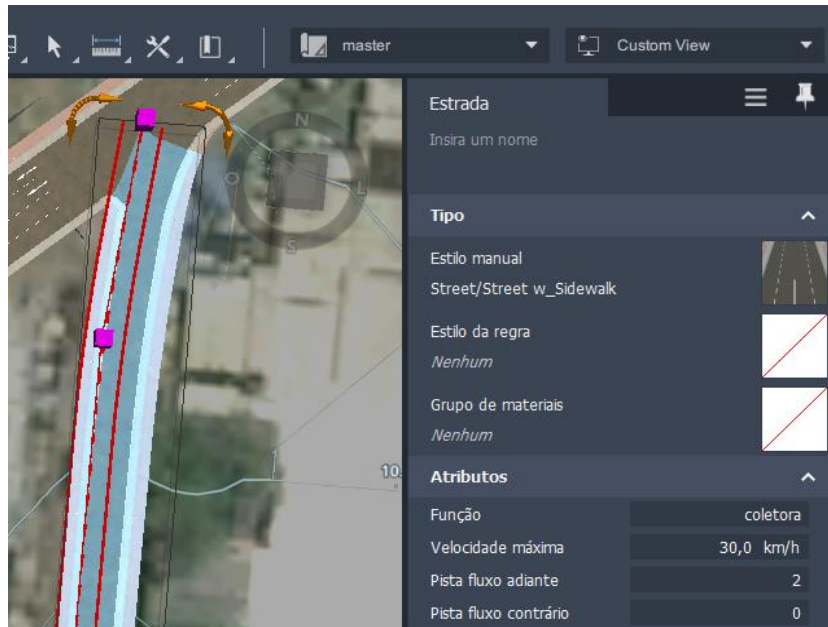


Figura 42. Atributos da estrada. Fonte: captura de tela do *InRoads*.

V.Moldagem dos componentes

Nesta etapa o procedimento aplicado foi a conversão dos “planejamentos de estrada” em “componentes de estrada”. Para tanto é necessário ir na aba “criar” e em seguida selecionar os planejamentos a serem convertidos. É através do “componente de estrada” que se pode configurar os comprimentos tangenciais e os raios das curvas horizontais.

Logo, após a conversão, foram ajustados os alinhamentos para as tangentes (em azul) e curvas (em verde). Este procedimento foi realizado por tentativa e erro, buscando encaixar o traçado ideal para a Interseção Alternativa com a locação disponível e com os raios mínimos das normas de projeto do BRASIL. Assim, em cada interseção de entrecruzamento foram geradas 2 tangentes e 4 curvas, com variações entre simples e de transição.

Os alinhamentos seguiram o padrão assimétrico com deslocamento para o norte, visando adaptar a geometria às restrições de espaço no local.

No caso de todos os raios, que possuem dimensões diferentes, buscou-se sempre que possível os posicionar de forma que os raios internos fossem menores que os raios externos, conforme a recomendação do *NCHRP*.

Por serem os raios os responsáveis por armar os entrecruzamentos das interseções, tomou-se ainda a preocupação quanto ao ângulo que nas tangentes. O cuidado foi tomado para que o cruzamento dessas tangentes criassem ângulos o mais próximos de 45°, que é a angulação mais recomendada pelos manuais de projetos de *DDI*.

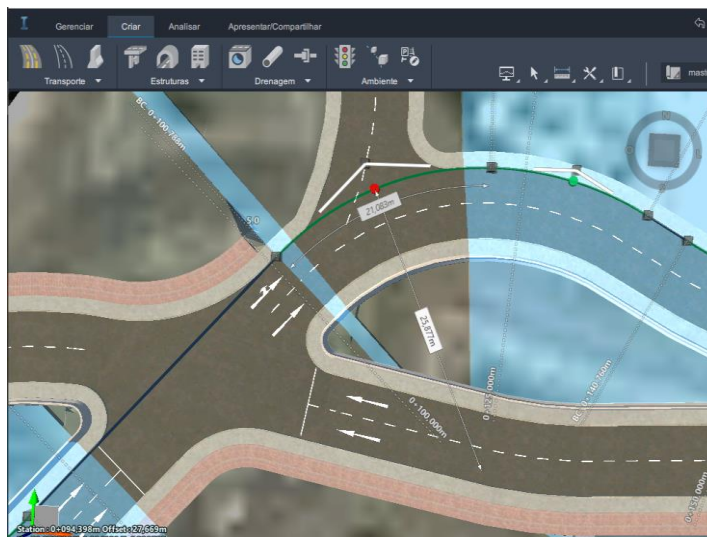


Figura 43. Moldagem dos raios e tangentes das interseções de entrecruzamento. Fonte: captura de tela do *InRoads*.

Em seguida foram posicionadas as barreiras físicas do tipo *Jersey*, que é um dos modelos dispostos pelo programa. Tais barreiras foram posicionadas nas bordas interiores das pistas, pois é através delas que os condutores são auxiliados para se guiarem no uso adequado das faixas que se entrecruzam nas interseções, como ilustrado na Figura 44.

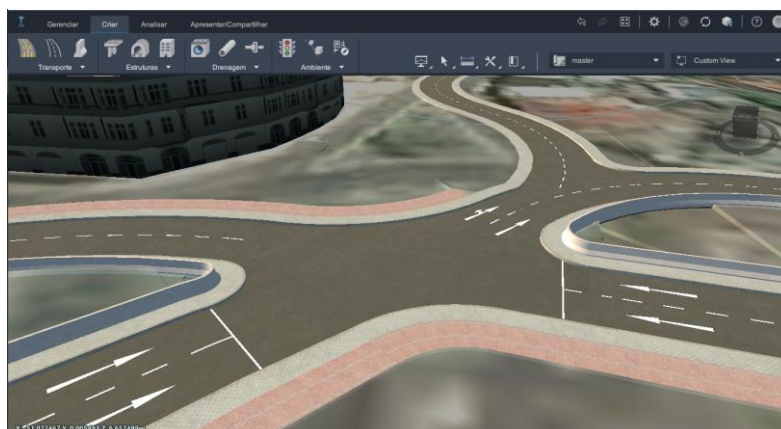


Figura 44. Alocação das barreiras físicas Jersey no interior das interseções. Fonte: captura de tela do *InRoads*.

Avançando na elaboração do modelo geométrico, foram retificados os desenhos das cicloviás, que por definição da seção tipo, estavam de ambos os lados das pistas. Assim, foi determinado que avançariam pelo borda norte até as entradas das interseções e a partir dali seriam migradas para a borda sul, onde teriam mais espaço para sua alocação, conforme mostra a Figura 45.



VI. Configuração das interseções geradas

Por fim foram determinadas nas interseções como os fluxos seriam orientados ao transpassar por elas. Para tanto, seleciona-se a interseção que abre um quadro de definição de atributos. Esses atributos são os direcionamentos dos fluxos e cada faixa é configurada individualmente. Assim, os direcionamentos foram concebidos em atenção aos princípios operacionais de *DDIs*, que implica em entrecruzar os fluxos. Portanto, nas aproximações de entrada os fluxos foram direcionados para inverter sua trajetória para o lado oposto da via, enquanto nas aproximações de saída os fluxos são direcionados para retornar ao lado convencional de circulação, como se observa abaixo.

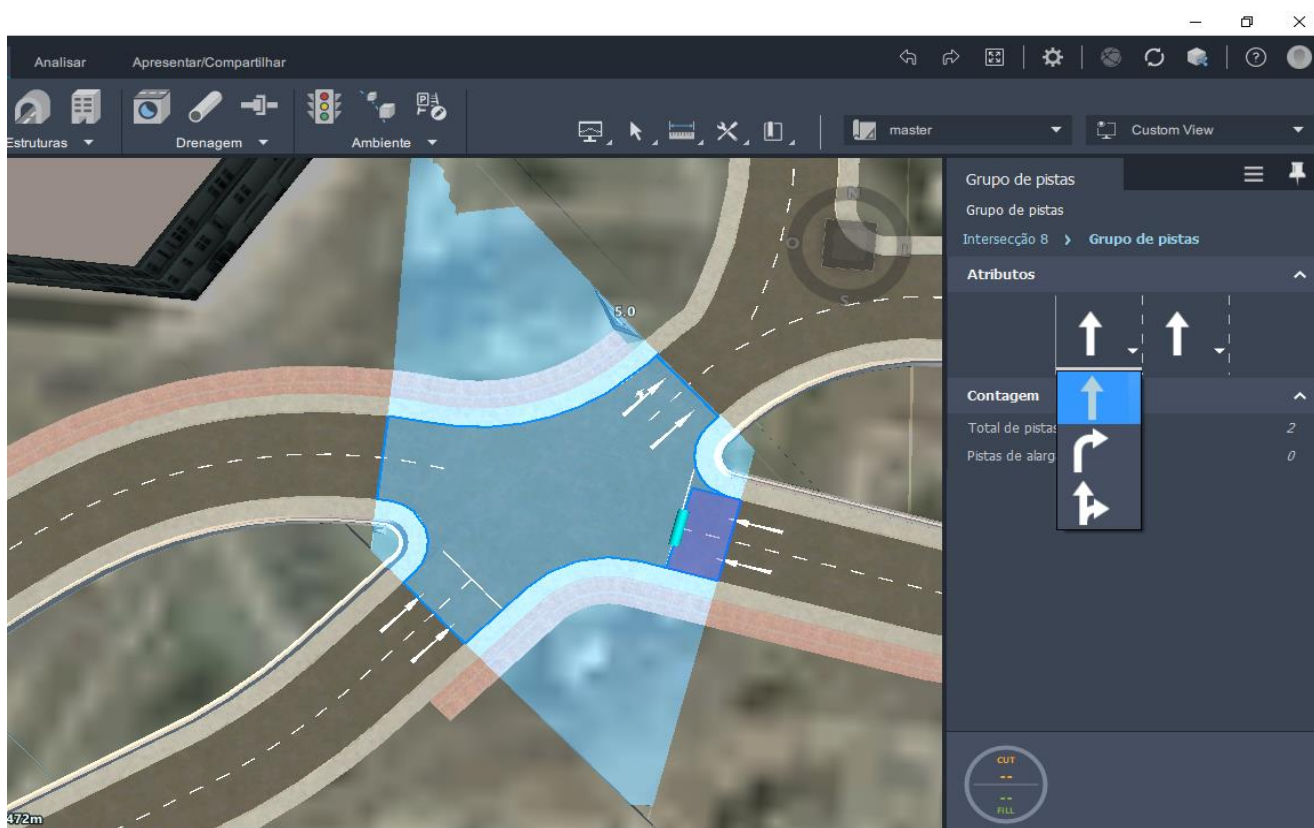


Figura 45. Atribuição dos fluxos nas interseções de entrecruzamento. Fonte: captura de tela do *Infracad*.



6.2.2. Concepção Geométrica Final

A concepção final elaborada no *Infraworks*® pode ser vislumbrada na Figura 46, a qual recebe a nomenclatura de Interseção Diamante Divergente – IDD, pois se baseia no desenho geométrico de uma *DDI*. Nela existem duas interseções de entrecruzamento, e uma via de conversão à esquerda, análoga às rampas de saída existentes na interconexão. Por ter duas interseções, a situada no lado oeste foi denominada Interseção Montante, e a do lado leste de Interseção Jusante.

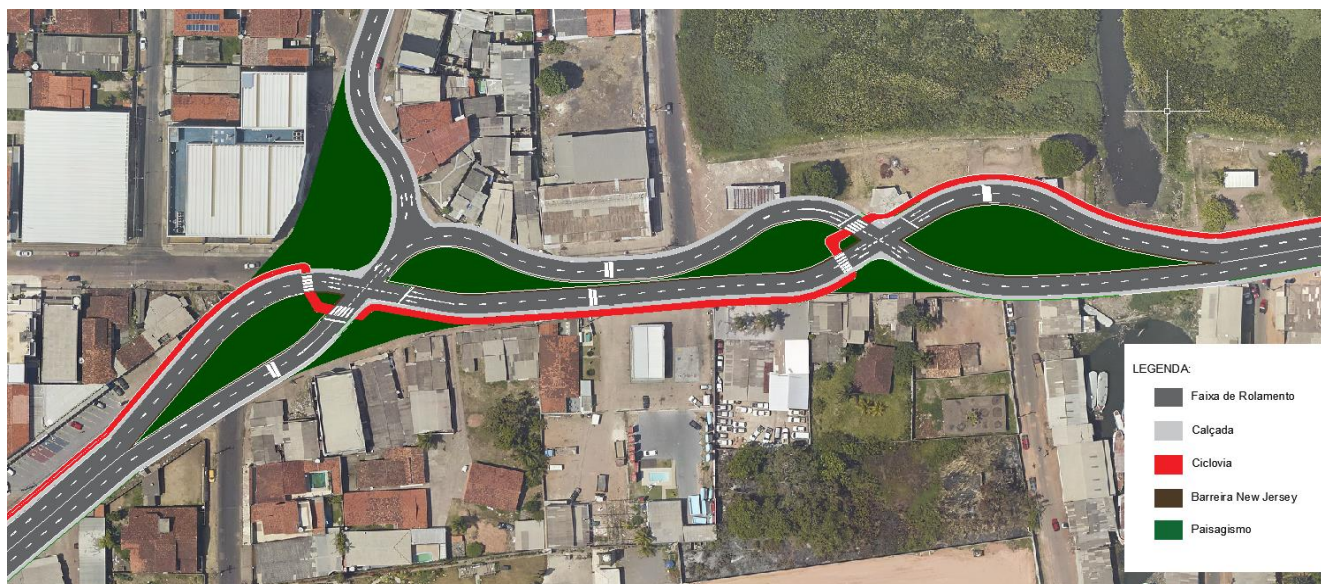


Figura 46. Layout final proposto para a IDD. Fonte: O Autor (2022).

O comprimento total da IDD foi medido através de seu início e término que se dá nas ilhas de canalização à montante e à jusante, estando vinculado ao eixo longitudinal da Rodovia. Essas ilhas canalizam as correntes de tráfego da Rodovia Josmar Chaves Pinto, e auxiliam os condutores no correto uso das faixas, os direcionando para as aproximações onde os movimentos de entrecruzamento serão realizados. Portanto, o comprimento total medido corresponde a aproximadamente 360 metros.

Como resultado do traçado proposto foram originadas 5 curvas de transição, visando propiciar transição gradativa entre as tangentes dos entrecruzamentos e as curvas circulares horizontais. Essas curvas estão todas posicionadas na porção norte da IDD, em decorrência do tipo de alinhamento desenvolvido, que é o padrão assimétrico com deslocamento (ao norte). Já as curvas da porção sul são curvas simples. Ademais, em determinados trechos também surgiram curvas reversas, que se originaram da necessidade de minimizar as



distâncias de transição para trechos não curvilíneos, como nas entradas e saídas dos entrecruzamentos. Todas as curvas circulares horizontais podem ser observadas nas Figura 47 e 48 e na Tabela 7 são dispostos os raios das curvas que armam os entrecruzamentos.

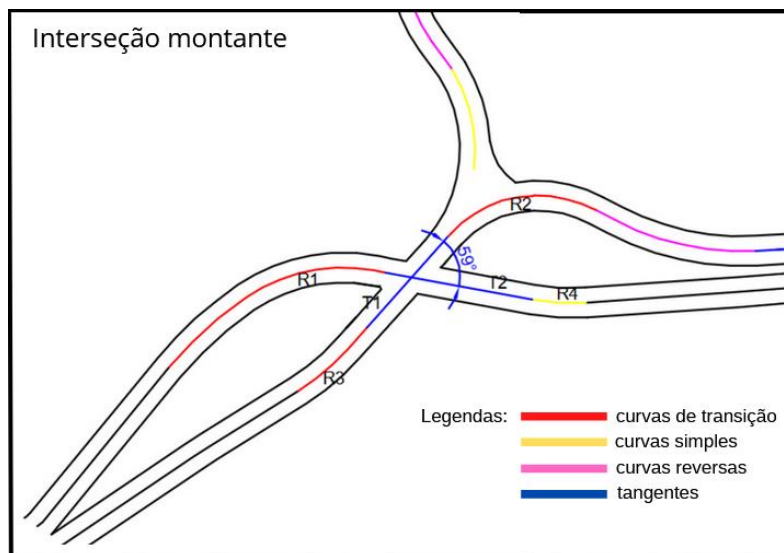


Figura 47. Desenho geométrico da IDD. Fonte: Elaborada pelo autor.

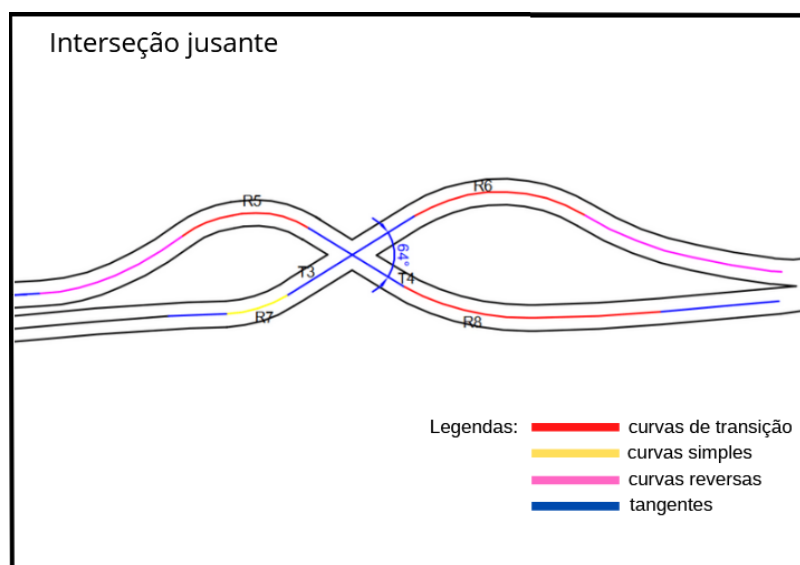


Figura 48. Desenho geométrico da IDD. Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 7. Raios das curvas dos entrecruzamentos. Fonte: O Autor (2022)

Interseção montante		Interseção Jusante	
R1 = 34,7 m	R2 = 22,9 m	R5 = 22,9 m	R6 = 38,1 m
R3 = 45,9 m	R4 = 43,6 m	R7 = 28,5 m	R8 = 57,9 m



Analisando-se, é notável que os raios possuem dimensões diferentes. Nesse caso, o Manual do *NCHRP* (2021) recomenda que os raios interiores possuam dimensão menor que os exteriores, o que ocorreu em todos os casos, exceto para o caso do R1 e R2, que estão ligados pela T2. O fato de o R1 não ter sido dimensionado com um tamanho maior se deu em conta das restrições impostas pelo local.

As tangentes, responsáveis por criar o devido alinhamento nos entrecruzamentos estão com comprimentos dentro, ou próximos, do recomendado pelo Guia Informacional de *DDI* (*FHWA*, 2014), como explicitado na Figura 33 (item 5.4.3). Já as parcelas dos comprimentos dessas tangentes que estão após a linha de retenção (a) e no trecho posterior à margem teórica da rota de tráfego que vem do sentido oposto (b) também estão dentro do recomendado pela *FHWA* (2014), exceto a T2.2 devido à restrição causada pelo R1. Tal impedimento deixa evidente como raios e tangentes estão intimamente vinculados. Os comprimentos das tangentes nas duas interseções de entrecruzamento são computados na Tabela 8.

Tabela 8. Comprimentos tangenciais. Fonte: O Autor (2022).

Interseção montante		Interseção Jusante	
T1 = 30,13 m	T1(a) = 10,0 m	T3 = 34,41 m	T3(a) = 6,70 m
	T1(b) = 7,30 m		T3(b) = 14,35 m
T2 = 29,82 m	T2(a) = 8,91 m	T4 = 22,73 m	T4(a) = 8,50 m
	T2(b) = 1,82 m		T4(b) = 7,56 m

Os ângulos formados pelos trechos de entrecruzamento foram plotados nas Figuras 47 e 48 acima. O ângulo formado pela T1 e T2 possui 59° , nove graus acima do preconizado *FHWA*, enquanto o ângulo formado pela T3 e T4 equivale a 64° , variando 14° acima do recomendado. Todavia, cabe destacar que a própria *FHWA* pondera quanto aos ângulos de entrecruzamento, já que sua variação ocorre em função das restrições locais de cada projeto. Para corrigir o efeito de ângulos mais abertos, ilhas de canalização e sinalização adequada são eficazes, e ambas as soluções foram aplicadas na proposta.

A via de conversão à esquerda foi ligada à IDD após a T1 e se inicia com uma curva simples de $R = 30,26$ m, seguida de uma curva reversa de $R = 29,31$ m.



Os trechos de via que são invertidos em contrafluxo possuem, de ponta a ponta das ilhas de canalização centrais, 144,54 m. Nesse perímetro não há particularidades geométricas, sendo a maior parte dele compreendido de trechos retilíneos, que se tornam tangentes ao encontrar as curvas dos entrecruzamentos.

Por fim, foi disposto na Figura 49 a paginação da sinalização horizontal, vertical e semafórica. A sinalização horizontal se baseia no desenho geométrico e no caso da IDD é imprescindível para guiar o adequado uso das faixas e evitar a confusão dos motoristas, além de corroborar a sinalização vertical de regulamentação e advertência. A paginação da sinalização se baseou no manual da *FHWA* (2014), todavia, aplicando as adaptações para o contexto da sinalização regulamentada para o Brasil, disposta no Manual Brasileiro de Sinalização (CONTRAN, 2007).



Figura 49. Paginação da sinalização proposta para a IDD. Fonte: O Autor (2022).



que está saindo da *DDI* e do seu perímetro invertido, conseqüentemente retornando para o lado regular de circulação. Na interseção à jusante também são realizados dois movimentos, o MV1 que se origina da corrente de tráfego que circula pelo trecho invertido e irá sair da *DDI* para retornar o fluxo regular, e o MV2 que adentrará na diamante divergente realizando o entrecruzamento e conduzirá a corrente de tráfego para o lado montante.

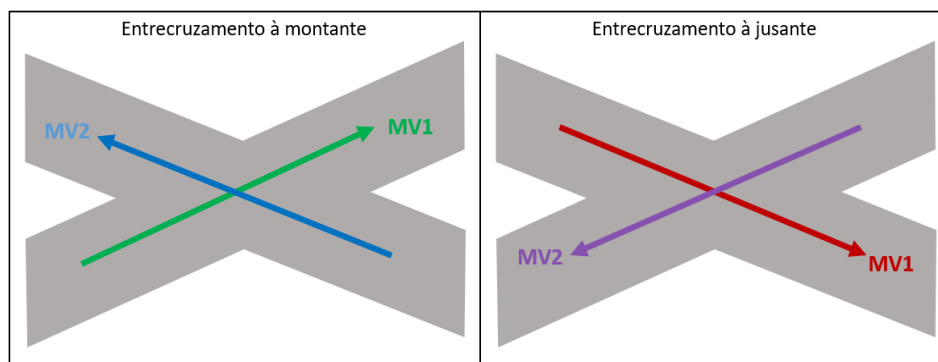


Figura 52. Grupos de movimentos realizados nas interseções propostas. Fonte: O Autor (2022).

6.3.2. Definição do Grupos Semafóricos

O controle dos movimentos ficará a cargo de dois grupos semafóricos para cada interseção, como esquematizado na Figura 53. Cada um desses grupos irá estar vinculado à uma fase, o que se concilia com o princípio de programação semafórica de uma *DDI*, que opera com apenas duas fases para cada interseção. Assim, na configuração abaixo apresentada, tem-se para a montante o G1 controlando o MV1 e o G2 o MV2. Já para a jusante o G1 controla o MV1 e o G2 o MV2. No que tange ao tipo de controle, será utilizado o tempo fixo e como estratégia de controle será utilizada a opção em rede.

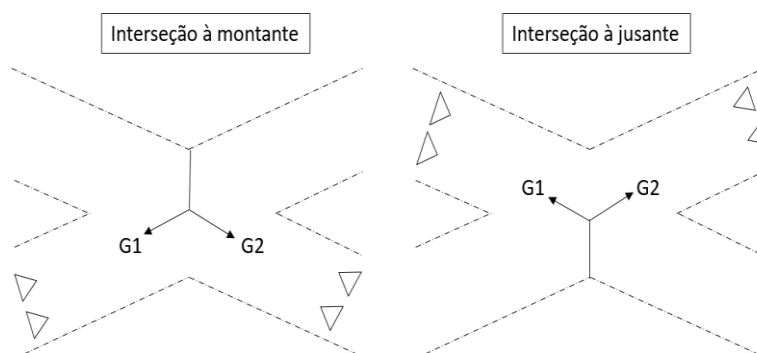


Figura 53. Grupos semafóricos. Fonte: O Autor (2022).



6.3.3. Definição do Diagrama de Estágios

Para compor a programação semafórica elaborada para este trabalho foi necessário estabelecer os estágios dos ciclos de cada uma das interseções. Definindo tais estágios, será possível dar proporção às durações de cada um dentro dos ciclos dos semáforos, sendo estes explicitados nas Figuras 54 e 55. Assim, conforme ilustrado, na interseção à montante o estágio 1 dá a permissão para a realização do MV1, enquanto o MV2 permanece retido, já no estágio 2 o MV2 recebe direito de passagem ao passo que o MV1 fica imóvel. Para a interseção a jusante, no estágio 1 quem possui o direito de passagem é o MV1, enquanto o MV2 é retido e, no estágio 2, a liberação de circulação é para o MV2 e a proibição para o MV1.

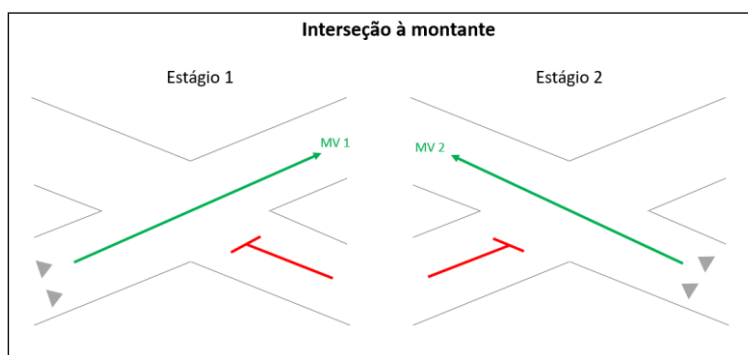


Figura 54. Diagrama de estágios da montante. Fonte: O Autor (2022).

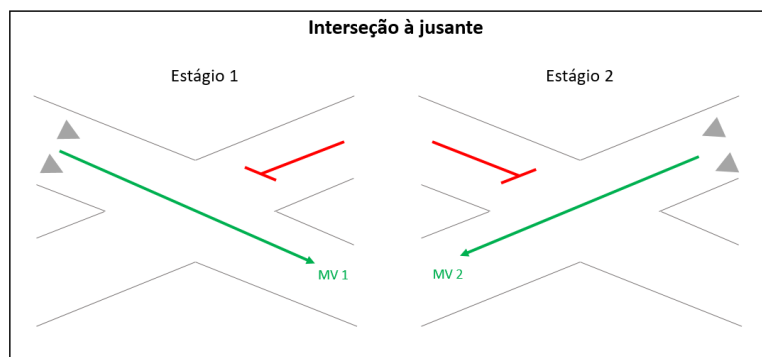


Figura 55. Diagrama de estágios da jusante. Fonte: O Autor (2022).

6.3.4. Montagem do Ciclo do Semáforo

Por se tratar de um estudo de concepção na qual não são dimensionados todos os parâmetros exatos de projeto, a montagem do ciclo semafórico para este trabalho foi determinada de forma hipotética através do método de tentativa e erro, a fim de adequar os tempos de cada intervalo para garantir uma operação básica dos grupos semafóricos, onde



as fases para os movimentos funcionariam satisfatoriamente. Dessa forma, foram determinados os seguintes dimensões para a duração de cada um dos intervalos:

- Tempo de verde 1 (para o MV1 da IM): 50 segundos;
- Tempo de verde 2 (para os demais movimentos): 25 segundos;
- Tempo de entreverdes: 5 segundos, sendo 3 segundos para amarelo e 2 segundos para vermelho.

O tempo de amarelo foi escolhido com base na recomendação do CONTRAN (2014) que estabelece um tempo mínimo de amarelo de 3s para vias que operam com velocidades de até 40 km/h, sendo a velocidade de projeto determinada para este trabalho a de 30 km/h, o que atende satisfatoriamente a normativa do Manual de Sinalização Semafórica.

Já o tempo de vermelho foi dimensionado com 2s por ser esse o tempo estimado para o devido clareamento das faixas transversais ao movimento que irá iniciar imediatamente após o final do intervalo vermelho.

Por fim, foi determinado o tempo do ciclo através da Equação 3, conforme segue:

$$t_c = t_v + t_{ent}$$

onde,

t_c = tempo do ciclo;
 t_v = tempo de verdes;
 t_{ent} = tempo de entreverdes

aplicando,

$$t_{c1,MV1,IM} = 50s + 5s = 55s$$

$$t_{c2} = 25s + 5s = 30s$$

Em atenção às considerações supramencionadas, procedeu-se com formatação dos diagramas de intervalos luminosos, explicitados nas figuras abaixo.



Diagrama de Intervalos Luminosos - IM								
Instante	50		53	55	80		83	85
Fase G1	[Green]		[Yellow]	[Red]	[Red]		[Red]	[Red]
Fase G2	[Red]		[Red]	[Green]	[Green]		[Yellow]	[Red]
Intervalos	1		2	3	4		5	6
Duração (s)	50		3	2	25		3	2
% Ciclo	59		3,5	2,5	29		3,5	2,5
Estágios	1				2			

Figura 56. Diagrama de intervalos luminosos para a IM. Fonte: O Autor (2022).

Diagrama de Intervalos Luminosos - IJ								
Instante	25		28	30	55		58	60
Fase G1	[Green]		[Yellow]	[Red]	[Red]		[Red]	[Red]
Fase G2	[Red]		[Red]	[Green]	[Green]		[Yellow]	[Red]
Intervalos	1		2	3	4		5	6
Duração (s)	25		3	2	25		3	2
% Ciclo	41,5		5	3,5	41,5		5	3,5
Estágios	1				2			

Figura 57. Diagrama de intervalos luminosos para a IJ. Fonte: O Autor (2022).

6.3.5. Coordenação Semafórica

Segundo o CONTRAN (2014) a programação semafórica de uma rede que será coordenada necessita de extensos e trabalhosos cálculos, que melhor são desenvolvidos através de *softwares*, mas que podem também ser feitos por processos manuais.

Neste trabalho, adotou-se a metodologia de coordenação do Manual de Sinalização Semafórica (CONTRAN, 2014), na qual:



- i. Determinou-se os tempos dos ciclos para os semáforos da rede, sendo ;
- ii. Seguindo da determinação da velocidade de progressão desejada, na ordem de 30 km/h;
- iii. Montou-se o esquema da diagrama de espaço-tempo, que alocou as interseções na horizontal (eixo espaço) e o ciclos na vertical (eixo tempo), conforme a Figura 58 evidencia;
- iv. Desenhou-se, na diagonal, as linhas que representam as bandas de passagem. Ambas construídas paralelamente e com uma inclinação que representa a velocidade de progressão;
- v. A banda de passagem foi elaborada para coincidir com o tempo de verde de cada interseção;
- vi. Foram traçados dois pares de linhas da banda de passagem, uma vez que as interseções são de vias de mão dupla, sendo adotada a alternativa que considera a ocorrência simultânea dos instantes centrais do tempo de verde das duas interseções sucessivas.

Após seguir a metodologia descrita, o diagrama espaço-tempo para as interseções de entrecruzamento da alternativa conceitual proposta, pode ser observado na Figura 58. Dessa forma, criou-se uma coordenação semafórica condizente com a chamada “onda verde”.

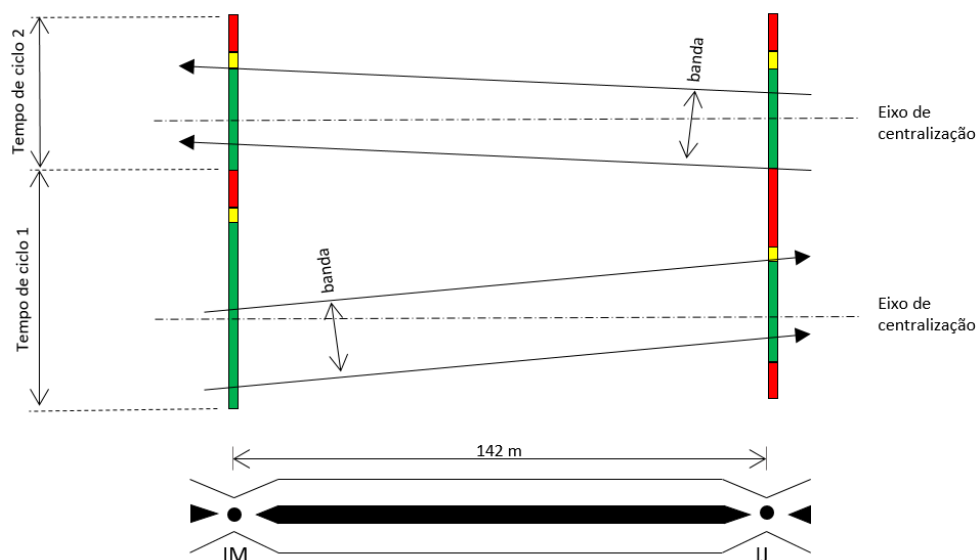


Figura 58. Diagrama de espaço-tempo para as interseções de entrecruzamento. Fonte: O Autor (2022).



6.4. Simulação do Modelo

6.4.1. Calibração da Simulação

A simulação da IDD foi realizada considerando dois cenários, o primeiro no ano hipotético de abertura da interseção alternativa (2022) e o segundo no ano de projeto (2032), ambos simulados no PAT do *Infracore*®, conforme as etapas seguir descritas, que foram devidamente depuradas, o que significa eliminar os erros que podem impedir a simulação de rodar:

I. Delimitação da área de estudo

Na aba “analisar” do *Infracore*® cria-se uma nova área de estudo, delimitando um polígono que circunscreveu a IDD e suas adjacências, sendo que, onde há vias que as arestas do polígono cruzam, são automaticamente criados pólos geradores de tráfego que o programa define como zonas. Assim, o polígono foi tracejado para a criação de 3 zonas, a zona 1 no lado jusante (Rod. Josmar Chaves Pinto), a 2 no lado montante (Rod. Josmar Chaves Pinto) e a 4 na via de conversão à esquerda (R. Hildemar Maia).

II. Abertura do PAT

Uma vez delimitada a área foi aberto o sub-programa painel de analista de tráfego onde foram executadas as etapas seguintes.

III. Determinação da demanda

É através da determinação da demanda que se geram os fluxos de tráfego dentro do simulador, sendo que foi utilizado como dado de entrada para cada demanda os fluxos observados em campo e computados na pesquisa de tráfego, conforme explicitado no fluxograma de tráfego (Figura 39). Cabe ressaltar que o fluxograma foi elaborado considerando os movimentos realizados na rotatória existente, todavia, para fins de simulação eles foram adaptados para o cenário da IDD, considerando a configuração de matriz O/D, que não se altera mesmo com a reconfiguração da geometria no local e garante o correto uso das faixas de rolamento. A matriz O/D foi replicada no editor de demanda, como pode ser observada na Figura 59. As demandas foram configuradas de uma zona para a outra, no fluxo atual (Tabela 9) e fluxo futuro (Tabela 10).



Tabela 9. Matriz O/D para ano de abertura. Fonte: O Autor (2022).

O \ D	Z1	Z2	Z4
Z1		1052	
Z2	1365		1069

Tabela 10. Matriz O/D para ano de projeto. Fonte: O Autor (2022).

O \ D	Z1	Z2	Z4
Z1		1414	
Z2	1834		1437

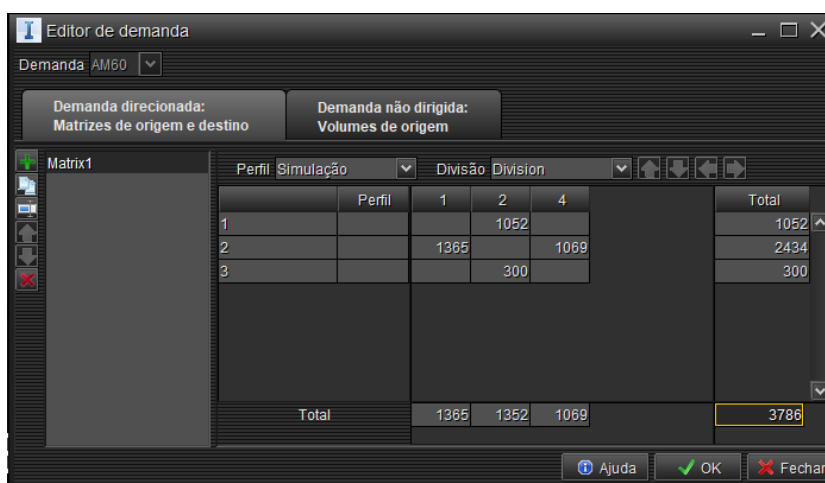


Figura 59. Montagem da matriz O/D no quadro de demandas do simulador. Fonte: Captura de tela do *Infracore*.

IV. Determinação do tempo de simulação

Abrindo o quadro de períodos no programa foi determinado o tempo de simulação de 1 hora, que representa a HP dos dados computados nas pesquisas. A escolha se deu em conta de a HP rodar a simulação no cenário mais carregado o possível. Os períodos não se alteram do cenário atual para o do ano de projeto.

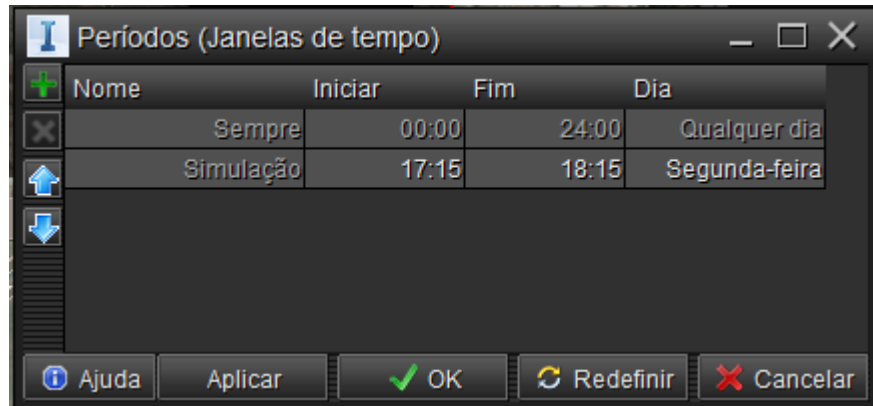


Figura 60. Janelas de tempo do simulador. Fonte: Captura de tela do *Infracworks*.

V. Organização dos controles de fluxos

A criação do *layout* da IDD no *Infracworks*® gerou no modelo diversas interseções, todavia, a maior parte dessas interseções não são cruzamentos reais de vias, e sim o encontro de um trecho de estrada com outro - um nó, mas que o programa entende como interseção. Assim, para depurar a simulação foi necessário abrir o quadro de interseções, clicar na coluna “sinal fixo” e estabelecer o tipo de controle para cada uma como “fluxo livre”, exceto as duas interseções de entrecruzamento, que de fato possuem o cruzamento de duas vias.

VI. Configuração do controle semafórico

Nas duas interseções de entrecruzamento o controle dos fluxos se deu por semáforos. A configuração dos mesmos foi feita na seção “controle” dentro do quadro “interseções”. Inicialmente é necessário deixar a coluna “sinal fixo” em braco para cada um dos retornos, que são os sentidos dos fluxos. Após, clica-se o botão “sinalizar” que gera as abas “grupos”, “fases” e “sincronização”. Na aba “retorno”, definiu-se quais os grupos semafóricos controlariam cada movimento para cada interseção, o que foi feito conforme o esquema da Figura 61.



Figura 61. Configuração do controle semafórico. Fonte: Captura de tela do *Infraworks*.

Na aba “grupos” foi definido os estágios luminosos (fases) para cada grupo, o que imputa na simulação quais os movimentos terão direito de passagem ou ficarão restringidos em cada estágio. Este procedimento se baseou no diagrama de estágios apresentado no item 6.3.3.



Figura 62. Definição dos grupos de semáforo e seus intervalos luminosos. Fonte: Captura de tela do *Infraworks*.

Na aba “sincronização” são imputados as durações dos intervalos luminosos de cada fase, sendo alteradas as colunas “verde”, “amarelo” e “vermelho” de acordo com os diagramas de intervalos luminosos dispostos no item 6.3.4. Todos os semáforos foram configurados com durações iguais, exceto aquele que controla o MV1 da interseção à montante.



Figura 63. Determinação das durações dos intervalos luminosos para a IM. Fonte: Captura de tela do Infracore.



Figura 64. Determinação das durações dos intervalos luminosos para a IJ. Fonte: Captura de tela do Infracore.

VII. Rodagem da simulação

Após cumprir com os procedimentos necessários em cada etapa descrita acima, foi apertado o botão de rodar a simulação que a executa conforme toda a calibração realizada.

Complementarmente, foi criado um segundo modelo de simulação, elaborado para simular a operação da rótula que está implementada no local de estudo, e posteriormente comparar os resultados com a proposta de interseção alternativa apresentada neste trabalho. A calibração do segundo modelo seguiu as mesmas etapas da IDD, porém, sem a inclusão de semáforos, uma vez que os fluxos da rotatória são controlados pelo direito de passagem de quem circula em seu interior. Assim, na coluna “sinal fixo” da aba “retornos” os fluxos foram configurados na opção “dar passagem” que é análogo ao sinal de “dê a preferência”.



6.5. Avaliação da Microssimulação

Para a avaliação dos resultados simulados foram extraídos do TAP aqueles dados que indicam as medidas de desempenho escolhidas para análise da proposta aqui apresentada, e que atuam como parâmetros de validação da simulação.

Das medidas de desempenho destacadas no item 5.8. desta pesquisa, duas estão atreladas às interseções, que são os atrasos e os comprimentos médios de fila, e uma é computada através dos eixos das vias.

Os modelos gerados no Painel de Analista de Tráfego apresentam os elementos da geometria com duas nomenclaturas: Interseções que são os trechos que ligam nós ou em que vias se cruzam e estradas que são as faixas rolamento de todo o eixo longitudinal. Nos Apêndices C e D são apresentadas as numerações que o programa criou para identificar as abreviaturas para cada estrada do modelo da IDD e da rotatória, respectivamente. Por configuração padrão do programa, são gerados vários trechos de estradas e interseções, e para cada um desses elementos são apresentadas medidas de desempenho. As medidas foram extraídas da aba “análise” do PAT, e das sub-abas, que apresentam os resultados da simulação para as interseções e para as estradas.

A condensação dos resultados simulados e que importam para a avaliação dos cenários criados é apresentada nas tabelas abaixo.

Tabela 11. Resultados da simulação em medidas de desempenho. Fonte: O Autor (2022).

Cenário 1					
Sentido	Estrada	Tempo de viagem	Comprimento de fila (m)	Atrasos (s)	Nível de Serviços (NS)
Jusante p/ Montante	W5	00:00:43	4	36,02	C
	W1	00:00:26	93,79	13,8	A
	W2	00:00:46	186,77	47,7	C
	W3	00:00:07	9,6	4,26	A
Total		00:02:02	294,16	101,78	
Montante p/ Jusante	E9	00:00:25	59,17	7,35	A
	E8	00:00:46	231,65	41,93	C
	E1	00:00:17	112,54	18,14	C
	N1	00:00:04	14,56	5,41	A
	E2	00:00:06	13,87	4,12	A
	E3	00:00:07	76,36	4,66	A
	E4	00:00:14	86,37	15,27	C
	E5	00:00:08	22,75	4,25	A



Total **00:02:07** **617,27** **101,13**

Tabela 12. Resultados da simulação em medidas de desempenho. O Autor (2022).

Cenário 2					
Sentido	Estrada	Tempo de viagem	Comprimento de fila (m)	Atrasos (s)	Nível de Serviços (NS)
Jusante p/ Montante	W5	00:01:29	417,25	82,45	F
	W1	00:00:51	177,25	52,49	D
	W2	00:01:21	262,99	81,8	F
	W3	00:00:07	9,6	4,17	A
Total		00:03:48	867,09	220,91	
Montante p/ Jusante	E9	00:00:54	234,99	37,08	E
	E8	00:00:58	249,15	52,74	D
	E1	00:00:21	136,42	22,21	C
	N1	00:00:05	20,27	5,94	D
	E2	00:00:06	17,83	0,81	C
	E3	00:00:20	143,32	21,21	C
	E4	00:00:01	10,3	1,92	D
	E5	00:00:08	23,2	4,35	D
Total		00:02:53	835,48	146,26	

Tabela 13. Resultados da simulação em medidas de desempenho. O Autor (2022).

Cenário 3						
Sentido	Estrada	Tempo de viagem	Comprimento de fila (m)	Atrasos (s)	Nível de Serviços (NS)	
Jusante p/ Montante	W3	00:00:34	150,68	20,26	C	
	W4	00:04:29	1001,92	265,65	F	
	W5	00:01:53	367	115,73	F	
	W6	00:00:23	79,45	27,11	D	
	W7	00:00:24	83,22	24,29	C	
	W8	00:01:02	189,28	64,82	F	
	W9	00:00:07	85,23	30,54	C	
	W10	00:00:26	55,96	25,85	B	
	Total		00:09:18	2.012,74	574,25	

6.5.1. Comparativo entre a Rotatória e a IDD

A primeira comparação a ser realizada é entre os Cenários 1 e 3, que representam, respectivamente, a proposta de IDD e a rotatória existente. Nessa primeira análise busca-se entender que alterações significativas a IDD causa e como elas agem para atenuar as problemáticas existentes na rotatória. Para tanto elaborou-se o quadro comparativo abaixo.



Quadro 3. Comparação entre os cenários 1 e 3.

Medida de desempenho	Cenário 1	Cenário 3
Tempo de viagem	00:02:02	00:09:18
Comprimento de fila (m)	294,16	2.012,74
Atrasos (s)	101,78	574,25

Fonte: O Autor (2022).

Da primeira medida de desempenho, depreende-se que o tempo de viagem dos veículos reduz de 9 min. e 18 seg. para apenas 2 min e 2 seg, uma redução de mais de 70%, que é bastante considerável e demonstra um significativo aumento na fluidez do tráfego no local estudado.

A segunda medida, que mede a formação de filas e que está vinculada ao nível de serviço que a via oferece, demonstra uma diminuição muito elevada dos comprimentos totais das filas do Cenário 3 em relação ao Cenário 1. No tocante às filas, é válido destacar que na geometria da IDD a fila total do sentido jusante-montante decorre do somatório de dois trechos, o anterior à entrada na Interseção Diamante Divergente (estradas W1 e W5) e aquele em que as vias estão invertidas, já dentro da IDD (estradas W2 e W3).

E finalmente a medida de desempenho “atraso” demonstra como os veículos trafegando na interseção do tipo rotatória experimentam uma demora muito mais acentuada do que experimentaríamos se trafegassem na interseção alternativa proposta. Os atrasos também estão atrelados aos níveis de serviço (NS), que podem ser averiguados tabelas do item anterior.

O atraso maior no Cenário 3 provavelmente está atrelado ao pouco lapso temporal que os veículos têm para adentrar na rotatória, em decorrência do fluxo que segue para a Rua Hildemar Maia. Ademais, as enormes filas formadas antes da rotatória fazem com que os condutores tenham que acelerar de desacelerar continuamente para poder se manterem coesos com a corrente de tráfego, o que gera perda de tempo e maior gasto de combustível. Para os motoristas o que resta é desconforto e frustração.



6.5.2. Desempenho da Alternativa Proposta

A performance operacional da alternativa de IDD pode ser avaliada, em parte, pelas medidas de desempenho observadas nos Cenário 1. Nas simulações desses cenários é possível compreender o comportamento geral da proposta, especialmente como os fluxos se distribuem pela IDD.

No sentido jusante para montante, tem-se dois trechos que cabem análise. Esse sentido do fluxo está atrelado a maior problemática encontrada na rotatória atual, a formação de filas excessivas, tempo de viagem elevado e grande atraso. Destaca-se os trechos a seguir:

- O primeiro trecho, na aproximação de entrada na IDD, é armado pelas estradas W1 e W5 e nele é formada uma fila de 97,79 m, com um tempo de viagem máximo de 1 min e 9 s e atraso de 49,82 s. Esse tempo de atraso revela que a fila é dissipada rapidamente na interseção.

- No trecho invertido, que arma a saída da IDD (estradas W2 e W3), a fila máxima formada alcança 196,37 m. A maior dimensão dessa fila se deve ao ciclo de 55 s do semáforo que controla o movimento 1 (M1) da interseção montante, fazendo com que a corrente de tráfego tenha que aguardar mais tempo para ser liberada, o que gera acúmulo de veículos após a linha de retenção. Consequentemente, o tempo de viagem de 53 s é maior do que seria caso esse ciclo fosse o mesmo da interseção jusante (30 s). O atraso experimentado também é maior, prejudicando o nível de serviço.

No sentido montante para jusante também é necessário fazer a mesma divisão de trechos, o primeiro entrando na IDD - estradas E9, E8, E1 e N1 - o segundo saindo da inversão - E2, E3, E4 e E5. Suas análises são descritas abaixo:

- No primeiro trecho se observa a formação de uma fila máx. de 417,92 m, um tempo de viagem de 1 min e 32 s e um atraso de 72,83 s. Nesse sentido a formação de filas é inédita, se comparada à rotatória, uma vez que na interseção existente o fluxo é praticamente livre, pois não há interrupções significativas de outras correntes de tráfego. Além disso, o volume de veículos é mais que o dobro do sentido oposto, pois acumula as demandas da Z2 para Z4 e da Z2 para Z1, conforme mostrado na matriz O/D (Tabelas 9 e 10). Todavia, apesar do surgimento dessas filas, o nível de serviços dessas estradas vai de “A” a “C”, uma vez que o maior atraso experimentado é na estrada E8,



já não tão próxima da interseção. Ademais, para aumentar a capacidade da interseção foi dimensionado um ciclo maior no semáforo que atende essas demandas.

- No segundo trecho também é observado a formação de filas com 194,65 m, mas que são rapidamente dissipadas, considerando o atraso de apenas 28,29 s, que dá um NS “A” para o trecho. Um atraso pequeno implica em um menor tempo de viagem, que nesse caso está na ordem de 35 s.

Por fim, analisando o movimento de conversão à esquerda, resta claro que esse transita com plena fluidez, sem formação de filas, ou com qualquer tempo de atraso. Isso revela a eficácia desse tipo de interseção alternativa em lidar com grandes volumes de conversão.

6.5.3. A Interseção Alternativa no Ano de Projeto

A análise da operação da IDD no ano de projeto pode ser realizada considerando as medidas de desempenho extraídas do Cenário 2. A avaliação no ano de projeto é importante para balizar a viabilidade de implementação da proposta. Para tanto, é necessário comparar o comportamento da operação no ano de abertura, com aquele vislumbrado no ano de projeto. Tal comparativo é apresentado no quadro a seguir.

Quadro 4. Comparação entre os cenários 1 e 2.

Sentido	Medida de desempenho	Cenário 1	Cenário 2
Jusante p/ Montante	Tempo de viagem	00:02:02	00:03:48
	Comprimento de fila (m)	294,16	867,09
	Atrasos (s)	101,78	220,91
Montante p/ Jusante	Tempo de viagem	00:02:07	00:02:53
	Comprimento de fila (m)	617,27	835,48
	Atrasos (s)	101,13	146,26

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como esperado, os dados extraídos da simulação do Cenário 2 revelam aumentos nos valores de todas as medidas de desempenho, sendo que cada uma para essas medidas cabem análises específicas conforme os trechos avaliados e seus sentidos.

No sentido jusante para montante observa-se um acréscimo de 572,93 m nas filas totais, aumento de 1 min e 46 s no tempo de viagem, e aumento 119,13 s nos atrasos, o que



faz decair o NS das vias e da interseção como um todo. Avaliando os trechos específicos nota-se que:

- No primeiro trecho (W1 e W5) ocorreu o maior aumento de filas, de 496,71 m de comprimento a mais do que o gerado no Cenário 1. Muito provavelmente, esse acréscimo ocorre por conta de o tempo de verde do semáforo que atende esse movimento não ser mais suficiente para permitir a vazão adequada do maior volume de veículos que chegam na aproximação. Logo, o atraso também se eleva, diminuindo o NS dessa aproximação para “F”.

- No segundo trecho (W2 e W3) a problemática observada no Cenário 1, de retenção pelo tempo de ciclo do movimento oposto, apenas se agrava, causando acréscimo no comprimento das filas, maior atraso, uma vez que a fila é ainda maior e 35 s de acréscimo no tempo de viagem. Cabe destacar, que na simulação, percebe-se que aquela fila formada no primeiro trecho é grandemente influenciada pela fila no segundo. Isso ocorre porque a fila se estende a tal ponto que começa a impedir a entrada de mais veículos no trecho invertido, o que implica na existência de um “efeito dominó”.

No sentido montante para jusante, os efeitos do aumento da frota também causam impactos consideráveis na operação, conforme são discriminados a seguir:

- No trecho de entrada na IDD (E9, E8, E1 e N1) houve um acréscimo de 223,41 m no comprimento de fila, aumento de 46 s no tempo de viagem e 45 s a mais no tempo de atraso. No Cenário 1 o tempo de atraso já era relativamente elevado, especialmente na E8, o que se repetiu no segundo cenário. Conseqüentemente a uma baixa no NS das vias e da interseção, ficam entre “C” e “D”.

- No trecho de saída (E2, E3, E4 e E5) não houveram impactos negativos, pois o tempo de viagem permaneceu o mesmo, ocorreu uma redução de 14,70 m na fila, e mesmo um decréscimo pequeno de 0,01 s nos atrasos. Assim, os NS para o trecho não sofreram alteração, o que faz com que opere satisfatoriamente.

Assim como no Cenário 1, o fluxo do movimento de conversão à esquerda não sofreu qualquer impacto, mesmo diante do aumento da frota. Permanecendo assim com a mesma fluidez.



6.6. A Viabilidade da Proposta da IDD

De posse dos resultados obtidos para a geometria da interseção proposta e da avaliação dos cenários simulados é possível discutir a viabilidade da implementação da Interseção Diamante Divergente - IDD - no local estudado.

Inicialmente as ponderações são feitas em relação ao contexto adaptativo da interseção alternativa proposta. Nesse tocante, é imprescindível avaliar a IDD enquanto seu caráter de geometria adaptada de outro tipo de ligação viária, a Interconexão Diamante Divergente, que é um tipo de ligação viária alternativa. Assim, a interseção proposta por meio de uma concepção geométrica, que é um dos resultados deste trabalho, se baseia nos conceitos de desenho geométrico e nas características operacionais da *DDI*.

Partindo dessa interconexão base, foram replicados a maioria dos parâmetros de desenho, como as interseções de entrecruzamento, a via de conversão à esquerda, o trecho de vias invertidas, os tipos de alinhamento, os ângulos e os tipos de curvas horizontais. Já das características das operacionais replicadas, destaca-se a canalização para realização de movimentos de entrecruzamento e a operação de semáforos com fase dupla atuando através de sincronização. Condensando todas essas premissas de projeto, foi elaborada uma proposta de interseção em nível concebida para substituir a rotatória existente no local de estudo.

Em relação à geometria as considerações são feitas se atentando especialmente ao espaço disponível para locação de tal interseção alternativa. Pelo apresentado no item 6.2.2. (Figura 46), é perceptível que em alguns trechos a alternativa proposta avança para fora daquele espaço que a Rodovia Josmar Chaves Pinto e a Rua Hildemar Maia ocupam. Tal avanço ocorreu em virtude da concepção geométrica idealizada no *Infracore* (2022)®, que priorizou a concordância entre os raios das curvas circulares e as tangentes. Todavia, cabe destacar que o programa funciona apenas como uma ferramenta de concepção para projetos, ou seja, é capaz de fornecer uma geometria preliminar, que em seguida é utilizada para avaliar a viabilidade de traçados propostos e que, posteriormente, devem ser retificados em um projeto geométrico preciso e completo.

Por ser apenas uma concepção, há muito a se ajustar na geometria, especialmente os raios das curvas horizontais e o comprimento de seus arcos, além de suas concordâncias com as tangentes. Ajustando essas dimensões em um projeto geométrico completo é possível



reduzir o avanço da geometria para fora do espaço que é disponibilizado para as vias atualmente. Entretanto, é importante destacar que, em todo o perímetro estudado, percebe-se estrangulamento das vias, e praticamente não há espaço disponível para proposição de interseções que demandem maior sítio para implementação. Foi diante dessa restrição, que a proposta da interseção alternativa foi considerada, uma vez que esta requer muito menos área de locação em comparação a outras geometrias.

Quanto à dimensão de largura das seções das faixas de rolamento, calçadas e ciclovias, foram adotadas sempre as seções mínimas recomendadas nos manuais de projeto. Essas dimensões foram apresentadas no item 6.2. A exemplo das faixas de rolamento, que foram dimensionadas no modelo com largura de 3 m, conforme orientação do BRASIL (2005), o que implica na necessidade de maior utilização de espaço.

Hoje as faixas de rolamento se configuram como subdimensionadas, como pode ser observado na Figura 65, onde destaca-se a largura das faixas atuais.

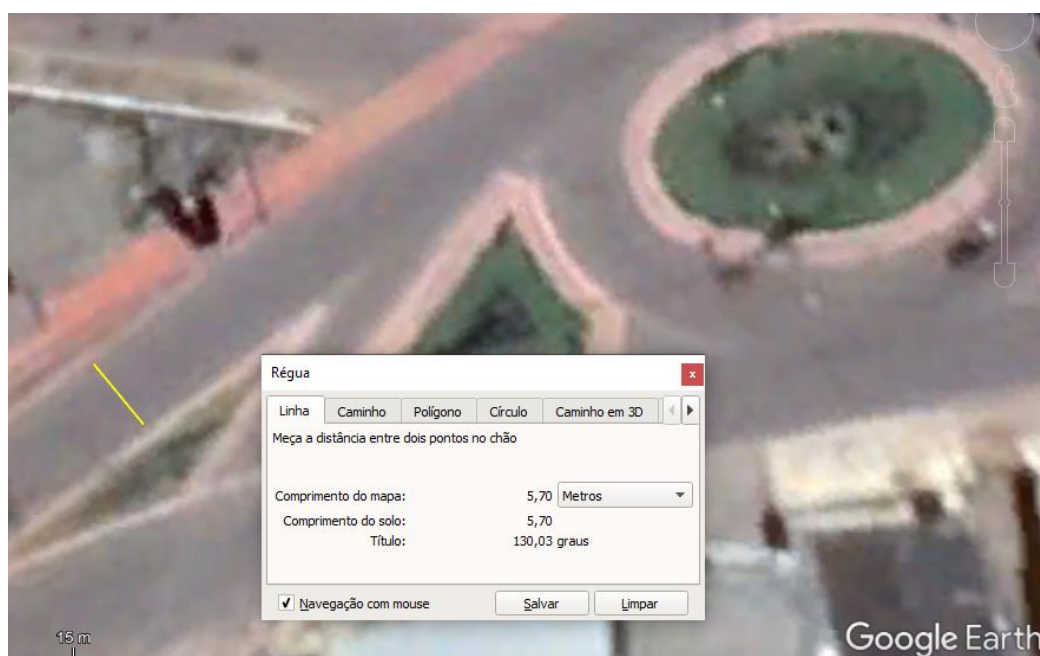


Figura 65. Largura da seção da faixa de rolamento. Fonte: Google Earth (2022).

Na interseção jusante foi necessário utilizar um espaço que não abriga nenhuma via atualmente, mas que está disponível para uso, pois não é área particular e sim de domínio público. Todavia, para abarcar a geometria proposta, um pequeno trecho se encontra acima do curso d'água que corta a Rodovia. Nesse caso, seria necessária alguma obra de arte especial para suportar essa seção que excede o espaço existente.



Partindo para a análise da viabilidade da IDD por meio das simulações, é necessário se atentar à comparação dos cenários. Na primeira comparação, entre o cenário que representa a rotatória implementada e a proposta de interseção alternativa, são evidentes os ganhos da IDD quanto ao aumento da capacidade viária e a maior fluidez no tráfego, o que se corrobora por meio de suas medidas de desempenho.

Entretanto, é válido ressaltar que essas medidas são suficientes na comparação do fluxo que vai do sentido da jusante para a montante, que é o sentido que gera o gargalo na rótula atual. Para o sentido inverso (montante para jusante) cabem algumas ponderações, pois nesse sentido surge a formação de filas nas aproximações, algo que não ocorria anteriormente. No item 5.1. foram apresentadas as características geométricas e operacionais da rotatória, que mostraram o fluxo praticamente livre no ramo-3, e que após a conversão da rotatória em IDD não ocorre mais, já que passa a existir uma interseção controlada por sinal no que seria análogo ao ramo-3.

Analisando o sentido montante para jusante, à parte, salienta-se que por mais que a formação de filas ocorra, as simulações demonstram que elas são dissipadas de forma fluida, não causando grandes atrasos na interseção. Além do mais, considerando o elevado volume de tráfego da HP o tempo de viagem também não é tão elevado quanto o do cenário da rotatória, mesmo que esse seja para outro sentido.

Assim, como no sentido montante para jusante não há parâmetros que possam ser comparados com o cenário da rotatória, faz-se uma analogia com as medidas de desempenho do sentido jusante para montante da rótula. Tal analogia evidencia ganhos gerais para a área estudada como um todo, pois mesmo que sejam geradas filas, o tempo de viagem não é tão elevado quando o que se observa no cenário atual, e os atrasos causados não criam níveis de serviço ruins, uma vez que variam de “A” a “C”, conforme os dados dispostos nas tabelas 11 e 12.

Já na comparação entre os cenários que representam a IDD no ano de abertura e no ano de projeto, a análise dos dados mostra que no ano de projeto a interseção alternativa ficaria com sua capacidade de operação comprometida por conta do aumento na demanda de tráfego. Assim, no ano de 2032 as filas existentes seriam maiores, haveria mais atraso e o tempo de viagem também sofreria acréscimo, na ordem de 2 min e 32 s, que mesmo adicionado ao tempo de viagem no cenário que representa o ano de abertura ainda estaria



abaixo do tempo de viagem experimentado na rotatória em 2022. Entretanto, avaliando a projeção gráfica da simulação, é perceptível que IDD passa estrangular esse fluxo, especialmente no trecho invertido do sentido jusante para montante.

Porém, é importante destacar que a operação da IDD oferece relativa maleabilidade, uma vez que as programações semaforicas podem ser alteradas, dando maior tempo de verde em momentos de extrema demanda. Todavia, essas retificações precisam ser bem avaliadas e requerem bastante ponderação, pois os semáforos da IDD trabalham em sincronia e caso seus ciclos sofram alterações, cada uma das interseções é impactada.

No tocante à mobilidade intermodal, a IDD apresenta ganhos para área estudada, uma vez que na interseção atual não há travessias de pedestres e a ciclofaixa existente não garante travessia segura para os ciclistas. Através da sua geometria, a interseção alternativa proporciona aos pedestres e ciclistas espaços adequados para circulação, bem como a travessia segura em faixas de pedestres, nas quais as travessias são controladas por semáforos.

Assim, como pode ser observado na representação da sinalização na IDD (Figura 49), as interseções de entrecruzamento são utilizadas para garantir a travessia dos pedestres e ciclistas. Cabe destaque o posicionamento da ciclovia, que nos trechos anteriores às interseções estão no lado norte, e que a partir dos entrecruzamentos são migradas para a porção sul, por razões tanto de maior espaço disponível neste lado, quanto para garantir travessia segura, já que se permanecesse na porção norte seria cortada pela Rua Hildemar Maia, que não possui sinal de controle.

Como a IDD teve sua concepção geométrica e operacional voltada para dirimir a problemática do gargalo viário na rotatória implementada, algumas considerações quanto às vias adjacentes foram postas em segundo plano e nem mesmo entraram no contexto das simulações. Assim, é válido ressaltar que estudos adicionais devem ser realizados para avaliar os impactos dessa interseção alternativa em suas adjacências.



7. CONCLUSÕES

A atual ineficácia da rotatória existente no ponto de encontro da Rodovia Josmar Chaves Pinto com a Rua Hildemar Maia decorre da conjugação de fatores relevantes, como sua geometria e o grande volume de veículos que trafegam por essa interseção. Tais volumes foram computados através de pesquisas de tráfego e, depois de tratados, revelam como os grandes fluxos que circulam pela rótula sobrecarregam alguns trechos de sua geometria, que hoje é operacionalmente defasada. Logo, no contexto operacional, o desempenho da interseção existente já alcançou o limite da capacidade, necessitando de propostas resolutivas que possam dirimir ou atenuar as problemáticas ali enfrentadas.

Como proposta, neste trabalho se buscou avaliar a viabilidade de implantação de um tipo alternativo de interseção em nível capaz de dar fluidez ao tráfego, abarcando o maior número de multimodais possível, e priorizando custos razoáveis de execução. Tal proposta se baseia na concepção de uma geometria alternativa, elaborada através da adaptação de um tipo de interconexão, a Diamante Divergente.

A escolha desse tipo de geometria se deu em face de suas avaliações positivas quanto ao desempenho de suas capacidades operacionais nos locais onde estão instaladas, especialmente em situações em que existem elevados fluxos de conversão à esquerda, como é o caso da área estudada. Ademais, atentando-se à pergunta norteadora, a concepção do traçado geométrico da interseção considerou como fator relevante a limitação de espaço imposta para o local onde se avalia a viabilidade de sua implantação.

Desse modo, a concepção elaborada gerou a Interseção Divergente Diamante - IDD. Sua viabilidade foi avaliada através da simulação de cenários representativos, utilizando o programa *Infrworks 2022* ®. Em suma, buscando atender aos objetivos do trabalho, a comparação das simulações entre o cenário da rotatória implantada e a interseção proposta, evidenciam melhora significativa na fluidez do tráfego na área e maior capacidade de operação, especialmente considerando as conversões à esquerda.

Com a IDD, notou-se o decréscimo no comprimento das filas formadas, um menor tempo de viagem e a experiência de um atraso total não elevado. Todavia, em decorrência da sua geometria e operação, a IDD criou uma situação inédita até então, a formação de filas em um dos sentidos de fluxo, mas que segundo as avaliações realizadas ainda garante um desempenho operacional mais eficiente se comparado ao cenário atual da rotatória.



Para complementar a análise da viabilidade da implementação da IDD, em substituição à rótula existente, procedeu-se com a comparação de cenários que avaliam sua operação no ano de abertura e no ano de projeto. O que em síntese revelou a tendência de se alcançar o limite da capacidade da interseção logo próximo ao ano de projeto. Logo, dessa avaliação entende-se que a proposta da IDD irá favorecer a capacidade de fluidez no tráfego até um médio prazo, e do longo prazo em diante, passado o ano de projeto, a interseção estaria sujeita a experimentar defasagem operacional. Todavia, é salutar destacar que o aumento da frota está vinculado às variáveis de difícil previsão, a exemplo do contexto econômico, o que poderia implicar até mesmo em uma planificação da curva de crescimento da frota.

Por fim, em um apanhado geral e contextualizando a hipótese formulada para este estudo de viabilidade, depreende-se que a IDD é uma solução viável, tanto no seu aspecto geométrico quanto no operacional. Entretanto, cabem as ressalvas quanto a operação após o ano de projeto. Em face da possibilidade de defasagem da operação, caberia avaliar alternativas de como redimensionar a operação da IDD para que a mesma possa atender as demandas de tráfego que venham a surgir, sempre almejando a elaboração de propostas que garantam um desempenho operacional eficiente.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a avaliação dos custos de implantação da proposta, estudo da viabilidade de outros tipos de interseções alternativas, estudos que mais aprofundados sobre os parâmetros geométricos de *Diverging Diamonds Interchanges - DDI no Brasil*, visando sua aplicação em outras localidades do país. Ademais, recomenda-se ainda um estudo abrangente em planejamento de transportes que analise a malha viária da Cidade de Macapá e que seja capaz de indicar o uso mais eficiente de suas vias e que tipos de interseções empregar onde existam gargalos viários.



8. LITERATURA CITADA

- [1]. Bastian Schroeder; Chris Cunningham; Brian Ray; Andy Daleiden; Pete Junior; Julia Knudsen; Kittelson & Associates, Inc. **Diverging Diamond Interchange Informational Guide**. Federal Highway Administration Office of Safety. U.S. Department of Transportation. August 2014.
- [2]. Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de projeto de interseções**. 2.ed. - Rio de Janeiro. 528p. (IPR. Publ., 718). 2005.
- [3]. BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Estudos de Tráfego**. Rio de Janeiro. 384 p. 2006.
- [4]. CHILUKURI, Venkata; SIROMASKUL, Smith; TRUEBLOOD, Michael; RYAN Tom. **Diverging Diamond Interchange Performance Evaluation**. HDR Engineering. February, 2011.
- [5]. CHLEWICKI, Gilbert. **New Interchange and Intersection Designs: The Synchronized Split-Phasing Intersection and the Diverging Diamond Interchange**. Transportation Engineer. 2nd Urban Street Symposium (Anaheim, California) — July 28-30, 2003.
- [6]. CHLEWICKI, Gilbert. **Should the Diverging Diamond Interchange Always Be Considered a Diamond Interchange Form?** Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2223, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 88–95. DOI: 10.3141/2223-11. 2011.
- [7]. CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito. Brasil. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Sinalização vertical de regulamentação / CONTRAN-DENATRAN**. 2ª edição – Brasília. CONTRAN, 220 p. 2007.
- [8]. CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito. Brasil. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Sinalização Horizontal / CONTRAN-DENATRAN**. 1ª edição – Brasília. CONTRAN, 128 p. 2007.
- [9]. CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito. **Resolução Nº 483, de 09 DE abril de 2014**. Aprova o Volume V – Sinalização Semafórica do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito e altera o Anexo da Resolução CONTRAN no 160, de 2004. Ministério das Cidades. 2014.
- [10]. DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito. **Estatísticas da Frota de Veículos**. Ministério da Infraestrutura. Disponível em <<https://infraestrutura.gov.br/component/content/article/115-portal-denatran/8552-estat%C3%ADsticas-frota-de-ve%C3%ADculos-denatran.html>>. Acesso em 09 de dezembro de 2019.
- [11]. EDARA, Praveen K., BARED, Joe G., JAGANNATHAN, Ramanujan. **Diverging Diamond Interchange and Double Crossover Intersection – Vehicle and Pedestrian Performance**. Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Polytechnic



Institute and State University. 2011.

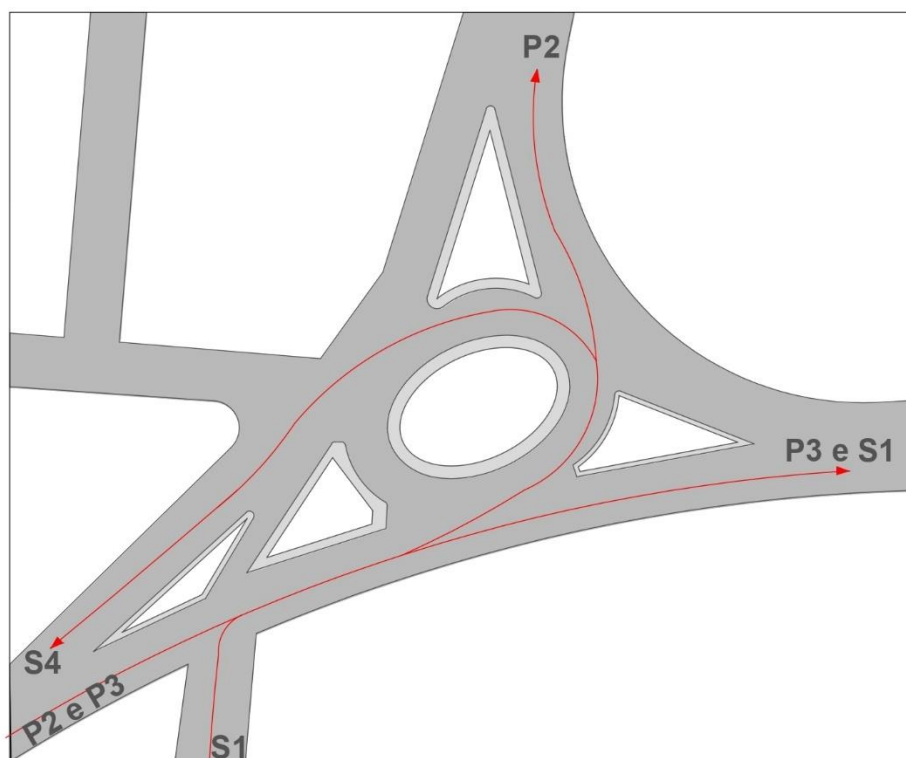
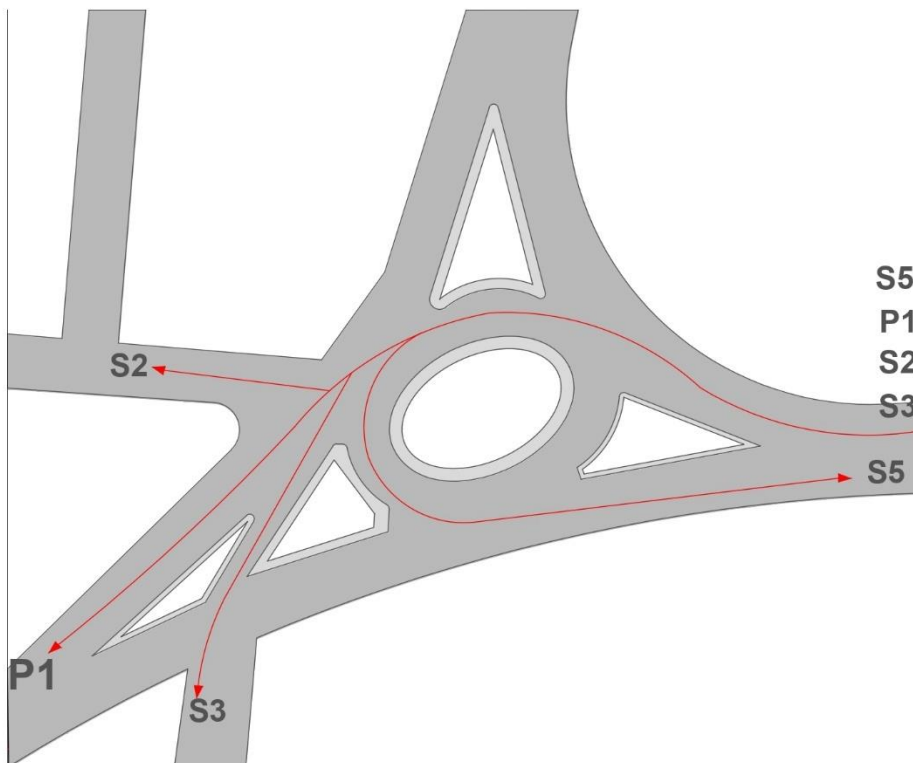
- [12]. GONDIM, Monica Fiuza. **Transporte Não Motorizado na Legislação Urbana no Brasil**. COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia de Transportes, 2001. Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2001.
- [13]. I-15 CORE Traffic Team; RASBAND, Eric; FORBUSH, Taylor; ASH, Kelly. **Udot Diverging Diamond Interchange (ddi) Observations and Experience**. Utah Department of Transportation. April, 2012.
- [14]. KHAN, Tahmina; ANDERSON, Michael. **Evaluating The Application Of Diverging Diamond Interchange In Athens, Alabama**. International Journal for Traffic and Transport Engineering. 6(1): 38 – 50, 2016.
- [15]. LEE, Shu Han. **Projeto Geométrico de Estradas**. Universidade Federal de Santa Catarina; Programa de Treinamento Engenharia Civil. Florianópolis. 2000.
- [16]. LEONG, Lee Vien; MAHDI, Mohammed Bally; CHIN, Kar Keong. **Microscopic Simulation on the Design and Operational Performance of Diverging Diamond Interchange**. 4th International Symposium of Transport Simulation-ISTS'14, 1-4, Corsica, France. June 2014.
- [17]. LOPES, Breno Castro. GIUBERTI, Heitor. **Aplicação Das Técnicas De Engenharia De Tráfego Para Análise E Melhoria De Uma Interseção Semaforizada**. Projeto de Pesquisa. Departamento de Engenharia de Produção, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo. 2011.
- [18]. MACAPÁ. **Lei Complementar Nº 26/2004-PMM, de 20 de Janeiro de 2004**. Institui O Plano Diretor De Desenvolvimento Urbano E Ambiental Do Município De Macapá E Dá Outras Providências. Prefeitura Municipal de Macapá. Macapá, 2004.
- [19]. MAIA, F. V. B. **Calibração e Validação de Modelos de Meso e Microssimulação do Tráfego para a Avaliação de Intervenções Tático-Operacionais na Malha Viária Urbana**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 104 fl. 2007.
- [20]. MARCUSSO, Lucas Galvão; SOLEK Marina Jaouhari. **Proposta De Remodelação De Uma Interseção Rodoviária Na Cidade De Curitiba/Pr Com Foco Na Segurança Dos Usuários E Na Capacidade De Tráfego**. Monografia. Departamento Acadêmico de Construção Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2018.
- [21]. NAS. National Academy Science of USA. **Highway Capacity Manual**. Transportation Research Board. National Reserach Council. Washington, DC. 2000.
- [22]. NCHRP - National Cooperative Highway Research Program. **Diverging Diamond Interchange Informational Guide**. Second Edition, National Academy of Sciences. 2021.
- [23]. OLIVEIRA, Raquel Silva. **Indicadores de Desempenho de Tráfego utilizando microssimulação: Estudo de caso das alterações viárias na região central da cidade do Rio de Janeiro**. Projeto de Graduação UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia Civil, 2014.



- [24]. PARK, Sung Jun. **Sensitivity Analysis Of Operational Performance Under Conventional Diamond Interchange And Diverging Diamond Interchange**. Masters of Science in the School of Civil and Environmental Engineering in the Georgia Institute of Technology. December, 2017.
- [25]. PEÑA, Carolina Cannella. **Análise da segurança viária em interseções nas rodovias federais de Santa Catarina**. Dissertação. Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 259 p. 2011.
- [26]. PEÑA, Carolina Cannella. **Análise Da Segurança Viária Em Interseções Nas Rodovias Federais De Santa Catarina**.
- [27]. PEREIRA, Djalma Martins; RATTON, Eduardo; BLASI, Gilza Fernandes; FILHO, Wilson Kuster. **Projeto Geométrico de Rodovias**. Universidade Federal Do Paraná Setor De Tecnologia Departamento De Transportes. Curitiba-PR. 2007.
- [28]. SERRA, Vânia Martins. **Indicadores para a Caracterização de Níveis de Segurança Rodoviária – Análise de Casos de Interseções**. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construção Urbana. Coimbra. Dezembro de 2014.
- [29]. SPETH, Steven B. **A Comparative Analysis of Diverging Diamond Interchange Operations**. HDR Engineering. Portland, OR, USA. 2008.
- [30]. VASCONCELOS, E. A. **Os Conflitos na Circulação Urbana: Uma Abordagem Política da Engenharia de Tráfego**. Companhia de Engenharia de Tráfego – São Paulo. Notas Técnicas. São Paulo - SP. 1982.
- [31]. VIANA, Gustavo Pereira. **Estudo De Tráfego: Análise De Uma Interseção Situada No Km 85 Da Br-356, Em Cachoeira Do Campo**. Monografia. Curso de Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. 2018.



APÊNDICE A – Diagrama dos movimentos pesquisados.





1) Dia 06/06/2019 – Parte 2

Horário	Movimento S5					
	VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP
7:00 às 7:15	2		1			4
7:15 às 7:30	6					6
7:30 às 7:45	2				3	5
7:45 às 8:00	9				2	11
8:00 às 8:15	4		1		1	7
8:15 às 8:30	6				3	9
8:30 às 8:45	10				2	12
8:45 às 9:00	2				1	3
9:00 às 9:15	3		1		1	6
9:15 às 9:30	4					4
9:30 às 9:45	3		1		2	7
9:45 às 10:00	4		1		4	10
16:00 às 16:15	4				3	7
16:15 às 16:30	5				1	6
16:30 às 16:45	3				2	5
16:45 às 17:00	6				1	7
17:00 às 17:15	5				1	6
17:15 às 17:30	4				2	6
17:30 às 17:45	10				1	11
17:45 às 18:00	9				3	12
18:00 às 18:15	5					5
18:15 às 18:30	6				2	8
18:30 às 18:45	5					5
18:45 às 19:00	9				3	12
					TOTAL	172

Movimento P1						
VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP	
94	6	1		44	247	
129	3	3		52	190	
135	4	2		69	213	
183	5	7		51	252	
187	5	20		60	285	
208	9	8		70	304	
188	12	4		61	273	
178	5	5		62	255	
185	7	6	1	57	264	
177	5	6	2	52	250	
159	8	7	1	41	225	
172	2	7	1	43	231	
215	2	3		60	283	
213	7	6		62	295	
22	5	10		62	107	
210	4	4		65	287	
234	7	5		57	309	
193	6	2	1	50	257	
214	6	1		56	281	
242	6	8		68	331	
260	5	1		84	353	
215	9	2		81	313	
219	5	4		48	281	
226	3	5		49	287	
				TOTAL	6367	

Movimento P2						
VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP	
78	1	1		44	125	
154	3	2		59	221	
221	2	2	1	63	292	
197	1			60	259	
217	2			69	289	
180	2	4		59	248	
177	1	7		64	253	
125	2	2		44	175	
141	3	3		64	214	
135	1	7		45	192	
136	2	3		40	184	
123	2	6		46	181	
153	2	2	1	54	215	
132	3	2		59	199	
133		9		56	203	
170	3	9	1	58	248	
151	1	5		54	214	
177	2	6		54	243	
162	2	6		70	244	
153	1	4		52	213	
165	2	4		53	227	
167	4	1		51	226	
156	1	3		55	217	
160	3	5		48	220	
				TOTAL	5299	

Movimento P3						
VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP	
180	9	5		46	247	
189	4	6		49	253	
181	5	8		44	245	
183	2	7	1	57	256	
164	5	6		56	237	
207	8	4		43	268	
221	5	3		58	291	
248	8	4		65	331	
234	5	2		71	316	
201	8	3	1	69	289	
224	4	5		56	294	
228	7	5		60	306	
166	2	6		37	215	
254	3	2		50	312	
332	6	1		67	410	
271	6	2		104	387	
266	5	3		100	378	
264	3	9		71	353	
233	10	4		65	319	
212	3	7		55	282	
218	8	5		72	310	
204	5	1	2	42	259	
204	5	6		44	265	
196	6	4		46	257	
				TOTAL	7075	



2) Dia 07/06/2019 – Parte 1

Horário	Movimento S1					
	VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP
7:00 às 7:15	11				5	16
7:15 às 7:30	16				12	28
7:30 às 7:45	29				16	45
7:45 às 8:00	35				22	57
8:00 às 8:15	46				22	68
8:15 às 8:30	50				31	81
8:30 às 8:45	36		1		21	59
8:45 às 9:00	49		2		16	68
9:00 às 9:15	35	1			7	44
9:15 às 9:30	26				16	42
9:30 às 9:45	29		3		15	49
9:45 às 10:00	27		2		8	38
16:00 às 16:15	25		2		20	48
16:15 às 16:30	29		2		17	49
16:30 às 16:45	24				16	40
16:45 às 17:00	23		1		12	37
17:00 às 17:15	25		1		15	42
17:15 às 17:30	46		1		19	67
17:30 às 17:45	41		1		23	66
17:45 às 18:00	52		4		36	94
18:00 às 18:15	21		2		32	56
18:15 às 18:30	35		1		20	57
18:30 às 18:45	31	1	1		18	52
18:45 às 19:00	21				18	39
TOTAL						1238

Movimento S2						
VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP	
19				13	32	
19	1			11	32	
20		1		4	26	
20				10	30	
23				14	37	
28		1		15	45	
29				11	40	
28		3		16	49	
17		1		10	29	
38				12	50	
25		2		14	42	
25		1		14	41	
33		2		14	50	
34		1		17	53	
32		1		16	50	
34		1		12	48	
31				14	45	
43		1		20	65	
42		1		18	62	
33				19	52	
39		2		21	63	
32				17	49	
45		1		17	64	
38		1		16	56	
TOTAL					1104	

Movimento S3						
VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP	
5				4	9	
8				1	9	
7				3	10	
10		1		3	15	
13	1			6	21	
8				2	10	
22				2	24	
11				4	15	
10				3	13	
8				5	13	
14		1		7	23	
15		1		7	24	
15		1		10	27	
12				12	24	
9				5	14	
12				4	16	
15				7	22	
14				6	20	
7				11	18	
11				9	20	
8				4	12	
10				8	18	
12				6	18	
9				4	13	
TOTAL					406	

Movimento S4						
VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP	
7				4	11	
4	2			3	10	
13	1			3	18	
11	1			3	16	
11	1			3	16	
10	1			6	18	
13	1	1		4	20	
13	1			3	18	
10	1			4	16	
12	1			6	20	
6	1	1		5	14	
17				3	20	
21				2	23	
16	1			4	22	
13				6	19	
14	1			6	22	
5	1			5	12	
23	1			13	38	
21	1			5	28	
14				7	21	
25	1			7	34	
33	1			11	46	
23				10	33	
24	1			5	31	
TOTAL						519



2) Dia 07/06/2019 – Parte 2

Horário	Movimento S5					
	VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP
7:00 às 7:15	2				1	3
7:15 às 7:30	1				1	2
7:30 às 7:45	2					2
7:45 às 8:00	6					6
8:00 às 8:15	3					3
8:15 às 8:30	5				1	6
8:30 às 8:45	1					1
8:45 às 9:00	5					5
9:00 às 9:15	6					6
9:15 às 9:30	9		1			11
9:30 às 9:45	7					7
9:45 às 10:00	7				2	9
16:00 às 16:15	4				1	5
16:15 às 16:30	5				3	8
16:30 às 16:45	9				2	11
16:45 às 17:00	11		1		4	17
17:00 às 17:15	6					6
17:15 às 17:30	6		1		2	10
17:30 às 17:45	4				2	6
17:45 às 18:00	6				2	8
18:00 às 18:15	6				1	7
18:15 às 18:30	6					6
18:30 às 18:45	7				4	11
18:45 às 19:00	6				3	9
					TOTAL	164

Movimento P1						
VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP	
70	6			51	191	
109	6	1		47	167	
125	4	2		39	173	
188	6	5		32	237	
175	7	5		50	243	
165	9	5		58	244	
198	10	8		41	266	
177	4	10	2	44	246	
170	7	5		45	233	
195	4	4		53	260	
193	8	5	1	49	264	
191	7	5	1	52	263	
216	4	7		95	328	
202	6	7		82	304	
206	7	5		65	289	
271	4	4		70	353	
191	4	3		62	264	
215	7	6		71	306	
232	5	3	1	73	319	
186	7	8		91	300	
224	5	3		75	311	
219	6	3		81	314	
225	9	5	1	90	338	
235	4	3		78	324	
				TOTAL	6532	

Movimento P2						
VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP	
76	1	1		36	115	
161	3	2	1	43	214	
192	1	2		56	253	
203	1	1		57	263	
191	2	2		53	250	
204	2	3		50	262	
175	2	6		46	233	
157	3	7		41	213	
155	3	7		33	203	
134	1	3		59	199	
155	3	5		46	213	
128	1	6		40	179	
145	2	2	1	57	210	
140	1	7		43	195	
165	1	2	1	54	226	
135	3	6		58	207	
162	2	5		66	239	
170	1	7		56	238	
169		8		51	232	
186	2	9	1	65	270	
169	2	6		71	252	
170	3	7		53	238	
164	2	2		58	228	
134	2	5		53	198	
				TOTAL	5326	

Movimento S4						
VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP	
141	5	1		41	191	
190	3	1		44	240	
267	7	2		48	329	
256	6	2		81	349	
285	6	2		88	385	
279	4	2	1	73	363	
237	7	3		56	308	
238	3	8		54	309	
240	5	6		48	305	
216	8	4		54	288	
176	4	7		52	245	
187	5	5		62	264	
187	6	8		38	246	
179	4	8		61	258	
193	4	7		51	261	
192	3	3	1	47	250	
196	6	8		56	273	
201	6	2		77	290	
212	3	6		67	293	
240	7	6		85	345	
215	5	5		68	298	
200	3	3		75	284	
232	4	2		65	306	
210	7	2		50	274	
				TOTAL	6950	



3) Dia 10/06/2019 – Parte 1

Horário	Movimento S1					
	VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP
7:00 às 7:15	21				13	34
7:15 às 7:30	27				14	41
7:30 às 7:45	47		1		38	87
7:45 às 8:00	51				38	89
8:00 às 8:15	55				29	84
8:15 às 8:30	47				19	66
8:30 às 8:45	35		1		19	56
8:45 às 9:00	23		1		20	45
9:00 às 9:15	27				13	40
9:15 às 9:30	29				25	54
9:30 às 9:45	25		3		19	49
9:45 às 10:00	21		2		15	39
16:00 às 16:15	23		1		14	39
16:15 às 16:30	30		1		18	50
16:30 às 16:45	15		2		12	30
16:45 às 17:00	28		1		11	41
17:00 às 17:15	33		2		16	52
17:15 às 17:30	44		2		27	74
17:30 às 17:45	54		2		30	87
17:45 às 18:00	61		2		32	96
18:00 às 18:15	44		3		31	80
18:15 às 18:30	51		1		25	78
18:30 às 18:45	29	1	1		28	60
18:45 às 19:00	37				19	56
TOTAL						1423

VP	Movimento S2					
	O	C	SR/RE	M	T. UCP	
18				6	24	
23				11	34	
26				12	38	
22				19	41	
34		2		16	53	
24		1		9	35	
23				16	39	
31		2		8	42	
28		1		13	43	
14				6	20	
26				18	44	
24				12	36	
32				10	42	
41				12	53	
30				14	44	
41		2		17	61	
45		1		17	64	
31				12	43	
40				18	58	
37				8	45	
34				19	53	
45				27	72	
48				17	65	
39				20	59	
TOTAL					1107	

VP	Movimento S3					
	O	C	SR/RE	M	T. UCP	
9				5	14	
11				9	20	
14				9	23	
17				5	22	
13				5	18	
7					7	
10		2		10	23	
16				12	28	
7				6	13	
9				2	11	
9				6	15	
11				5	16	
7				5	12	
11				8	19	
19				4	23	
12				10	22	
19				4	23	
18				8	26	
20				6	26	
16				9	25	
12				4	16	
11				5	16	
11				4	15	
8				6	14	
TOTAL					447	

VP	Movimento S4					
	O	C	SR/RE	M	T. UCP	
14				4	18	
9	1			7	18	
12	1			8	22	
8	1			5	15	
18				5	23	
25	1	1		8	36	
18	1			6	26	
24				12	36	
31	1			13	46	
29	1			13	44	
24	1			10	36	
24	1			7	33	
14				5	19	
12	1			6	20	
11	1			7	20	
8	1			5	15	
18				5	23	
25	1	1		8	36	
18	1			6	26	
24				12	36	
31	1			13	46	
29	1			13	44	
24	1			10	36	
24	1			7	33	
TOTAL					699	



3) Dia 10/06/2019 – Parte2

Horário	Movimento S5					T. UCP
	VP	O	C	SR/RE	M	
7:00 às 7:15	5					5
7:15 às 7:30	4				1	5
7:30 às 7:45	6				2	8
7:45 às 8:00	5				1	6
8:00 às 8:15	5				1	6
8:15 às 8:30	5				2	7
8:30 às 8:45	10				1	11
8:45 às 9:00	7					7
9:00 às 9:15	4				2	6
9:15 às 9:30	7					7
9:30 às 9:45	8				3	11
9:45 às 10:00						0
16:00 às 16:15	5				3	8
16:15 às 16:30	3				1	4
16:30 às 16:45	4				2	6
16:45 às 17:00	5				1	6
17:00 às 17:15	5				1	6
17:15 às 17:30	5				2	7
17:30 às 17:45	10				1	11
17:45 às 18:00	8				3	11
18:00 às 18:15	7					7
18:15 às 18:30	4				2	6
18:30 às 18:45	7					7
18:45 às 19:00	8				3	11
TOTAL						169

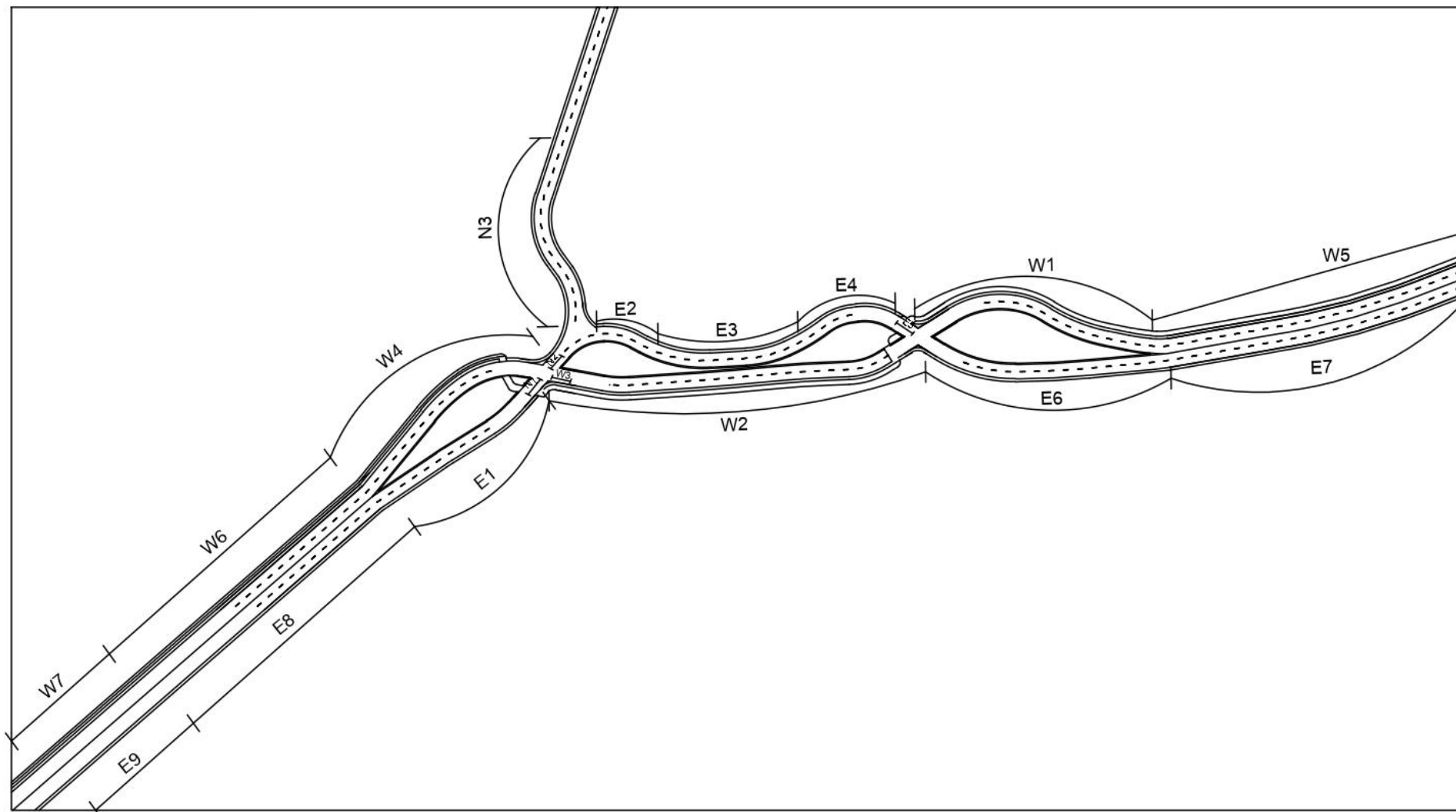
VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP
89	4	2		41	215
132	2	4		54	195
140	3	2		71	219
190	7	4		53	260
201	3	5	1	57	272
213	7	5		71	302
197	10	2		65	280
186	4	6		73	274
196	7	7	1	62	281
182	7	5		59	259
163	8	7	1	41	229
181	5	4	1	54	251
210	3	1		64	280
213	4	3		71	295
217	2	4		62	288
202	8	3		60	279
201	4	6		79	295
219	7	5		61	298
247	7	3	1	68	332
237	7	2		70	321
219	4	1		83	310
206	5	4	1	84	306
272	7	1		73	357
239	4	1		77	324
TOTAL					6717

VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP
81	2	1		46	132
149	3	1		49	204
208	3	2		61	277
186		1		58	246
210	2			72	285
191	3	3		62	262
167	1	3		58	231
143	2	7		53	210
155	3	2		56	219
146	2	4		49	204
143	3	3		44	196
135	1	3		50	191
118	3	4		54	183
136	4	3		48	195
114	2	5		59	184
159	2	7	1	61	236
162	1	7		49	223
185	2	4	1	53	249
162		5		46	216
153	2	2		66	225
166	3	2		64	238
155	2	1		54	214
149	3	1		47	202
169	2	1		53	227
TOTAL					5243

VP	O	C	SR/RE	M	T. UCP
164	3	4		40	215
247	2	1		48	300
259	5	3		57	328
246	7	1		86	344
237	4	4		91	340
261	3	7	1	75	353
243	8	5		62	325
215	4	7		57	289
204	5	6		69	290
210	7	3	1	50	277
199	4	8		48	265
195	7	5		43	256
207	2	9		49	273
183	3	7		61	259
212	5	6		56	285
216	3	5	1	64	294
254	5	2		62	327
266	8	5		66	352
245	5	4		72	331
204	4	2		61	274
219	2	1		76	300
195	7	1		54	261
210	8	3		56	283
198	5	2		51	260
TOTAL					7075



APÊNDICE C – Estradas do Modelo da Interseção Diamante Divergente





APÊNDICE D – Estradas no modelo da Rotatória

