

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**HUDYALLISON BRAGA PEREIRA
LUCIA GABRIELA PEREIRA BAIDO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA MELHORIA DA CAPACIDADE DA
INTERSEÇÃO ENTRE A AVENIDA JUSCELINO KUBITSCHEK DE OLIVEIRA E A
RUA EDUARDO SPRADA, EM CURITIBA/PR**

CURITIBA

2022

**HUDYALLISON BRAGA PEREIRA
LUCIA GABRIELA PEREIRA BAIDO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA MELHORIA DA CAPACIDADE DA
INTERSEÇÃO ENTRE A AVENIDA JUSCELINO KUBITSCHEK DE OLIVEIRA E A
RUA EDUARDO SPRADA, EM CURITIBA/PR**

**Investigation about the technical feasibility of improvement in the capacity of
the intersection between the Juscelino Kubitschek de Oliveira Avenue and the
Eduardo Sprada Street, in Curitiba/PR**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Professor Dr. Matheus David Inocente
Domingos.

CURITIBA

2022



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**HUDYALLISON BRAGA PEREIRA
LUCIA GABRIELA PEREIRA BAIDO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA MELHORIA DA CAPACIDADE DA
INTERSEÇÃO ENTRE A AVENIDA JUSCELINO KUBITSCHEK DE OLIVEIRA E A
RUA EDUARDO SPRADA, EM CURITIBA/PR**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Professor Dr. Matheus David Inocente
Domingos.

Data de aprovação: 02/dezembro/2022

Matheus David Inocente Domingos
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Clarice Farian de Lemos
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jorge Tiago Bastos
Doutorado
Universidade Federal do Paraná

**CURITIBA
2022**

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus, por nos sustentar até aqui.

Agradecemos ao nosso orientador Prof. Dr. Matheus David Inocente Domingos, pelo incentivo e apoio durante todo o desenvolvimento do projeto.

Aos demais professores que nos instruíram durante toda a graduação e forneceram todas as bases necessárias para a realização deste trabalho.

À gloriosa Universidade Tecnológica Federal do Paraná, a qual nos possibilitou desenvolvermos nossas capacidades intelectuais através de professores dedicados e capacitados. Viva a universidade pública brasileira.

Aos nossos pais, nossos maiores incentivadores para a realização deste sonho. Por toda dedicação, ajuda, cuidado e carinho que nos deram durante toda a nossa existência e, principalmente, durante todo o período da graduação, muito obrigado.

Gostaríamos de deixar registrado também, o nosso reconhecimento às nossas famílias, que sempre nos apoiaram em nossa trajetória.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

O crescimento contínuo das populações urbanas – sobretudo nas grandes cidades e nas capitais de estado – tem demandado cada vez mais soluções de mobilidade e revitalização das interseções em nível no sistema viário. Tais interseções constituem locais onde se registram os maiores congestionamentos e índices de acidentes, tendo em vista suas peculiaridades e pontos de conflito de tráfego. Especificamente no caso de Curitiba/PR, a interseção em nível localizada entre a Rua Eduardo Sprada e a Avenida Juscelino Kubitschek de Oliveira (JK) tem sido um ponto recorrente de congestionamentos e acidentes, o que demanda intervenções para aumentar sua capacidade e melhorar o nível de serviço aos usuários. Neste sentido, o estudo em questão contempla uma análise de viabilidade técnica da implantação de uma interconexão do tipo giratório no local, unificando as duas pistas da Avenida JK e removendo os semáforos atualmente existentes no local. Contagens de tráfego e de pedestres feitas pela Empresa MOBPLAN Engenharia foram adotadas como um ponto de partida para estimativa dos fluxos veiculares e de pedestres nos anos de 2027 e 2032. Projeções lineares de crescimento das frotas de veículos e da população de Curitiba/PR serviram de base para calcular os fluxos de veículos e de pedestres em ambos os anos de projeto. O método analítico de cálculo de capacidade de rótulas estabelecido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) foi adotado na pesquisa, e simulações de tráfego feitas no *software* AIMSUN também foram conduzidas. Em linhas gerais, a interconexão aqui proposta não atende aos requisitos mínimos de capacidade e nível de serviço segundo os cálculos recomendados pelo DNIT, tendo em vista que duas de suas aproximações terão um nível de serviço igual a “F” em 2027 e 2032. Em termos dos dados obtidos no AIMSUN, observou-se velocidades médias baixas para os fluxos de tráfego e longos tempos médios de espera e de atraso – sobretudo no ano de 2032. Desta forma, sugere-se a implantação de interconexões entre a Rua Eduardo Sprada e cada uma das pistas da Avenida JK para fins de resolução (ou, ao menos, uma minimização) dos congestionamentos enfrentados pelos motoristas.

Palavras-chave: giratório; rótula; simulação de tráfego; capacidade; nível de serviço.

ABSTRACT

The continuous growth of urban population – mainly in big cities and state capitals – have requested even more mobility solutions and renovation of in-level intersections in the road network. Due to their inherent characteristics and traffic conflicts, these intersections are mainly responsible for the traffic jams and accident levels. Specifically with respect to the city of Curitiba/PR, the in-level intersection between the Eduardo Sprada Street and the Juscelino Kubitschek de Oliveira (JK) Avenue has been constantly registering traffic jams and accidents. Hence, renovations are required to increase its capacity and improve the level of service to the users. In this manner, the present study aimed at analyzing the technical feasibility of the construction of a roundabout interchange in the intersection, thereby merging the two sides of the JK Avenue into only one intersection and removing the current stoplights. Traffic and pedestrian counting made by MOBPLAN Engenharia was used as a starting point to estimate the traffic and pedestrian flows in the years of 2027 and 2032. Linear regression trendlines were adopted to calculate the growth rates of vehicles and urban population of Curitiba/PR in each design year. The analytical method of calculation of capacity and level of service of roundabouts prescribed by the National Department of Transport Infrastructure (DNIT, in Portuguese) was applied in the investigation, and traffic simulations were performed in the AIMSUN software. In general, the proposed roundabout interchange is not technically feasible due to the insufficient capacity and poor level of service – two approaches will show a level of service equal to “F” in 2027 and 2032. In terms of the data obtained by the AIMSUN software, it was observed low average traffic speeds, as well as long average waiting and delay times – mainly in 2032. Therefore, individual interchanges between the Eduardo Sprada Street and each side of the JK Avenue are recommended to solve (or at least to minimize) the traffic jams faced by the users.

Keywords: roundabout interchange; roundabout; traffic simulation; capacity; level of service.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Interseção tipo D (rótula).....	21
Figura 2 - Elementos de projeto de uma rotatória moderna.....	25
Figura 3 - Detalhes geométricos da entrada das rótulas urbanas.....	28
Figura 4 - Detalhes geométricos da ilha divisória das rótulas urbanas.....	30
Figura 5 - Pontos de conflito em rótulas convencionais de várias faixas e em turbo-rotatórias.....	33
Figura 6 - Tipos de movimentos nas interseções.....	35
Figura 7 - Tipos de conflitos de tráfego.....	36
Figura 8 - Interseção em nível do tipo rótula.....	38
Figura 9 - Interconexão do tipo giratório.....	38
Figura 10 - Recomendações de interconexões em função das vias interceptantes.....	40
Figura 11 - Interseção entre a Avenida JK e a Rua Eduardo Sprada, em Curitiba/PR.....	45
Figura 12 - Esboço para a proposta de interconexão do tipo giratório entre a Avenida JK e a Rua Eduardo Sprada, em Curitiba/PR.....	47
Figura 13 - Fluxos de tráfego e de pedestres na rótula e em suas respectivas entradas.....	49
Figura 14 - Fator de redução (f_i) para considerar a influência da travessia de pedestres de uma entrada com duas faixas de tráfego a uma rótula com duas faixas de tráfego.....	51
Figura 15 - Tempo médio de espera na entrada da rótula e respectivo nível de serviço.....	52
Figura 16 - Tela do simulador AIMSUN para a interseção proposta neste estudo.....	53
Figura 17 - Esboço de projeto para a rotatória moderna sugerida neste trabalho.....	55
Figura 18 - Evolução da frota de veículos na cidade de Curitiba, com destaque para a linha de tendência (cor vermelha) e os dados reais (cor azul).....	56
Figura 19 - Evolução do crescimento populacional na cidade de Curitiba/PR, com destaque para a linha de tendência (cor vermelha) e os dados reais (cor azul).....	57
Figura 20 - Movimentos atualmente permitidos na marginal leste da Avenida JK.....	59
Figura 21 - Movimentos atualmente permitidos na marginal oeste da Avenida JK.....	59
Figura 22 - Números adotados para cada aproximação na rotatória proposta neste estudo.....	60
Figura 23 - Fluxos de veículos para a aproximação 1 e no ano de 2027.....	75
Figura 24 - Tempo de atraso na aproximação 1 e no ano de 2027.....	75
Figura 25 - Tempo médio de espera na aproximação 1 e no ano de 2027.....	76
Figura 26 - Velocidade média dos veículos na aproximação 1 e no ano de 2027.....	76
Figura 27 - Fluxos de veículos para a aproximação 2 e no ano de 2027.....	77
Figura 28 - Tempo de atraso na aproximação 2 e no ano de 2027.....	77
Figura 29 - Tempo médio de espera na aproximação 2 e no ano de 2027.....	78

Figura 30 - Velocidade média dos veículos na aproximação 2 e no ano de 2027	78
Figura 31 - Fluxos de veículos para a aproximação 3 e no ano de 2027	79
Figura 32 - Tempo de atraso na aproximação 3 e no ano de 2027	79
Figura 33 - Tempo médio de espera na aproximação 3 e no ano de 2027	80
Figura 34 - Velocidade média dos veículos na aproximação 3 e no ano de 2027	80
Figura 35 - Fluxos de veículos para a aproximação 4 e no ano de 2027	81
Figura 36 - Tempo de atraso na aproximação 4 e no ano de 2027	81
Figura 37 - Tempo médio de espera na aproximação 4 e no ano de 2027	82
Figura 38 - Velocidade média dos veículos na aproximação 4 e no ano de 2027	82
Figura 39 - Fluxos de veículos para a aproximação 1 e no ano de 2032	83
Figura 40 - Tempo de atraso na aproximação 1 e no ano de 2032	83
Figura 41 - Tempo médio de espera na aproximação 1 e no ano de 2032	84
Figura 42 - Velocidade média dos veículos na aproximação 1 e no ano de 2032	84
Figura 43 - Fluxos de veículos para a aproximação 2 e no ano de 2032	85
Figura 44 - Tempo de atraso na aproximação 2 e no ano de 2032	85
Figura 45 - Tempo médio de espera na aproximação 2 e no ano de 2032	86
Figura 46 - Velocidade média dos veículos na aproximação 2 e no ano de 2032	86
Figura 47 - Fluxos de veículos para a aproximação 3 e no ano de 2032	87
Figura 48 - Tempo de atraso na aproximação 3 e no ano de 2032	87
Figura 49 - Tempo médio de espera na aproximação 3 e no ano de 2032	88
Figura 50 - Velocidade média dos veículos na aproximação 3 e no ano de 2032	88
Figura 51 - Fluxos de veículos para a aproximação 4 e no ano de 2032	89
Figura 52 - Tempo de atraso na aproximação 4 e no ano de 2032	89
Figura 53 - Tempo médio de espera na aproximação 4 e no ano de 2032	90
Figura 54 - Velocidade média dos veículos na aproximação 4 e no ano de 2032	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características básicas dos tipos de rótulas	26
Tabela 2 - Dimensões de giro necessárias para rótulas urbanas de uma faixa	27
Tabela 3 - Principais dimensões básicas dos veículos de projeto	37
Tabela 4 - Fatores de equivalência veicular na rótula e em unidades de carros de passeio (UCP).....	49
Tabela 5 - Níveis de serviço em função dos tempos médios de espera na rótula	52
Tabela 6 - Fluxos por movimento (em UCP/h) e no ano de 2027	58
Tabela 7 - Fluxos por movimento (em UCP/h) e ano de 2032.....	58
Tabela 8 - Variáveis para determinação do nível de serviço na rótula e no ano de 2027	61
Tabela 9 - Variáveis para determinação do nível de serviço na rótula e no ano de 2032.....	61
Tabela 10 – Resultados obtidos com a simulação no AIMSUN e para o ano de 2027	62
Tabela 11 – Resultados obtidos com a simulação no AIMSUN e para o ano de 2032	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDETRAN	Associação Nacional dos Departamentos Estaduais de Trânsito
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIMSUN	<i>Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks</i>
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
BPTran	Batalhão de Polícia de Trânsito
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CORSIM	<i>Corridor Simulation</i>
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito do Paraná
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
HCM	<i>Highway Capacity Manual</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INIR	Instituto Nacional de Infra-Estruturas Rodoviárias de Portugal
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
IPPUC	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
JK	Juscelino Kubitschek de Oliveira
NBR	Norma Brasileira Registrada
NS	Nível de serviço
SUMO	<i>Simulation of Urban Mobility</i>
TME	Tempo Médio de Espera
TMER	Tempo Médio de Espera da Rótula

TSS	<i>Transport Simulation Systems</i>
UCP	Unidade de Carros de Passeio
UP	Universidade Positivo
VISSIM	<i>Verkehr In Städten - SIMulationsmodell</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	Justificativas	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Engenharia de Tráfego	18
2.2	Trânsito e Vias	19
2.3	Sinistros de Trânsito e Interseções	20
2.4	Rótulas	21
2.4.1	Fundamentação Teórica e Definições	22
2.4.2	Princípios Operacionais.....	23
2.4.3	Características Típicas De Projeto	24
2.4.4	Cálculos de Capacidade.....	30
2.4.5	Nível de Serviço.....	32
2.4.6	Variações de interseções do tipo rótula.....	32
2.5	Seleção de Interseções em Nível e Interconexões	34
2.5.1	Veículos de Projeto.....	36
2.5.2	Parâmetros básicos	37
2.5.3	Critérios adotados pelo DNIT para escolha de interconexões.....	39
2.6	Simulação de Tráfego	41
2.7	Planejamento Urbano	43
3	METODOLOGIA	45
3.1	Descrição da Interseção	45
3.2	Situação Atual da Interseção e Proposta para a Nova Interseção	46
3.3	Contagem de Tráfego	47
3.4	Capacidade e Nível de Serviço da Rótula Segundo o DNIT	48
3.5	Simulações de Tráfego no AIMSUN	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1	Projeção de Crescimento da Frota e População	56
4.2	Capacidades e Níveis de Serviço para os Anos de Projeto	57
4.3	Simulações de Tráfego e Principais Resultados	62
5	CONCLUSÕES	64

REFERÊNCIAS.....	66
APÊNDICE A - Detalhamento do projeto da rótula sugerido para o local.....	72
APÊNDICE B - <i>Print Screens</i> das telas do simulador AIMSUN para cada uma das entradas da interseção proposta para o local	74

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional de uma cidade demanda soluções de mobilidade não só para o deslocamento das pessoas de um ponto a outro, mas também para o fluxo de cargas entre cidades, estados e países diferentes. As concentrações populacionais em grandes centros urbanos brasileiros trazem desafios para os profissionais da área de Engenharia de Transportes. A capital paranaense, por exemplo, tem uma densidade demográfica de 4.027,04 hab/km² segundo dados publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o que a posiciona como a maior densidade do estado do Paraná e a vigésima segunda maior do Brasil. Tendo ciência da importância da infraestrutura de transportes para o desenvolvimento da região em que se encontram, é notável que um dos grandes obstáculos para o desenvolvimento da economia brasileira e da qualidade de vida da população é justamente a falta desta infraestrutura.

Segundo Campolina e Diniz (2014), o Brasil optou pelo transporte rodoviário como prioridade no deslocamento de cargas e pessoas desde os anos 1960. No entanto, não proporcionou as condições necessárias para tais deslocamentos – ou seja, uma rede rodoviária suficiente para facilitar a integração entre todas as regiões do País. Dentro do contexto urbano, observa-se uma série de conflitos que se tornam mais evidentes quando são analisadas as vias de circulação, nas quais veículos motorizados de todo tipo disputam espaço com pedestres e ciclistas (SILVA JÚNIOR e FERREIRA, 2008). Segundo o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC, 1991), somam-se aos fluxos de natureza intra-urbana os fluxos de natureza interurbana, os quais se utilizam das vias como vias de articulação de tráfego. Desta forma, os veículos que transitam por um local não se resumem apenas à frota daquela localidade, sofrendo assim a influência de veículos passantes de diversas origens.

O Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 1997) classifica as vias urbanas em quatro categorias, sendo elas: trânsito rápido, arteriais, coletoras e locais. Já em relação às rodovias, o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER, 1999) as subdivide em classes desde zero até IV, cada uma contendo requisitos específicos associados a parâmetros como a velocidade de projeto. Essas vias de circulação podem se interceptar de alguma maneira (cruzamento, entroncamento ou confluência), formando assim as interseções. Por sua vez, estas interseções podem

ser enquadradas em dois grupos: interseções em nível e interseções em níveis diferentes ou interconexões.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2005) define as interseções em nível em função do número de ramos, das soluções adotadas e do controle de sinalização. No caso das interseções em níveis diferentes, estas podem apresentar ramos de acesso de uma via para outra, permitindo assim a entrada e a saída de veículos. A escolha do melhor tipo de interseção para um determinado local deve considerar aspectos como as velocidades e as classificações das vias, a topografia, as construções vizinhas, as questões econômicas e os totais de sinistros de trânsito registrados neste mesmo local. Em qualquer caso, o projeto da interseção deve reduzir o número de pontos de conflito – locais em que as correntes de tráfego se interceptam – a um número mínimo possível, aumentando assim a segurança do local.

O Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005) estabelece que as interseções constituem elementos de descontinuidade em qualquer rede viária e, portanto, representam situações críticas e que devem ser tratadas de forma especial. O projeto final da interseção deve assegurar a circulação ordenada dos veículos e, ao mesmo tempo, manter um nível mínimo de serviço aos usuários e garantir segurança nas áreas em que as suas correntes de tráfego sofrem a interferência de outras correntes – sejam elas internas ou externas. É importante ressaltar que não existe um método nacional único e que indique com precisão qual tipo de interseção utilizar em ambientes urbanos, apenas sugestões gerais em ábacos publicados na literatura (ALBANO, 2007; DNIT, 2005).

Sob um ponto de vista de projeto, geralmente é feita uma estimativa do tráfego passante na interseção até o 10º ano (DNIT, 2005). No entanto, outros manuais como o publicado pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 1991) estipulam um horizonte de projeto de cinco anos para o tráfego passante em interseções urbanas. Em qualquer um dos casos, os elementos da interseção são dimensionados para este volume de projeto e para um veículo de projeto. Na prática, muitos eventos podem acontecer até a chegada do ano de projeto tais como uma maior circulação de veículos e de pedestres do que o estimado nos cálculos, o que aumenta as probabilidades de ocorrência de sinistros de trânsito e congestionamentos no local. Neste aspecto, soluções como rótulas e minirrotatórias (LEITE e SILVA, 2015; MONTALVÃO, 2010), semáforos (WESSELING, 2018) e

interconexões (REDAÇÃO, 2021; SOUSA, 2018) podem ser adotadas em uma ou mais interseções urbanas para atendimento aos fluxos de tráfego cada vez maiores em grandes cidades brasileiras.

Especificamente no caso de Curitiba/PR, cidade reconhecida internacionalmente pelas suas soluções em transporte público, há inúmeras interseções nas quais a configuração atual não é mais adequada para o tráfego corrente de veículos. Uma delas é o cruzamento entre a Avenida Juscelino Kubitschek de Oliveira (JK) e a Rua Eduardo Sprada, bairro Cidade Industrial de Curitiba. O local é atualmente semaforizado e, em uma pesquisa anterior conduzida por Solek e Marcusso (2018), buscou-se uma alternativa de substituição dos semáforos por rótula. Apesar de a rótula não ter sido classificada como tecnicamente viável para o local devido ao fluxo elevado de veículos, enfatiza-se que o estudo dos autores se restringiu a uma das pistas da Avenida JK, e não às duas pistas dessa avenida. Considerando que os problemas de congestionamento e sinistros de trânsito ainda persistem na região, torna-se importante a busca por mais alternativas que permitam um aumento de capacidade e uma maior segurança viária.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade técnica da implantação de uma interconexão do tipo “giratório” para melhoria da capacidade no cruzamento entre as duas pistas da Avenida JK e a Rua Eduardo Sprada, situado no bairro Cidade Industrial de Curitiba.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um anteprojeto no programa computacional *AutoCAD* e que contenha todos os elementos geométricos relacionados à interconexão proposta, tais como larguras de faixas, diâmetro da ilha central circular e largura da pista rotatória; e
- Estimar as capacidades de tráfego e os níveis de serviço em cada uma das entradas e saídas da interconexão, considerando o protocolo de cálculo estipulado no Manual de Projeto de Interseções do DNIT (2005).

- Simular a interconexão proposta em um *software* de simulação de tráfego, almejando a coleta de resultados de desempenho da nova interseção e analisando-os em conjunto com os resultados analíticos das equações e ábacos padronizados pelo Manual de Projeto de Interseções do DNIT (2005).

1.2 Justificativas

As interseções consistem em pontos de muitos conflitos no sistema viário. Segundo Coelho (2012), um bom projeto geométrico urbano deverá considerar a resolução ou mitigação desses conflitos, evitando a redução da capacidade da via em função de retenções ou congestionamentos. Constata-se que, nas interseções em nível, há mais possibilidades de ocorrências de conflitos que nas interconexões. Desta maneira, os projetos de interseções devem ser capazes de sanar e suprir as demandas da mesma, visando atenuar as consequências negativas dos pontos de conflito como sinistros de trânsito e congestionamentos.

Considerando o exposto acima, é possível incluir os sinistros de trânsito e os congestionamentos dentro da problemática do grande número de pontos de conflito em interseções. A NBR 10697 (ABNT, 2020) define o sinistro de trânsito como sendo um evento que ocasiona danos ao veículo ou à sua carga, podendo também causar prejuízos ao trânsito, à via ou ao meio ambiente – além de lesões em pessoas e/ou animais. De acordo com Pietrantonio (1991), uma situação de conflito de tráfego pode incluir componentes do sistema viário ou outros não diretamente relacionados a este sistema, ainda que os conflitos entre usuários sejam os mais frequentes nas interseções. Especificamente no caso da interseção entre a Rua Eduardo Sprada e a Avenida JK, Solek e Marcusso (2018) obtiveram dados do Batalhão de Polícia de Trânsito de Curitiba (BPTran) e identificaram 46 sinistros no local entre 2011 e 2017, sendo 32 deles com vítimas e 14 sem vítimas. Além disso, o IPPUC (2020) relata em seu mapa interativo que três vítimas fatais de sinistros de trânsito foram identificadas nessa interseção entre os anos de 2010 e 2020, incluindo colisões e atropelamentos.

Além dos riscos aos pedestres e motoristas, as paralisações e o fluxo lento do trânsito também causam desperdício de tempo e dinheiro aos usuários. Um estudo conduzido por Rolli (2019) a partir de dados da Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) estimou em R\$ 483,3 bilhões – ou seja, quase meio bilhão de reais – os custos socioeconômicos da mobilidade urbana no ano de 2016. Isto ocorre porque, segundo Resende e Sousa (2009), as pessoas com maior poder

aquisitivo tendem a utilizar cada vez mais veículos particulares em detrimento do transporte público, tendo em vista o conforto e a comodidade proporcionados pelo veículo próprio. A título de exemplo, dados publicados pelo Departamento Estadual de Trânsito do Paraná (DETRAN-PR, 2007, 2022a) indicaram um crescimento de aproximadamente 155% no número de veículos registrados no município de Curitiba entre janeiro/2007 e janeiro/2022. Conseqüentemente, essa preferência leva a um conglomerado cada vez maior de veículos nas vias urbanas e a um maior tempo necessário para conclusão de viagem – em média 60% acima do normal para usuários permanentes da via, conforme Resende e Sousa (2009).

Considerando as problemáticas relacionadas ao tempo perdido no trânsito e o fato de Curitiba acompanhar as tendências de congestionamentos cada vez maiores e já observadas em outras grandes cidades brasileiras, torna-se imprescindível a busca por alternativas que reduzam o tempo desperdiçado pelos usuários. Em termos deste estudo, a proposta de revitalização da interseção entre a Rua Eduardo Sprada e a Avenida JK pode resolver não apenas os problemas de tráfego, mas também a quantidade de sinistros de trânsito devido à redução dos pontos de conflito entre veículos e outros envolvendo pedestres. Finalmente, um menor tempo de congestionamento pode ser traduzido em menos emissões de poluentes na atmosfera: Dados internacionais coletados por Resende e Sousa (2009) indicam que, a cada hora adicional de congestionamento, tem-se uma média de aumento de 20% na emissão de poluentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Pesquisas e projetos relacionados ao tráfego urbano e às interseções fazem parte de uma área da engenharia designada como Engenharia de Transportes. Esta área é responsável, por exemplo, pela criação e manutenção de sistemas de transportes essenciais à mobilidade urbana. Tradicionalmente, as soluções dos problemas de transporte têm sido estudadas na esfera da Engenharia Civil como um todo. Porém, fatores como a transformação da sociedade, a necessidade de uma melhor qualidade de vida e os impactos sociais e ambientais das soluções levaram à criação de uma área específica de atuação, extrapolando assim a esfera de disciplinas comumente abordadas nos cursos de Engenharia Civil (SANTANA FILHO, 1994).

Atualmente, existem diversas subáreas de atuação dentro da Engenharia de Transportes tais como Engenharia de Tráfego, Planejamento de Transportes e Infraestrutura de Transportes. Entretanto, Silva Júnior (2014) destaca que o maior contingente de profissionais que atuam na área de Engenharia de Transportes ainda é proveniente dos cursos de Engenharia Civil.

2.1 Engenharia de Tráfego

De acordo com o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2016), a Engenharia de Tráfego é parte integrante da Engenharia de Transportes, sendo o conjunto de atividades relacionadas com o estudo, definição e o planejamento do desenho geométrico, da segurança e das operações de trânsito nas vias e rodovias, suas redes e terrenos adjacentes. O CONTRAN ainda define em sua Resolução Nº 638, de 30 de novembro de 2016, o escopo de atividades inseridas dentro da Engenharia de Tráfego, quais sejam: elaboração e atualização de mapa viário, implantação e cadastro de sinalização, polos geradores de trânsito (identificação, análise e estudo), estatísticas e estudos de sinistros de trânsito, estudos de análises e uso de faixas de domínio no sistema viário, atualização e manutenção de cadastros de projetos do sistema viário, melhorias neste sistema viário e seus estudos correspondentes (viabilidade técnica, econômica e ambiental), estudos para adequações no sistema viário e outras atividades previstas em lei específica.

Segundo Wells (1979), a Engenharia de Tráfego é a parte da engenharia que trata do planejamento do tráfego e do desenho de vias, além do seu

desenvolvimento com o controle do trânsito para proporcionar segurança e a conveniente e econômica movimentação de veículos e pedestres. O objeto de estudo desta ciência é a mobilidade, cujo principal objetivo é prezar pela locomoção de pessoas e mercadorias com tempo hábil e nível de segurança adequado (FERREIRA e LEITE, 2017).

2.2 Trânsito e Vias

O Código de Trânsito Brasileiro – CTB (BRASIL, 1997) define o trânsito como sendo o uso das vias por pessoas, veículos e animais, tanto isolados quanto em grupo, conduzidos ou não, e destinados à circulação, parada, estacionamento e operações de carga ou descarga. Nota-se que as vias são elementos essenciais ao trânsito, além do fato de que as avenidas e ruas de uma cidade compõem a rede viária ou sistema viário e as normas para os deslocamentos de pessoas e veículos formam o sistema de trânsito urbano (SIMÕES e SIMÕES, 2016). Com relação às vias, o CTB (BRASIL, 1997) as define como sendo uma superfície por onde transitam pessoas, veículos e animais, compreendendo a calçada, a pista, o acostamento, a ilha e o canteiro central. Por sua vez, as vias terrestres são definidas pelo CTB (BRASIL, 1997) como sendo ruas, avenidas, logradouros públicos, caminhos, estradas, rodovias e passagens.

As vias podem ser classificadas quanto ao fim a que se destinam, bem como ao espaço geográfico em que se situam. As vias urbanas são destinadas ao fluxo urbano, estão inseridas dentro das áreas urbanas e possuem imóveis edificadas ao longo da sua extensão. O CTB (BRASIL, 1997) faz a subdivisão destas vias em quatro categorias diferentes, conforme segue:

- Vias de trânsito rápido, que não possuem interseções em nível, as travessias de pedestres ocorrem em níveis diferentes e os lotes lindeiros não são acessados de forma direta;
- Vias arteriais, caracterizadas por interseções em nível geralmente controladas por semáforo, com acesso aos lotes lindeiros e que possibilitam o trânsito entre as diversas regiões de uma cidade;
- Vias coletoras, cujo objetivo é coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de sair ou entrar das vias de trânsito rápido ou arteriais; e

- Vias locais, cujas interseções em nível não são semaforizadas e se destinam apenas ao acesso local ou a regiões restritas.

2.3 Sinistros de Trânsito e Interseções

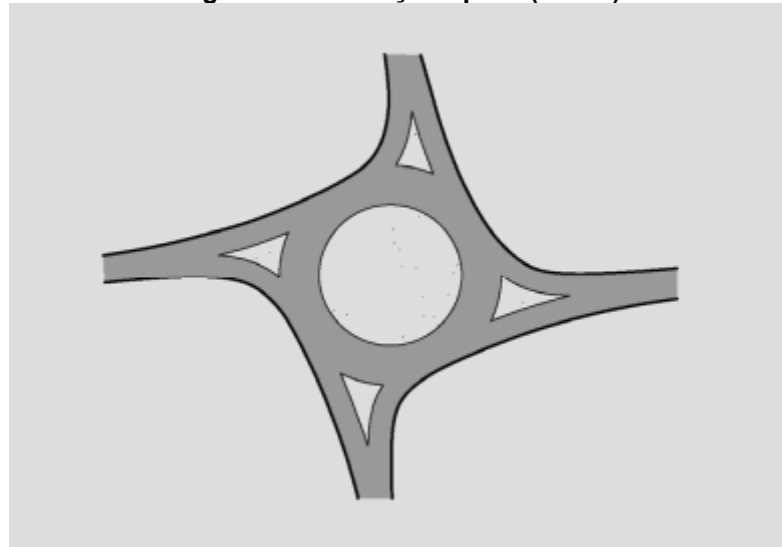
O sinistro de trânsito é todo evento danoso que envolva o veículo, a via, o homem e, em determinadas ocasiões, também os animais. Para ser classificado desta maneira, é necessária a presença de ao menos dois fatores causadores. Nesse caso, por ser mais completo, o conceito esclarece a obrigatoriedade da presença de dois fatores – por exemplo, veículo e via ou homem e via – e exclui a expressão “não intencionada”, mantendo o fato de ser danoso para uma ou para ambas as partes (ABDETRAN, 2007 *apud* PARO, 2009). Quando há falha nas variáveis associadas ao menos a um desses elementos como distração do motorista enquanto dirige, condutor sob efeito de álcool, ocorrência de falha mecânica do veículo e vias sem manutenção adequada, estes deixam de interagir adequadamente entre si e podem resultar em sinistros (FERRAZ *et al.*, 2012).

Segundo o DENATRAN (1991), um fator importante para a elaboração de um projeto de interseções é a contagem de sinistros de trânsito, considerando os registros completos das ocorrências e a análise dos fatores contribuintes. Na ausência de tais informações, observações locais podem ajudar a deduzir possíveis fatores que afetam a segurança dos motoristas no local e a causa dos sinistros. O DNIT (2005) elenca também uma possibilidade para levantamento dos sinistros caso não haja qualquer registro, a saber, a observação sistemática das condições operacionais da interseção. Neste caso, a observação do local permite o levantamento dos conflitos potenciais de tráfego e a definição dos cruzamentos tidos como críticos, bem como a existência ou não da segurança operacional. No caso das interseções em nível, as características físicas do entorno, a ocupação da região fronteira e as questões operacionais do local em que a interseção está localizada – por exemplo, condições de acesso e manutenção – podem ser listadas como variáveis que colaboram para a ocorrência de sinistros (PEÑA e GOLDNER, 2012).

O DNIT (2005) classifica as interseções em função do número de ramos ou aproximações, podendo ser três – interseções tipo “T” – quatro ou múltiplos ramos. Elas também são classificadas nos subgrupos designados como Menores (tipos, A, B, C e G) e Maiores (tipos D, E e F). Dentre estes tipos de interseção, cabe destacar

a rótula ou rotatória moderna, na qual o tráfego se move no sentido anti-horário – no caso do padrão de circulação adotado no Brasil – e ao redor de uma ilha central. Ela normalmente possui uma ou duas faixas de tráfego nos acessos, bem como um maior raio de giro da ilha central e o emprego de ilhas canalizadoras nos acessos. A Figura 1 ilustra um exemplo de rótula.

Figura 1 - Interseção tipo D (rótula)



Fonte: DNIT (2005)

Além da questão da circulação dos veículos no sentido anti-horário, o DENATRAN (1991) cita também que as rótulas são interseções do tipo não semaforizadas e que a ilha central é geralmente de forma circular. É importante destacar que, nas interseções (sobretudo as urbanas), há que se avaliar uma uniformidade nos conflitos de tráfego – ou seja, tratá-los de maneira equitativa. Desta maneira, os motoristas saberão previamente o que podem encontrar na interseção em termos de manobras permitidas e possíveis conflitos com outros motoristas apenas pelo seu aspecto geral (COELHO, 2012).

2.4 Rótulas

A primeira rótula a surgir como um conceito viário foi a *Columbus Circle*, em Nova Iorque (EUA), e no ano de 1905 (DNIT, 2005). Alguns anos depois, em 1907, surgia em Paris (França) a rotatória da *Place de l'Etoile*, resolvendo um problema de interseção entre 12 vias. Ainda na Europa, a primeira rótula construída na Inglaterra é datada de 1910. Em 1925, a capital britânica Londres passou a adotar este instrumento de controle do tráfego, sobretudo a partir do final da década de 1920 e

para cruzamentos com mais de quatro aproximações e trânsito intenso. Tendo em vista a inovação da rótula naquela época, não existiam muitas regras de circulação e o modelo passou a cair em desuso. O princípio da regra de prioridade à direita, de uso quase universal naquele período e segundo a qual a prioridade de passagem era do motorista que vinha à direita, acarretou problemas de capacidade devido à interrupção do fluxo de veículos na rótula (DENATRAN, 1991; DNIT, 2005; SOUZA, 2014).

Estes problemas de circulação e de capacidade das rótulas passaram a ser resolvidos posteriormente, mais especificamente na Inglaterra. Lá surgiu a regra da prioridade de quem circula pela rótula, obrigando os motoristas presentes nos acessos a cederem o direito de passagem aos veículos que circulam na pista rotatória, isto trouxe resultados positivos e reflexos tanto na capacidade quanto na segurança operacional. Tais rótulas passaram então a ser conhecidas como modernas (COELHO, 2012).

Segundo Souza (2014), o conceito de rotatória moderna surgiu em 1966 e se configurou como um marco na história das interseções não semaforizadas, sendo também definido como o começo da era da Rotatória Moderna. A mudança no direito de passagem fez com que as retenções comumente existentes na interseção fossem eludidas, trazendo melhoria significativa no nível de serviço e diminuindo sinistros e tempo de parada. Isto traz também outro efeito positivo pertinente às rotatórias modernas: a redução da emissão de gases tóxicos e poluentes, gerando menor impacto ambiental (VICTORINO e RANGEL, 2013). No cenário brasileiro, Coelho (2012) pontua que a aplicação das rótulas ocorreu apenas em anos recentes, ainda que seu uso no exterior tenha ganhado força a partir da década de 1990.

2.4.1 Fundamentação Teórica e Definições

O CTB (BRASIL, 1997) define que a regra de prioridade de circulação nas rótulas – ou rotatórias modernas – é a mesma de outros países, ou seja, a preferência de passagem é do motorista que estiver circulando pela interseção. Na opinião de Sousa (2018) e outros autores, as rotatórias pertencem ao grupo de dispositivos viários com melhor eficiência e menor custo, pois simplificam e organizam a interseção e fazem com que as interações entre os veículos tenham um desenrolar seguro. Os congestionamentos são pequenos quando a capacidade da via está abaixo do limite previsto em projeto (SOLEK e MARCUSSO, 2018). Uma revisão de literatura conduzida por Sousa (2018) apontou que, embora venham

sendo muito utilizadas no trânsito urbano brasileiro, as rotatórias modernas priorizam o veículo motorizado devido à falta de infraestrutura, seja por opção ou carência de conhecimento técnico.

As interseções do tipo rotatória – incluídas aqui as rotatórias modernas e as primeiras rotatórias desenvolvidas no século XX, chamadas de convencionais – abrangem diversos tamanhos e formatos. Suas classificações incluem, por exemplo, as chamadas minirrotatórias (diâmetros entre 2 e 16 m, podendo ser apenas em forma de pintura ou sinalização horizontal), as rotatórias modernas compactas (diâmetro da ilha central entre 16 e 30 m), as rótulas normais (diâmetro da ilha central entre 30 e 150 m), as rótulas vazadas (via central cruza a secundária e tem prioridade de passagem) e as rotatórias duplas (duas rotatórias pequenas e interligadas entre si). No caso de uma interseção em que a via de maior fluxo passa acima ou abaixo da rótula, tem-se as chamadas rotatórias modernas em dois níveis ou uma interconexão conhecida como giratório (COELHO, 2012; NERIS, 2014).

Historicamente, o primeiro tipo de rotatória desenvolvida foi a convencional, onde a prioridade de passagem se dá ao tráfego circulante à direita. Por sua vez, o conceito atual de rotatória está mais diretamente associado às rótulas modernas, que tem o princípio de prioridade para o tráfego circulante na rotatória. Além desse princípio, as rotatórias modernas também são caracterizadas pela deflexão do tráfego de entrada, onde a corrente de tráfego que entra na interseção é canalizada pela ilha divisória de acesso. Desta maneira, a velocidade do veículo é reduzida e há um aumento da segurança operacional da interseção (DNIT, 2005).

2.4.2 Princípios Operacionais

A eficácia de uma rotatória como um elemento para aumento da segurança e da capacidade da interseção depende diretamente dos princípios operacionais em vigor (DENATRAN, 1991). Ainda segundo o DENATRAN (1991), o princípio operacional mais importante e adotado na implantação das rótulas modernas é o da prioridade dos veículos que já estão circulando no local, gerando assim poucos movimentos de entrelaçamento e diminuindo a probabilidade de colisões laterais, além de outros tipos de conflitos de tráfego.

Dentre os fatores condicionantes da regra de operação das rótulas modernas, é possível citar dois fatores: o volume de tráfego circulante e a largura da aproximação da entrada. Esta largura da aproximação interfere na quantidade de

veículos que estão aguardando para entrar na interseção, os quais somente adentram na pista rotatória quando houver uma brecha temporal suficiente no fluxo circulatório. Assim, quanto maior for a largura da entrada, mais veículos poderão adentrar ao mesmo tempo na rotatória. Isto faz com que o fluxo de tráfego seja menos intenso, gerando filas menores e, conseqüentemente, menos atrasos e maior capacidade. As literaturas dos manuais técnicos do DENATRAN (1991) e DNIT (2005) assumem que a regra da prioridade compõe um dos principais aspectos de garantia de um bom desempenho das rótulas, além da utilização adequada das larguras das vias e uma boa sinalização nas vias que compõem a interseção, juntamente com a fiscalização.

Outro fator operacional relevante é a velocidade desenvolvida pelos veículos nas aproximações, a qual deve ser reduzida devido à segurança viária e às condições de projeto da rótula. Dependendo da sinalização vertical considerada no local, é necessário que o veículo realize uma parada obrigatória antes de adentrar na interseção ou, ao menos, reduza sua velocidade para se certificar de que tem condições e tempo suficiente para prosseguir com suas manobras. Neste aspecto, a velocidade assume papel importante na segurança da rótula porque, ao se assumir esta redução, há reflexo direto na quantidade de sinistros, sobretudo no caso de veículos pesados.

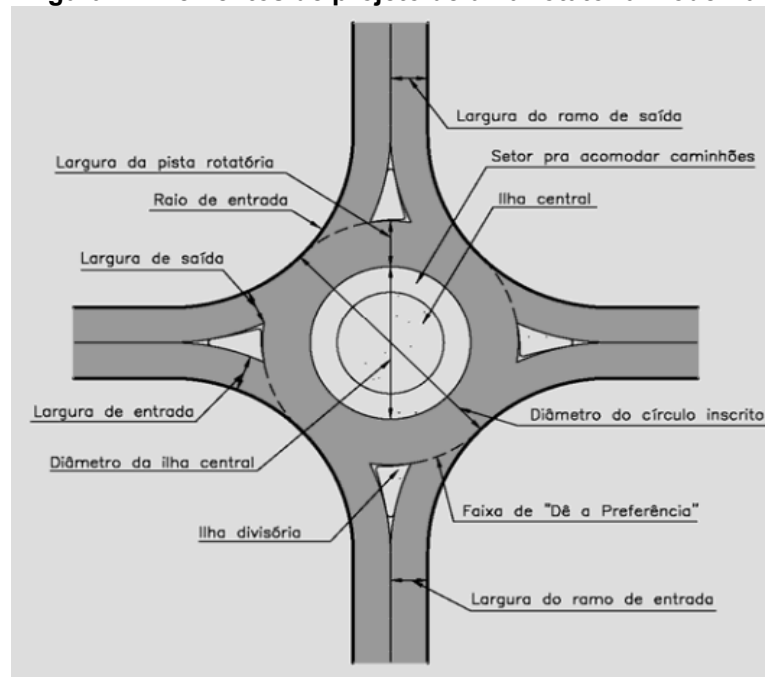
As rótulas devem ser projetadas de forma a atender um volume de tráfego demandado pelo local e um veículo de projeto específico, tudo com um grau de segurança adequado. Raios de giro pequenos e faixas de tráfego estreitas forçam os motoristas a circular em baixas velocidades, comprometendo a capacidade do tráfego e trazendo mais segurança operacional. Por outro lado, raios de giro grandes e faixas de tráfego largas aumentam as capacidades de tráfego e a velocidade média dos veículos, o que pode acarretar mais sinistros. Assim, o projeto de uma rótula é um processo que envolve o estudo das diversas características que compõem esse tipo de interseção, além das condicionantes impostas pelo local. A partir das condições mínimas de trafegabilidade exigidas pelo veículo de projeto, busca o equilíbrio entre a capacidade e a segurança (DNIT, 2005).

2.4.3 Características Típicas De Projeto

A compreensão das características geométricas de uma rótula é essencial a um bom entendimento da sua operação dentro do sistema viário no qual estará

inserida (COELHO, 2012). Khisty e Lall (1998, *apud* NERIS, 2014) apontam que o objetivo de um projeto de interseção é a redução da severidade de potenciais conflitos envolvendo veículos, pedestres ou outros modos, ao mesmo tempo em que oferece uma boa fluidez no trânsito. As características geométricas de uma interseção devem ser perceptíveis e facilmente reconhecíveis por qualquer condutor. Para Costa (2010), as recomendações de dimensionamento buscam garantir uma efetiva condição de segurança aos condutores que se aproximam do cruzamento. A Figura 2 mostra os elementos de projeto tipicamente encontrados em uma rôtula.

Figura 2 - Elementos de projeto de uma rôtula moderna



Fonte: DNIT (2005)

A ilha central consiste na área elevada no centro de uma rôtula, em torno da qual ocorre a circulação do tráfego. Sua dimensão causa a deflexão do tráfego de entrada, impedindo uma travessia direta do local. Por sua vez, as ilhas divisórias ou canalizadoras separam os fluxos de entrada e saída da rôtula, desviando o tráfego e proporcionando a redução da velocidade – além de atuar como refúgio para pedestres. Quando há tráfego de veículos articulados em rôtulas menores e de uma faixa, é conveniente rebaixar uma área junto à ilha central para possibilitar o giro destes veículos (COELHO, 2012).

O diâmetro do círculo inscrito é o parâmetro de base na definição do tamanho da rôtula, sendo medido entre as bordas exteriores da pista rotatória. Por sua vez, a largura de entrada da aproximação é um dos parâmetros determinantes

para a capacidade e o nível de serviço da interseção, juntamente com a largura da pista rotatória (pista giratória ao redor da ilha central). O raio de entrada da rótula caracteriza-se pelo raio mínimo de curvatura do bordo de cada pista de acesso, tendo a função de garantir que os movimentos de giro sejam realizados com facilidade por todos os tipos de veículos. Finalmente, a largura da faixa de saída contribui majoritariamente para um fluxo constante de veículos na rótula, atuando também na manutenção das condições operacionais do local (COELHO, 2012).

A Tabela 1 a seguir, resume algumas características básicas dos tipos de rótulas. Observa-se que o diâmetro do círculo inscrito varia consideravelmente conforme o tipo de rótula, facilitando a aplicação deste tipo de interseção em locais com restrições de espaço, por exemplo. Interessante notar que, em alguns casos, as rótulas podem ultrapassar a capacidade de 20.000 veíc/dia, comprovando assim a sua viabilidade técnica, até mesmo em locais com grande circulação de veículos e sendo comparável às interseções semaforizadas. Segundo o DNIT (2005), valores de 35.000 veíc/dia ou superiores a estes podem ser encontrados em rótulas com predominância de giros de saída à direita.

Tabela 1 - Características básicas dos tipos de rótulas

Tipos de Rótulas Urbanas	Número de Faixas em cada Acesso	Velocidade de Projeto Máxima nos Acessos	Diâmetro do Círculo Inscrito	Diâmetro da Ilha Central	Volume de Serviço Típico (4 Acessos)
Mini-Rótulas	1	25 km/h	13 a 25 m	2 a 16 m	15.000 veic./dia
Rótulas Compactas	1	25 km/h	25 a 38 m	16 a 30 m	15.000 veic./dia
Rótulas com 1 faixa	1	35 km/h	38 a 58 m	30 a 50 m	20.000 veic./dia
Rótulas com 2 faixas	2	40 km/h	46 a 66 m	30 a 50 m	40.000 a 50.000 veic./dia

Fonte: Adaptado de Coelho (2012)

As ilhas centrais podem ter diversas formas, sendo recomendável a escolha de uma forma geométrica simples para evitar confusão entre os motoristas. O círculo é uma forma adequada para pequenas e minirrotatórias, enquanto rotatórias maiores podem ter outras formas, incluindo as assimétricas. Ainda neste aspecto, a ilha central é o elemento geométrico responsável pela redução da velocidade dos veículos, sendo dimensionada de modo a causar a deflexão do tráfego e impedir que os veículos cruzem direto pela interseção (DNIT, 2005).

De acordo com Coelho (2012), a dimensão da ilha central é uma função direta do diâmetro do círculo inscrito, da existência de veículos longos e do número de faixas na pista rotatória. Exceto no caso de minirrotatórias, a ilha central deve ser elevada em relação à pista rotatória, com a existência de uma berma galgável. Alturas entre 15 e 20 cm para a ilha central e mini-degraus entre 0,5 e 1,5 m junto à borda desta berma são aceitáveis. A Tabela 2 exemplifica numericamente as dimensões de giro necessárias para rótulas urbanas de uma faixa, considerando manuais internacionais e um veículo de projeto tipo “O” – veículos comerciais: ônibus, ônibus de turismo e caminhões urbanos – segundo o DNIT (2005).

Tabela 2 - Dimensões de giro necessárias para rótulas urbanas de uma faixa

Diâmetro da Ilha Central (m)	Raio Interno R1 (m)	Raio Externo R2 (m)	Diâmetro do Círculo Inscrito (m)
8,0	5,0	13,9	29,8
10,0	6,0	14,4	30,8
12,0	7,0	15,0	32,0
14,0	8,0	15,6	33,2
16,0	9,0	16,3	34,6
18,0	10,0	17,0	36,0
20,0	11,0	17,5	37,0
22,0	12,0	18,0	38,0
24,0	13,0	18,5	39,0
26,0	14,0	19,0	40,0
28,0	15,0	19,5	41,0

Fonte: Adaptado de Coelho (2012)

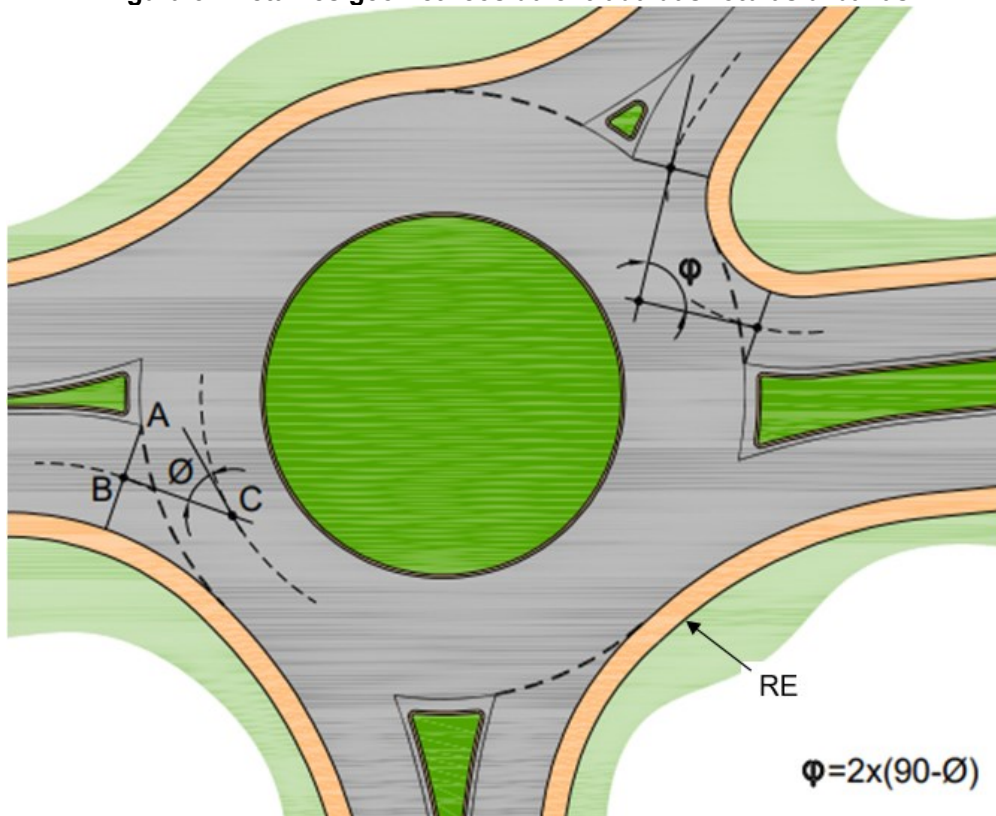
A faixa de circulação deve guardar uma proporção de 1,2 vezes a maior largura de entrada da rótula. No caso de rótulas urbanas com duas faixas de aproximação, a ilha central tem diâmetro geralmente superior a 30 m e os veículos longos podem acomodar-se nas duas faixas da pista rotatória, não sendo necessário o uso da berma galgável em tais casos (COELHO, 2012).

A pista de entrada tem parâmetros importantes a serem considerados tais como largura, ângulo de entrada e raio de curvatura. Tanto a largura desta pista quanto o número de faixas de tráfego são os principais fatores para determinação da capacidade da rótula, mas a pista rotatória precisa ter igualmente esta largura ou

número de faixas. A título de exemplo, não é recomendável a conjugação de duas faixas de tráfego na aproximação com apenas uma faixa na pista rotatória (COELHO, 2012; DNIT, 2005; WESSELING, 2018).

A largura da entrada é medida perpendicularmente à faixa de entrada, desde a ponta da ilha divisória até a linha do meio-fio. As larguras dos ramos de saída da rótula ou de acesso devem ser compatibilizadas com as dimensões das faixas de tráfego nos acessos, geralmente variando de 3,5 a 4,0 m. No caso de acessos com meios-fios intransponíveis, é preciso considerar acréscimos de largura. Para uma aproximação com uma única faixa, a entrada deve possuir uma largura entre 4 e 5 m; no caso da existência de duas faixas de tráfego, esta entrada deve ser de pelo menos 6 m (COELHO, 2012; DNIT, 2005). A Figura 3 ilustra alguns detalhes geométricos da entrada das rótulas urbanas.

Figura 3 - Detalhes geométricos da entrada das rótulas urbanas



Fonte: Adaptado de INIR (2009)

O ângulo ϕ mostrado na Figura 3 consiste no ângulo de entrada, o qual está vinculado à segurança da aproximação e ao conforto da condução. Ele garante a redução da velocidade de aproximação, igualando-a à velocidade de circulação da rotatória. São recomendados valores entre 20° a 50°, uma vez que ângulos pequenos

são traduzidos em entradas tangenciais – e, por consequência, velocidades maiores – e ângulos maiores podem causar conflitos veiculares de maior gravidade e reduzir o desempenho geral da interseção (COELHO, 2012; DENATRAN, 1991).

O raio de entrada (RE) mostrado na mesma Figura 3 refere-se ao raio da curva concordante ao meio-fio de cada entrada. Seu valor também está condicionado à velocidade dos veículos ingressantes na rótula, de modo que valores altos induzem a velocidade elevadas e valores baixos afetam o giro de veículos longos. Para ambientes urbanos, o valor ideal deste raio deve ser de 10 e 30 m, além de estarem associados harmonicamente aos raios de saída da próxima via de acesso (COELHO, 2012; DENATRAN, 1991).

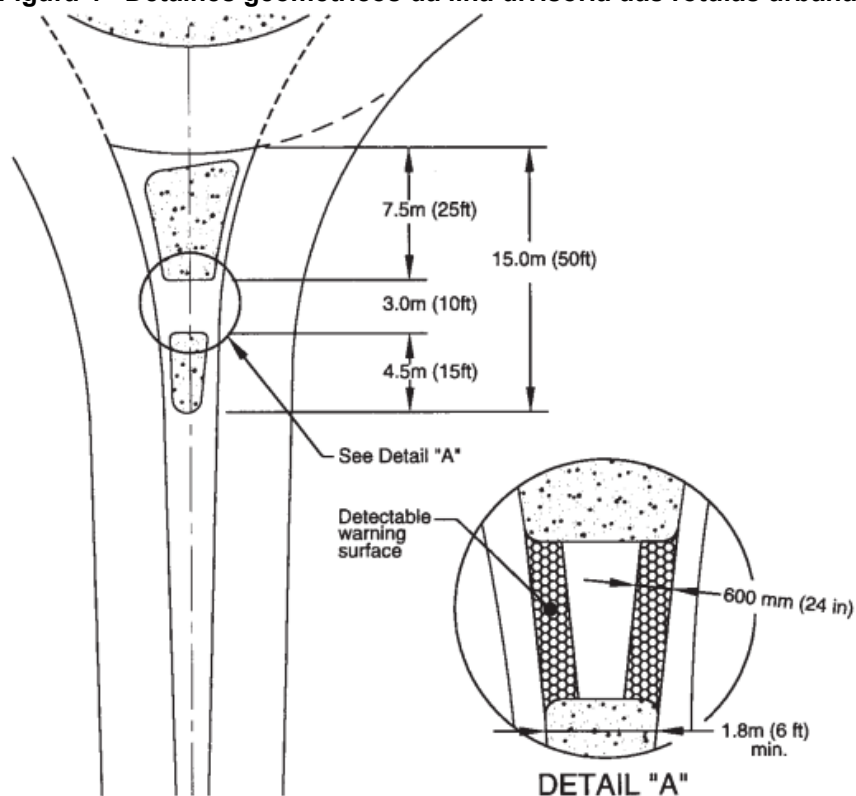
No caso das faixas de saída, sua geometria deve seguir os parâmetros da pista de entrada. Os raios e ângulos nas entradas e saídas devem garantir que os movimentos de giro sejam realizados com facilidade por todos os tipos de veículos que transitam pela rotatória. Por esta razão, devem-se prover concordâncias suaves entre entradas e saídas adjacentes. A largura ideal para uma faixa de saída deve estar entre 3 e 7 m, podendo ser de 4 m em ambientes urbanos. Para duas faixas na saída da aproximação, é recomendável uma largura entre 8 e 9 m. Tais larguras devem ser mantidas ao longo de todo o comprimento da ilha divisória, de modo a evitar o bloqueio da saída (COELHO, 2012; DNIT, 2005; WESSELING, 2018).

O raio de saída é o raio da lateral da curva de saída que acompanha o meio-fio, devendo este ser superior ao raio de entrada. Seu valor ideal em ambientes urbanos deve estar entre 20 e 40 m, não sendo recomendável a adoção de valores inferiores a 15 m e superiores a 50 m (COELHO, 2012; WESSELING, 2018). Finalmente, as travessias de pedestres devem ser projetadas considerando a conveniência e segurança destes pedestres e as condições de operação da rótula. Para tal, normalmente são utilizadas as ilhas divisórias e pontos de travessia um pouco antes das entradas, não interferindo nos veículos parados e tampouco tirando a atenção dos motoristas. Em termos das rótulas urbanas, a geometria destas ilhas divisórias pode ser simplificada conforme ilustrado na Figura 4, sendo os valores do raio de entrada externo e raio de saída externo iguais ou superiores ao raio de entrada ou raio de saída, somados respectivamente com as larguras de entrada e saída (COELHO, 2012; DNIT, 2005).

A literatura destaca muitas vantagens do uso das rótulas em interseções como, por exemplo, locais com problemas históricos de segurança, volumes de

tráfego relativamente balanceados entre as vias, alta porcentagem de giros, acessos ou pontos de entrada a universidades e áreas residenciais, urbanas e comerciais. Vantagens como uma maior segurança operacional – redução no número e na severidade dos sinistros de trânsito – e um melhor nível de serviço da interseção estão entre as grandes vantagens das rótulas, juntamente com um menor custo e uma possibilidade de harmonização da ilha central com a estética urbana (BERTONCINI e DEMARCHI, 2005; COSTA, 2010; SOUZA, 2014). A mais comum limitação de uma rotatória é a quantidade de brechas adequadas disponíveis para os veículos que adentram no local. Por outro lado, acaba por permitir a entrada simultânea de veículos partindo de diferentes aproximações, fazendo com que a capacidade da interseção aumente e os atrasos sejam reduzidos.

Figura 4 - Detalhes geométricos da ilha divisória das rótulas urbanas



Fonte: Robinson et al. (2000)

2.4.4 Cálculos de Capacidade

As rotatórias podem ser implantadas em cruzamentos já existentes – no caso da necessidade de melhorias no local – ou em novos cruzamentos. Para novos cruzamentos, os cálculos de capacidade são mais simples porque o projeto será desenvolvido de tal forma que os volumes de tráfego estimados no horário do pico e

para o horizonte de projeto serão atendidos. Já no caso de interseções existentes, as modificações propostas devem atender o crescimento previsto dos volumes de tráfego, não fazendo com que os valores se tornem obsoletos ao longo do tempo e, assim, atendam às demandas atuais e futuras.

Após o cálculo da capacidade da interseção, é necessário verificar a sua adequação ao volume de tráfego previsto para o local, não acarretando a sua operação na capacidade de projeto. Caso isto ocorra ou a rotatória moderna opere próximo da sua capacidade, alguns itens de projeto devem ser modificados como, por exemplo, o número de faixas na pista rotatória e nas entradas ou a criação de faixas exclusivas para saídas à direita. Estas modificações no projeto devem ser feitas até a interseção se mostrar capaz de atender à demanda esperada do tráfego, além de possuir dimensões e espaços suficientes para tal. Por outro lado, rótulas superestimadas acarretam custos elevados de implantação, por vezes inviabilizando a sua construção (DENATRAN, 1991).

O método de cálculo de capacidade adotado pelo DENATRAN (1991) foi desenvolvido na Inglaterra e pode ser aplicado a qualquer tipo de rótula (KIMBER, 1980). Por sua vez, o manual do DNIT (2005) é baseado em normas alemãs devido à sua simplicidade e facilidade de uso, podendo ser aplicado em rótulas com uma ou duas faixas tanto nos acessos quanto na pista rotatória. Rótulas compactas e com apenas uma faixa de tráfego operam bem para um volume de 15.000 veíc/dia, podendo chegar a 25.000 veíc/dia no caso de duas faixas de tráfego. O uso de uma terceira faixa na pista rotatória é discutível, uma vez que uso é restrito devido à dificuldade encontrada pelos motoristas para sair da rótula caso estejam nesta faixa. Ainda, as normas alemãs fornecem valores de capacidade menores que os calculados por outros métodos europeus.

Cabe destacar que os métodos do DENATRAN (1991) e do DNIT (2005) se assemelham quanto à consideração da capacidade das entradas como um fator determinante para a capacidade da rótula como um todo. Os dois métodos também consideram o fluxo circulante na rotatória para determinação da capacidade. Entretanto, estes mesmos métodos se diferenciam em outros aspectos. Por exemplo, o método do DENATRAN (1991) considera o fluxo circulante na rotatória e seus aspectos geométricos. Por sua vez, o método do DNIT (2005) considera os volumes de tráfego, número de faixas na pista rotatória e nas entradas e outros dados relevantes, tais como os fluxos de pedestres em cada aproximação.

2.4.5 Nível de Serviço

No que concerne às vias urbanas, estudos brasileiros para fins de determinação da capacidade e do nível de serviço de rótulas ainda são restritos (SOUSA *et al.*, 2019). O protocolo estabelecido pelo DNIT (2005) para fins de cálculo de capacidade e nível de serviço de rótulas fornece uma letra para designação deste nível de serviço – desde “A” até “F”. Segundo esta designação, o nível de serviço “A” é excelente e o nível de serviço “F” é péssimo, ou tráfego congestionado. Para rótulas em um contexto geral, os níveis de serviço de cada ramo da interseção e da rótula como um todo devem ser no máximo “D”. Cabe enfatizar que o protocolo do DENATRAN (1991) não apresenta uma metodologia para determinação do nível de serviço da rótula, mas apenas a estimativa das capacidades das suas aproximações.

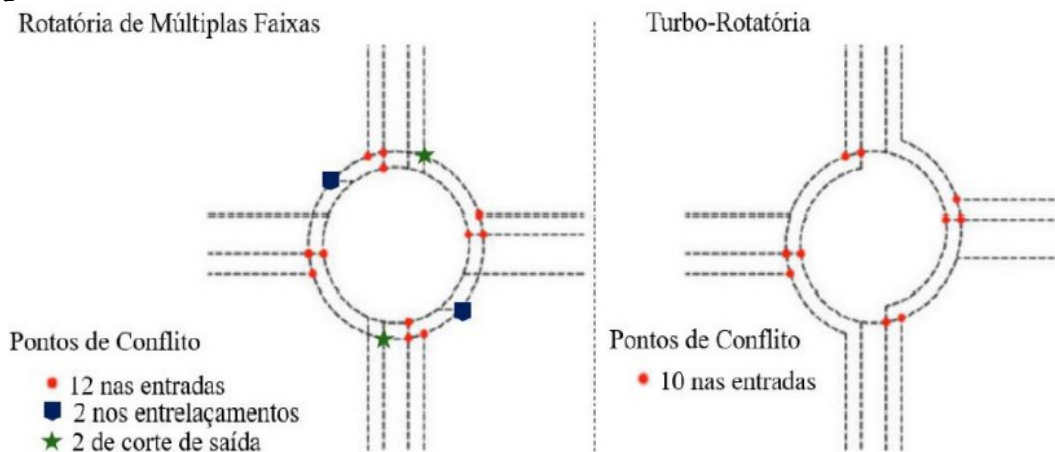
A cada um dos níveis de serviço pode ser vinculada uma ou mais características da operação do tráfego na rótula. O nível “A” sinaliza que a maioria dos veículos da corrente de tráfego praticamente não sofre atrasos na interseção. O nível “B” indica que a capacidade de deslocamento dos veículos da via secundária é afetada pelo fluxo preferencial, mas os tempos de espera são baixos. O nível “C” significa que os motoristas da corrente de tráfego secundária devem estar atentos ao fluxo significativo de veículos da corrente principal e, por consequência, os tempos de espera são sensíveis. No nível “D”, a maioria dos motoristas da corrente secundária é forçada a efetuar paradas com sensíveis perdas de tempo; para alguns veículos, os tempos de espera são elevados. No caso do nível “E”, há a formação de retenções de veículos, que não serão reduzidas se os volumes de tráfego permanecerem inalterados; quanto aos tempos de espera, estes são elevados. Finalmente, o nível “F” mostra que o fluxo que chega à interseção é superior à capacidade da entrada e as filas de veículos são longas e crescentes; consequentemente, a interseção está sobrecarregada (DNIT, 2005).

2.4.6 Variações de interseções do tipo rótula

O professor Lambertus Gerrit Hendrik Fortuijn, da Universidade Tecnológica de Delft (Holanda), propôs em 1996 um novo modelo de rotatória – designada como turbo-rotatória. Esta consiste em uma alternativa à rotatória moderna com duas faixas de tráfego, possuindo um formato singular e sendo dotada de duas pistas com

uma marcação em espiral. As divisórias em espiral são elevadas nas faixas da pista rotatória, de modo a eliminar alguns pontos de conflito de tráfego. Seu tamanho pode ser comparado ao de rotatórias urbanas com ilha central de aproximadamente 50 m de diâmetro (ENGELSMAN e UKEN, 2007). Em comparação aos 16 pontos de conflito nas rotatórias modernas e com duas faixas de tráfego, as turbo-rotatórias têm a vantagem de possuir apenas 10 pontos de conflito, todos nas entradas da interseção (IZADI *et al.*, 2016). Conforme reportado por Tollazzi (2014) e exemplificado na Figura 5, as turbo-rotatórias têm quatro conflitos de cruzamento, seis de divergência e quatro de convergência.

Figura 5 - Pontos de conflito em rótulas convencionais de várias faixas e em turbo-rotatórias



Fonte: Ribeiro *et al.* (2017)

A pesquisa conduzida por Solek e Marcusso (2018) analisou a viabilidade técnica da implantação de uma turbo-rotatória em um dos cruzamentos entre a Rua Eduardo Sprada e a Avenida JK. Todavia, as simulações de tráfego realizadas no *software* AIMSUN indicaram que tal aplicação é inviável devido às longas filas de veículos nas aproximações e ao elevado tempo de espera dos motoristas. Outros trabalhos recentes como Elhassy *et al.* (2020) também mostraram que turbo-rotatórias podem não ser apropriadas para locais com fluxos muito elevados – neste caso, valores superiores a 4.500 veíc/h – ou sempre que os fluxos excederem a capacidade prevista da aproximação.

Além da modificação da geometria da rótula, outra possibilidade é a implantação de semáforos nas aproximações da interseção ou na própria rótula. Cabe destacar que, segundo o CONTRAN (2012), os critérios gerais para implantação da sinalização semafórica são o estudo dos movimentos da interseção e o gerenciamento

de conflitos. Ainda segundo o Conselho Nacional de Trânsito (2012), os semáforos constituem uma medida passível de ser adotada quando não há brechas suficientes para transposição da interseção, uma vez que conferem direitos alternados de passagem aos motoristas. Ocorrências ou potenciais riscos de sinistros também podem justificar o uso de semáforos em um contexto geral.

A combinação de semáforos com rótulas em uma determinada interseção, tal como avaliado por Neris (2014) em rótulas da cidade de Araraquara/SP, pode trazer benefícios como um melhor desempenho operacional, sobretudo no caso de fluxos elevados na via principal. Mais especificamente, ocorrem reduções no atraso dos motoristas e nos tamanhos das filas críticas quando esta combinação de dispositivos é feita no local. Cabe destacar também a redução expressiva nos índices de sinistros graves – no caso em tela, redução superior a 90%. Uma pesquisa posterior e conduzida pelo mesmo autor (NERIS, 2018) corroborou esta observação, destacando o aumento da capacidade da rótula quando há semáforos na via principal.

Conclui-se, portanto, que a combinação de medidas para solução de problemas causados pelo fluxo elevado de veículos nas rótulas pode ser algo simples e efetivo, já que cada medida age como solução para um problema específico do local e a combinação das mesmas permite uma melhoria global da interseção estudada.

2.5 Seleção de Interseções em Nível e Interconexões

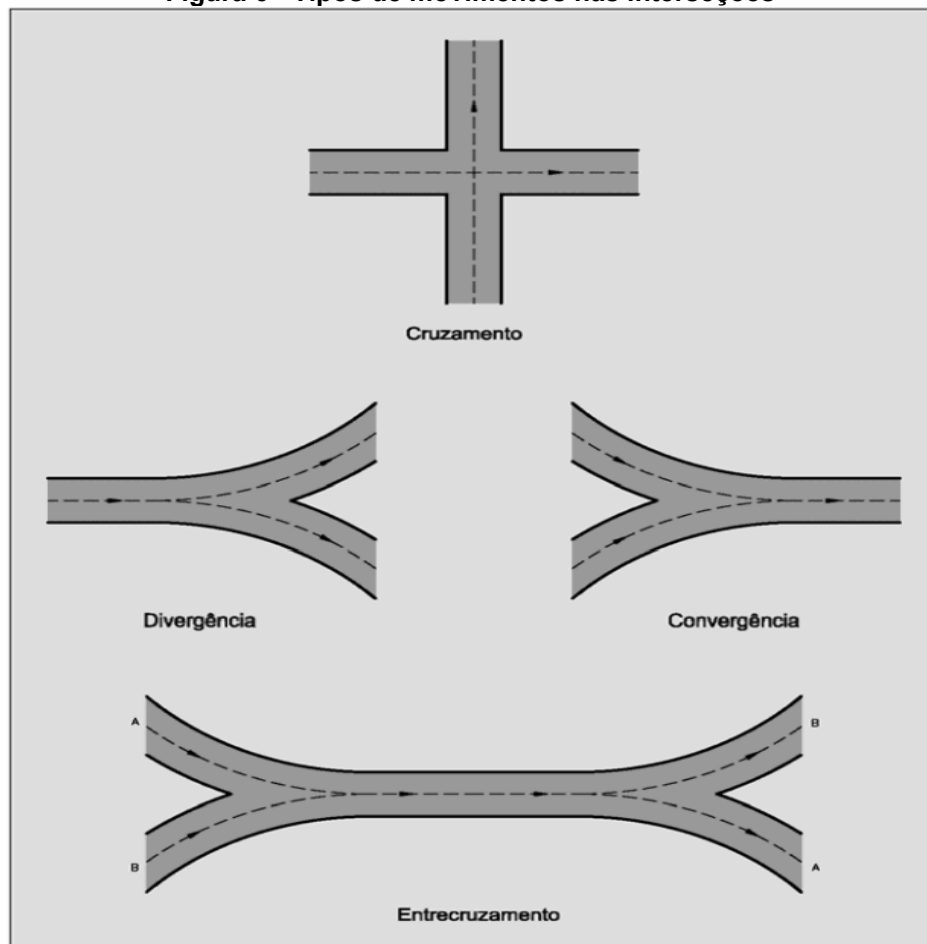
Conforme estabelecido pelo DNIT (2005), as correntes de tráfego são caracterizadas por conjuntos de veículos que circulam por uma mesma faixa de tráfego ou pista e no mesmo sentido. Os fatores que mais influenciam essa circulação são os seguintes: frequências de interseções, número e largura das faixas, distâncias de visibilidade, comprimentos e declividades de rampas, sinalização e iluminação. A partir de tais fatores, é possível desenvolver um projeto para a interseção visando uma circulação eficiente das correntes de tráfego. As manobras veiculares dependem do tipo de interseção adotada, sendo classificadas em manobras de cruzamento, convergência e divergência. A Figura 6 representa esquematicamente tais manobras.

Os locais em que ocorrem as manobras de cruzamento, convergência ou divergência são chamados tecnicamente de pontos de conflito. Uma revisão bibliográfica conduzida por Wesseling (2018) destaca que as interseções são pontos críticos porque nelas existem conflitos de veículos circulando em sentidos e movimentos

diferentes – ou seja, são locais mais suscetíveis à ocorrência de colisões em meios urbanos. Segundo o DNIT (2005), cada ponto de conflito exige uma maneira adequada para seu tratamento, de modo que a melhor solução quanto à fluência e à segurança seja adotada. Desta forma, é possível elaborar um projeto para uma determinada interseção e que possibilite o melhor tratamento possível a tais pontos.

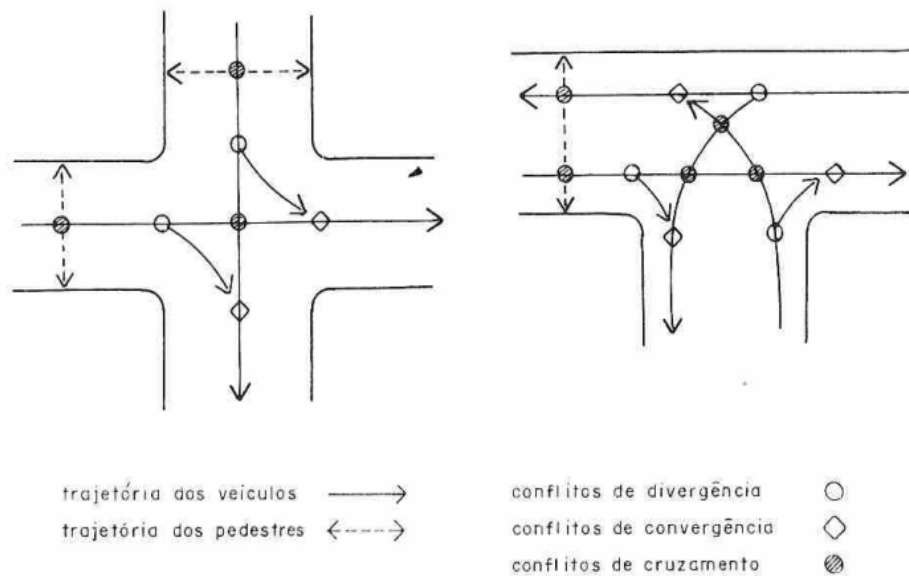
Nos conflitos de divergência, a trajetória dos veículos de uma corrente se divide e forma novas correntes independentes. Sendo um conflito que envolve manobras simples, é o menos crítico exceto quando o cruzamento se dá em corrente oposta. Nos conflitos de convergência, trajetórias diferentes (duas ou mais trajetórias) se juntam formando uma nova. Finalmente, o conflito de cruzamento se dá quando a trajetória dos veículos de uma corrente qualquer se cruza com a de outros veículos, ou mesmo de pedestres (DENATRAN, 1991). As Figuras 6 e 7 exemplificam todos estes conflitos.

Figura 6 - Tipos de movimentos nas interseções



Fonte: DNIT (2005)

Figura 7 - Tipos de conflitos de tráfego



Fonte: DENATRAN (1991)

A situação de conflito afeta a operação do tráfego, causando reduções nas velocidades dos veículos e interferindo na capacidade e na segurança da interseção. Por este motivo, um projeto eficiente deverá levar em consideração a natureza e periculosidade dos pontos de conflito (DNIT, 2005).

2.5.1 Veículos de Projeto

O projeto de uma rodovia ou interseção para um veículo de projeto específico significa, em linhas gerais, que todos os veículos com características iguais ou mais favoráveis que o de projeto terão condições operacionais iguais ou mais favoráveis que o veículo de projeto. Em outras palavras, o veículo de projeto é o maior veículo que circula pela interseção e, a partir dele, podem ser determinadas dimensões mínimas necessárias para circulação no local. O veículo de projeto padrão é do tipo “O”, o qual abrange os seguintes tipos de veículos comerciais: ônibus, ônibus de turismo e caminhões urbanos com extensão de até 12,20 m (DNIT, 2005). A Tabela 3 mostra as principais dimensões básicas do veículo de projeto “O” e de outros veículos considerados pelo DNIT (2005) para as vias brasileiras.

A escolha do veículo de projeto é muito importante para o projeto de uma interseção qualquer. Além disso, um fator importante a se considerar é a composição do tráfego, a qual pode ser obtida através de contagens em campo e o desenvolvimento futuro da área de estudo. Também é necessário verificar a natureza do elemento de

projeto considerado tem impacto na escolha final. Neste sentido, rodovias de acesso a pontos turísticos ou interseções mínimas com rodovias vicinais frequentemente acarreta a escolha do veículo de projeto VP (carros de passeio). Por sua vez, rodovias com uma considerável participação de veículos comerciais rígidos – incluindo alguns tipos de ônibus – podem levar à escolha do veículo de projeto CO (comercial rígido). Em determinadas áreas urbanas, o veículo de projeto O (ônibus longos) pode ser convenientemente adotado. Finalmente, vias ou interseções nas quais a participação de veículos articulados – semirreboques (SR) ou reboques (RE) – ou locais que dão acesso a indústrias, fazendas de cana-de-açúcar e de corte de madeira é expressiva podem requerer um ou outro veículo como sendo o de projeto (DNIT, 2005).

Tabela 3 - Principais dimensões básicas dos veículos de projeto

Características	Designação do veículo				
	Veículos leves (VP)	Caminhões e ônibus convencionais (CO)	Caminhões e ônibus longos (O)	Semirreboques (SR)	Reboques (RE)
Largura total (m)	2,1	2,6	2,6	2,6	2,6
Comprimento total (m)	5,8	9,1	12,2	16,8	19,8
Raio mínimo da roda externa direita (m)	7,3	12,8	12,8	13,7	13,7
Raio mínimo da roda interna traseira	4,7	8,7	7,1	6,0	6,9

Fonte: DNIT (2005)

2.5.2 Parâmetros básicos

Sendo a interseção a área em que duas ou mais vias se cruzam e incluindo todo o espaço destinado à facilitação dos movimentos dos veículos (DNIT, 2005), é possível classificá-las em interseções em nível e interconexões (níveis diferentes). Em qualquer um dos casos, a interseção é um elemento de descontinuidade no sistema viário e representa pontos críticos que requerem atenção especial do projetista. Deve também assegurar que os veículos circulem de forma ordenada e que o nível de serviço da rodovia não seja prejudicado, garantindo assim a segurança viária como um todo. Em termos das rótulas, é possível posicioná-las como uma interseção em nível (exemplo na Figura 8) ou como parte de uma interconexão – no caso, uma interconexão do tipo giratório (exemplo na Figura 9).

Figura 8 - Interseção em nível do tipo rótula



Fonte: DNIT (2005)

Figura 9 - Interconexão do tipo giratório



Fonte: DNIT (2005)

Os principais fatores que influem na escolha do tipo e dimensão de uma interseção são os volumes horários de projeto das várias correntes de tráfego e suas composições por tipo de veículo, além de condições locais e custo de aquisição das faixas de domínio (DNIT, 2005). Deve-se levar em consideração não somente o tráfego da via principal, mas também o fluxo das vias transversais. Ao se projetar uma

interseção, é necessária uma análise do local para minimizar problemas no tráfego. Desta forma, a escolha do tipo de controle de tráfego adequado, as larguras das pistas e das faixas auxiliares e o grau de canalização a ser empregado levarão em conta a classificação funcional das vias e os volumes e composições do tráfego.

2.5.3 Critérios adotados pelo DNIT para escolha de interconexões

Tanto a escolha do tipo de uma interconexão quanto seu projeto final sofrem influência de vários fatores como a velocidade, o volume e a composição do tráfego, o número de ramos interceptantes, as características técnicas e a disposição do sistema de vias locais, a topografia, a largura da faixa de domínio, a proximidade de interconexões adjacentes, estudos sobre os impactos causados na comunidade e no meio ambiente e o custo do investimento (DNIT, 2005). Um bom projeto de interconexão necessita ser consistente e uniforme, de modo a prever os movimentos da via principal e das secundárias ou interceptantes. Também deve ser capaz de prover as melhores condições de tráfego e desenvolvimento do local.

Em face do exposto acima, é necessário prever os movimentos entre as vias para estimar os respectivos volumes de tráfego. Por outro lado, essa previsão é afetada em áreas metropolitanas devido à quantidade de variáveis envolvidas no processo de cálculo. Ao se determinar o tipo da interconexão empregada, deve-se levar em consideração o desenvolvimento potencial da região para um horizonte além do de projeto. Desta forma, a solução encontrada poderá atender não somente os volumes de tráfego no ano de projeto, mas também em uma perspectiva de tempo superior.

A escolha de um tipo de interconexão tem início na classificação funcional das vias que se interceptam, bem como em outras variáveis específicas do local. Em termos desta classificação funcional, a simples decisão de implantação de uma Via Expressa justifica, por si só, o uso de interconexões em todos os seus acessos. Outra variável relevante para seleção de interconexões consiste nos congestionamentos, ou seja, quando uma interseção em nível é insuficiente para atender às demandas de tráfego. Os índices de sinistros também podem justificar a implantação de interconexões, no caso de outros meios mais econômicos serem insuficientes. Fatores topográficos que inviabilizam a construção de interseções em nível também podem levar à construção de interconexões, bem como a relação custo-benefício aos usuários (DNIT, 2005).

Tendo em vista que não existem critérios específicos para seleção de interconexões, podem ser mencionadas condições gerais que justificam cada escolha.

A Figura 10 mostra recomendações gerais de interconexões para as vias interceptantes e segundo as suas respectivas classificações funcionais, em função do ambiente (rural ou urbano). Visualiza-se que, na maioria dos casos, dois ou mais tipos de interconexão são sugeridos para o local, cabendo ao projetista a escolha por um ou outro tipo em função de requisitos como volumes de tráfego, pontos de conflito, espaço disponível, custos, topografia e compatibilidade com o meio ambiente.

Figura 10 - Recomendações de interconexões em função das vias interceptantes

TIPOS DE VIAS QUE SE INTERCEPTAM		RURAL	URBANA
Vias arteriais principais / Vias locais	Interconexões de serviço		
Vias arteriais principais / Vias coletoras ou arteriais secundárias			
Vias arteriais principais / Vias arteriais principais	Interconexões de sistema		

Fonte: DNIT (2005)

Exemplos de propostas de uso de interconexões em interseções em nível com altos volumes de tráfego podem ser encontrados em vários trabalhos da literatura como Osório (2010), Solek e Marcusso (2018) e Tomazinho e Casotti (2021). Em alguns casos, os níveis de serviço observados nos cálculos podem ser melhorados em pelo menos três níveis – de “F” para “C”, por exemplo – ao se adotar a interconexão no local, tai como observado por Tomazinho e Casotti (2021). Entretanto, a implantação de interconexões exige a superação de algumas dificuldades elencadas pelo DNIT (2005), quais sejam: custos muito elevados, mudanças de nível que podem introduzir modificações indesejáveis no perfil das vias,

estruturas de separação de níveis (viadutos) que podem ser antiestéticos e a não adaptação imediata a interseções com muitos ramos.

Em termos das vantagens das interconexões, o DNIT (2005) elenca várias delas relacionadas ao tráfego em si. Primeiramente, a capacidade do tráfego direto é igualável à capacidade das vias fora do perímetro da interseção. A ausência de conflitos de cruzamento entre os tráfegos diretos também é um fator relevante, além da possibilidade de as velocidades relativas das correntes que se cruzam no local serem razoáveis. Em termos construtivos, pode-se construir a interconexão por etapas, o que facilita o seu uso em vias com acessos limitados.

2.6 Simulação de Tráfego

Com o avanço das tecnologias nos dias atuais, é possível representar e simular digitalmente a realidade dos sistemas de transportes, desde sistemas viários urbanos e rurais até sistemas de transporte coletivo. Os simuladores de tráfego são *softwares* que reproduzem, com maior ou menor precisão, a interação entre os usuários e as infraestruturas, definindo-se as condições de circulação numa determinada rede ou interseção em relação à capacidade de tráfego (ou oferta) e à demanda (VILARINHO, 2008).

Em relação aos modelos de simulação, os mesmos podem ser classificados em três tipos básicos segundo Paravisi *et al.* (2010). O primeiro grupo consiste nos modelos microscópicos, os quais simulam as características de deslocamento dos veículos e são mais indicados a pequenas regiões e intervenções pontuais. O segundo grupo engloba os chamados modelos macroscópicos, que simulam fluxos de tráfego levando em consideração características coletivas ou de um conjunto de indivíduos e são mais indicados a regiões de tamanho considerável. Finalmente, o terceiro grupo compreende os modelos mesoscópicos, os quais combinam propriedades de ambos os modelos citados anteriormente.

Segundo Kotusevski e Hawick (2009), alguns simuladores de tráfego podem ser destacados por serem mais conhecidos e largamente utilizados como o *Simulation of Urban Mobility* (SUMO), o *Corridor Simulation* (CORSIM), o *Verkehr In Städten - SIMulationsmodell* (VISSIM) e o *Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban e Non-Urban Networks* (AIMSUN). Na literatura brasileira, Neris (2014) exemplifica que o simulador VISSIM pode ser utilizado para estudos de

projeto e operações de interseções, paradas de ônibus, viabilidade de implantação de pedágios, interseções em rodovias, dentre outras aplicações.

Gomes (2015) utilizou o AIMSUN em um estudo comparativo das características de tráfego calculadas pelo método norte-americano HCM (*Highway Capacity Manual*) e as obtidas com o AIMSUN, mais especificamente em um segmento rodoviário entre as cidades de Florianópolis e São José (SC). O autor levou em conta características como densidade, velocidade e fluxo, separando a análise em três situações diferentes. Concluiu-se que, em dois dos três cenários considerados, existe uma correlação entre os métodos analisados.

Dentre os simuladores existentes no mercado, o AIMSUN merece um destaque especial. Ele é um simulador microscópico de tráfego e que se destina à representação do comportamento individual de cada veículo em uma determinada população, segundo modelos de microssimulação dos comportamentos dos veículos. O *software* foi desenvolvido pela empresa *Transport Simulation Systems* (TSS) na Espanha. O AIMSUN permite modelar redes atuais ou projetos de intervenção, sendo uma importante ferramenta de análise para a Engenharia de Tráfego. A rede é representada por um conjunto de nós e arcos, que carregam informações sobre diversos parâmetros em sua constituição. Tais parâmetros incluem velocidade máxima, capacidade, largura, comprimento, faixas exclusivas, detectores, tipo de via, sentido de tráfego e regras de prioridade, por exemplo.

O AIMSUN tem a capacidade de combinar a escala temporal contínua com a discreta. Veículos ou detectores têm seu comportamento alterado continuamente ao longo da simulação, ao passo que elementos como os semáforos têm seu estado alterado em instantes específicos antes do início da simulação (CHAVES, 2017). Os fluxos de tráfego nas vias da rede analisada podem ser introduzidos por matrizes O/D (Origem/Destino) inseridas em centroides ou, ainda, pela definição de fluxos de entrada repartidos por direção de circulação.

Há também a possibilidade de se representar no AIMSUN alguns tipos específicos de dispositivos existentes no sistema real, tais como: painéis de mensagens na via para os motoristas, detectores de tráfego, introdução de ruas prioritárias e estratégias de preferência para transportes públicos, detectando sua presença e fornecendo fases semaforicas que lhes dá prioridade sem a necessidade de parada (VILARINHO, 2008). Além de permitir a visualização animada da simulação, cada simulação realizada no *software* fornece dados de saída utilizados

para a análise da rede em estudo, tais como: tempo de espera dos usuários, comprimentos de fila, velocidades máximas e emissão de gases.

Os modelos de microssimulação utilizados para descrição do comportamento dos usuários consistem em três submodelos: *gap acceptance* (aceitação de afastamento), *lane-changing* (mudança de faixa) e *car-following* (seguimento). O *gap acceptance* determina se um veículo não prioritário se habilita a avançar para o interior da interseção, em função da velocidade e posição dos veículos inseridos na interseção, da sua taxa de aceleração e da distância dos veículos. Assim, é possível fornecer o tempo necessário para que o condutor do veículo não prioritário tome a decisão de entrar na interseção (ARAUJO, 2016). No caso do modelo de *lane-changing*, este caracteriza o ato e a decisão do condutor a mudar de faixa em uma via. A realização da manobra é determinada por uma relação entre risco e benefício (CASAS *et al.*, 2010). Finalmente, o modelo *car-following* é responsável por determinar o comportamento do condutor ao seguir um veículo à sua frente, na tentativa de manter distância e velocidade relativa dentro de uma faixa aceitável (SULTAN; BRACKSTONE e McDONALD, 2004).

2.7 Planejamento Urbano

À medida que os grandes centros urbanos crescem e se expandem descontroladamente, surgem os problemas ocasionados por esse crescimento surgem. Um dos grandes problemas enfrentados atualmente pelas cidades reside na busca por uma conciliação entre a vida urbana voltada para o desenvolvimento ambiental e a presença de veículos e pessoas, tudo ocorrendo de maneira saudável (HOFFMANN, MIGUEL e PEDROSO, 2011). O planejamento urbano surge como uma ferramenta para a organização dessas relações entre expansão populacional, mobilidade, demanda por habitação e serviços, dentre outros. Silva, Souza e Rodrigues (2018) apontam que o planejamento urbano é uma atividade que busca prever a evolução dos processos, problemas e dificuldades gerados no momento atual, estabelecendo simulações de possíveis cenários futuros e indicando soluções mais eficazes para a mitigação e prevenção de tais problemas.

No contexto da falta ou inexistência de projetos de planejamento urbano, é possível citar a diminuição da demanda pelo transporte público. Na opinião de Marques (2014), a redução na demanda deste tipo de transporte transfere os custos da operação para a parcela da população que ainda o utiliza, além de um aumento

da frota de veículos particulares. O próprio Estado acelera esta mudança de modal ao oferecer subsídios e isenções que beneficiam o transporte motorizado individual. Conforme Hoffmann, Miguel e Pedroso (2011), o incentivo ao uso do transporte público urbano torna-se interessante na medida em que seu uso se torna mais frequente, ocasionando menos veículos motorizados nas ruas, uma melhor fluidez do trânsito e menores índices de congestionamentos.

3 METODOLOGIA

3.1 Descrição da Interseção

O cruzamento entre a Avenida JK e a Rua Eduardo Sprada, situado no bairro Cidade Industrial de Curitiba, está próximo a alguns polos geradores de tráfego como a Universidade Positivo (UP), a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), a montadora Volvo e um grande número de indústrias ao redor. Também é importante pontuar o alto fluxo de viajantes entre Curitiba/PR e Campo Largo/PR, os quais realizam seus percursos ao longo da Rua Eduardo Sprada. Finalmente há uma grande quantidade de linhas de ônibus urbanos e metropolitanos que trafegam pelo local.

A Avenida JK atua como via de trânsito rápido e marginal do chamado Contorno Sul (rodovias BR-376 e BR-277). As pistas desta avenida possuem mão dupla em ambos os casos, tanto na marginal direita quanto na marginal esquerda do Contorno. A Rua Eduardo Sprada também se configura como uma via de mão dupla, sendo classificada como via coletora e possuindo duas faixas por sentido em um lado do cruzamento e uma faixa por sentido no outro lado (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2020). Em outras palavras, o cruzamento em questão é dividido em duas interseções em nível, tal como mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Interseção entre a Avenida JK e a Rua Eduardo Sprada, em Curitiba/PR



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2020)

3.2 Situação Atual da Interseção e Proposta para a Nova Interseção

Considerando as duas pistas da Avenida JK, a interseção atual é composta por oito semáforos, sendo quatro deles em cada uma das marginais. A partir de informações como planos semaforicos, estágios, ciclos e tempos de verde, de amarelo e de vermelho, Solek e Marcusso (2018) avaliaram a capacidade e o nível de serviço da interseção na marginal leste e para os volumes de tráfego atual e futuro. Com nos métodos descritos no manual do DENATRAN (1984), os autores concluíram que a interseção estava operando acima da capacidade projetada, necessitando assim de uma reformulação que melhore as suas condições operacionais.

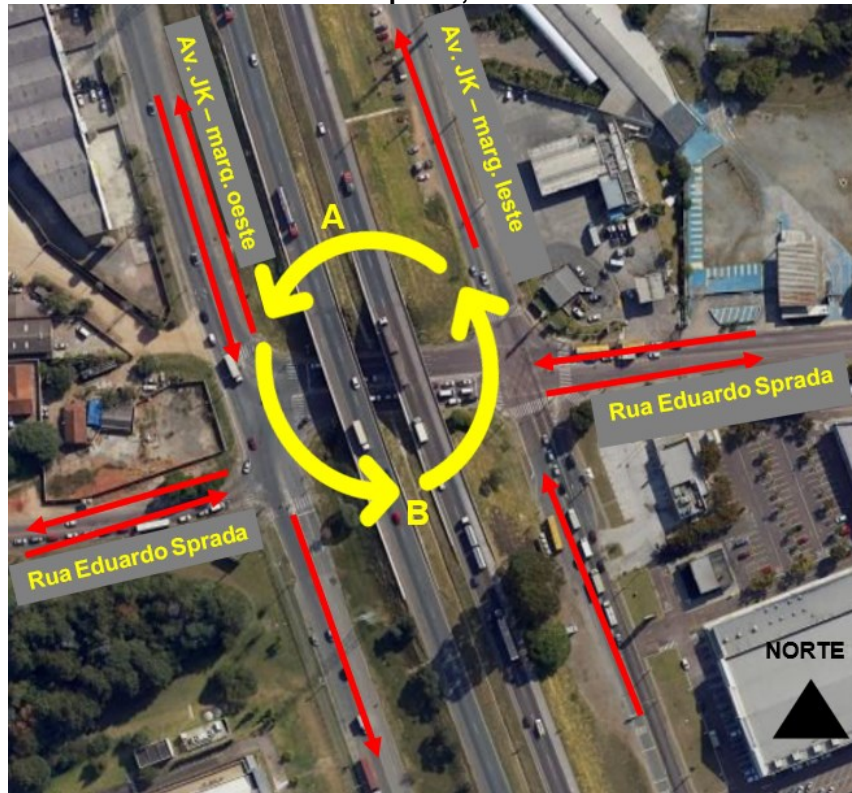
Solek e Marcusso (2018) também apresentaram duas alternativas de melhoria para a interseção situada na marginal leste, sendo uma delas a adoção de uma rotatória moderna com duas faixas de tráfego. Tal proposta resultou em um nível de serviço “A” para o ano de 2018, porém, com o tráfego projetado para o ano de 2033, o nível de serviço resultante seria “F”. Igualmente no caso da turbo-rotatória, os autores constataram que o desempenho seria ruim em praticamente todas as aproximações da interseção, com tempos de espera maiores que 45 s em todos os cenários avaliados nos cálculos.

Considerando as observações preliminares apontadas na pesquisa de Solek e Marcusso (2018), o presente trabalho tem por iniciativa principal a unificação das interseções entre a Rua Eduardo Sprada e a Avenida JK em uma única rótula, com as duas pistas do Contorno Sul passando por cima dela. Assim, a interseção proposta para o local seria enquadrada tecnicamente como giratório segundo o manual do DNIT (2005). Tendo em vista as limitações de espaço do local, algumas restrições de acesso à rótula precisam ser adotadas. De modo particular, as marginais devem possuir mão única nas entradas e nas quadras imediatamente anteriores às mesmas. Além disso, os viadutos atualmente existentes no Contorno Sul devem ser readequados quanto às suas extensões e localizações, o que poderia causar transtornos aos usuários durante o período de execução das obras. Um esboço de como seria a alternativa é mostrado na Figura 12.

Considerando as condicionantes supramencionadas e as recomendações elencadas pelo DENATRAN (1991), optou-se por escolher um giratório em formato elíptico. Os pontos A e B mostrados na Figura 12 corresponderiam aos novos viadutos, de modo que o viaduto atual seria interdito. A rótula em si possuiria duas

faixas de tráfego e, por sua vez, a Rua Eduardo Sprada possuiria duas faixas de aproximação e duas faixas de saída em cada sentido de circulação.

Figura 12 - Esboço para a proposta de interconexão do tipo giratório entre a Avenida JK e a Rua Eduardo Sprada, em Curitiba/PR



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2020)

3.3 Contagem de Tráfego

Os dados referentes à contagem de tráfego da interseção foram fornecidos pela empresa MOBPLAN Engenharia e obtidos através de pesquisa volumétrica no local estudado. A referida pesquisa foi realizada no ano de 2015, sendo consideradas as categorias de veículos a seguir: automóveis, ônibus, caminhões, motos e bicicletas. Os intervalos de tempo considerados compreenderam os períodos de pico da manhã (entre 06h30min e 09h30min) e da tarde (entre 17h00min e 20h00min). A MOBPLAN Engenharia também forneceu dados sobre o fluxo de pedestres na interseção e nos mesmos intervalos de tempo selecionados para os veículos, porém no ano de 2016. As contagens originais de tráfego de veículos e de fluxos de pedestres podem ser conferidas em MOBPLAN Engenharia (2015, 2016).

Para que seja possível a aplicação dos dados fornecidos pela MOBPLAN Engenharia no referido estudo, é necessária uma projeção para os anos de 2022, 2027 e 2032. Essas projeções são baseadas no crescimento da frota de veículos em

Curitiba/PR e no período de 2007 a 2022, conforme dados públicos disponibilizados pelo Departamento de Trânsito do Paraná – DETRAN (DETRAN, 2022b). É importante salientar que o crescimento da frota de uma determinada cidade ou região pode ser maior que o crescimento do fluxo de tráfego em um determinado local. Em outras palavras, nem sempre o incremento de veículos reflete automaticamente em um aumento do fluxo de tráfego em uma determinada via ou interseção.

A contagem de pedestres foi igualmente projetada para os anos de 2022, 2027 e 2032, considerando o crescimento populacional de Curitiba/PR entre os anos de 2006 e 2021. A mesma observação para o crescimento da frota de veículos deve ser aplicada para o crescimento populacional, ou seja, o crescimento populacional de uma cidade pode ser maior que o aumento do fluxo de pedestres em uma interseção específica. Desta forma, as estimativas de crescimento adotadas no trabalho em questão indicam um cenário pessimista.

3.4 Capacidade e Nível de Serviço da Rótula Segundo o DNIT

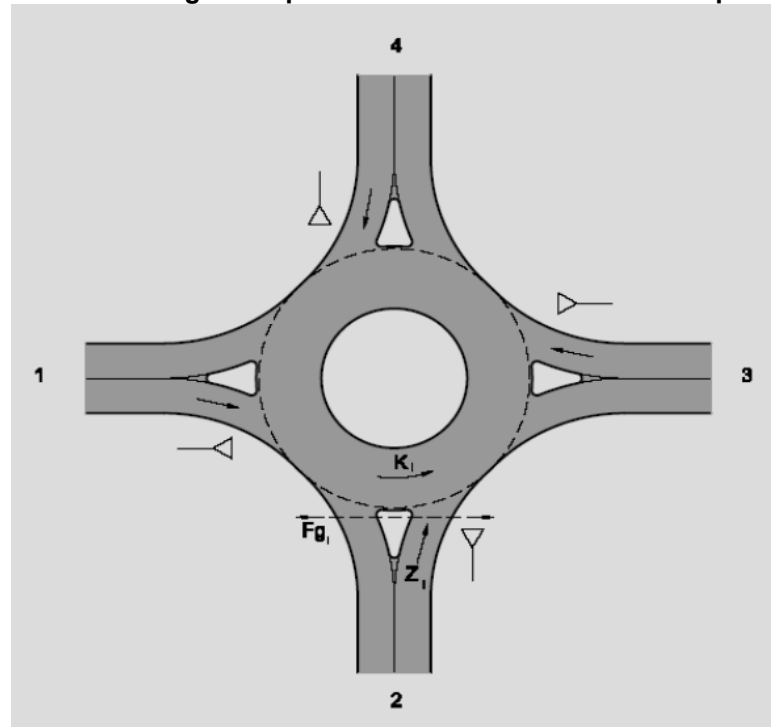
Para a determinação das capacidades e dos níveis de serviço das entradas da rótula, optou-se por seguir o método descrito no Manual de Projeto de Interseções do DNIT (2005), o qual é mais atualizado se comparado a outros métodos como o do DENATRAN (1991). Para aplicação do método do DNIT (2005), é necessário seguir um roteiro conforme descrito a seguir.

Primeiramente, deve-se elaborar uma matriz de origem e destino dos fluxos (O/D), a qual é fundamental para se conhecer as entradas e saídas dos veículos que chegam à interseção. Desta forma, é possível determinar todos os fluxos nos ramos, independentemente da solução adotada no projeto. A Figura 13 exemplifica um esquema para o caso de uma rótula de quatro ramos ou aproximações. Nos estudos de tráfego, devem ser feitas contagens classificatórias de origem e destino nos períodos de pico e separando os veículos segundo as suas mais variadas categorias, quais sejam: carros de passeio (VP), caminhões/ônibus (CO), semirreboques/reboques (SR/RE), motocicletas (M) e bicicletas (B).

As matrizes O/D devem ser transformadas em veículos equivalentes a carros de passeio (UCP), multiplicando-se cada fluxo veicular por categoria pelo respectivo fator de equivalência. O DNIT (2005) confere fatores de equivalência para cada categoria de veículo, conforme Tabela 4 a seguir. Caso não haja qualquer

classificação veicular nas contagens de tráfego, adota-se o fator 1,10 – referente à categoria Sem Identificação (SI).

Figura 13 - Fluxos de tráfego e de pedestres na rótula e em suas respectivas entradas



Fonte: DNIT (2005)

Tabela 4 - Fatores de equivalência veicular na rótula e em unidades de carros de passeio (UCP)

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

Fonte: DNIT (2005)

Uma matriz origem-destino final é então definida, sendo esta constituída por Unidades de Carros de Passeio Equivalentes. A partir dela, é possível definir os volumes de tráfego que chegam à rotatória em cada um dos acessos, sendo estes definidos como Z_1 , Z_2 , Z_3 e Z_4 . Também é possível definir os volumes de tráfego na rotatória antes de cada entrada (ou fluxo circulante), sendo designados como K_1 , K_2 , K_3 e K_4 . Para a rótula da Figura 13 acima, estes fluxos circulantes são calculados pelas Equações (1) a (4) a seguir, em que O_i/D_j corresponde ao fluxo com origem no acesso i e destino no acesso j .

$$K_1 = O_3D_2 + O_4D_2 + O_4D_3 \quad (1)$$

$$K2 = O_1D_3 + O_1D_4 + O_2D_4 \quad (2)$$

$$K3 = O_2D_1 + O_1D_4 + O_2D_4 \quad (3)$$

$$K4 = O_2D_1 + O_3D_1 + O_3D_2 \quad (4)$$

Posteriormente, são determinadas as capacidades básicas de cada uma das entradas da rótula (G_i) conforme Equação (5):

$$G_i = 3600 \left(1 - \frac{t_{min} * K_i}{n_k * 3600} \right) * \frac{n_z}{t_f} * \exp \left[-\frac{K_i}{3600} * \left(t_g - \frac{t_f}{2} - t_{min} \right) \right] \quad (5)$$

Em que:

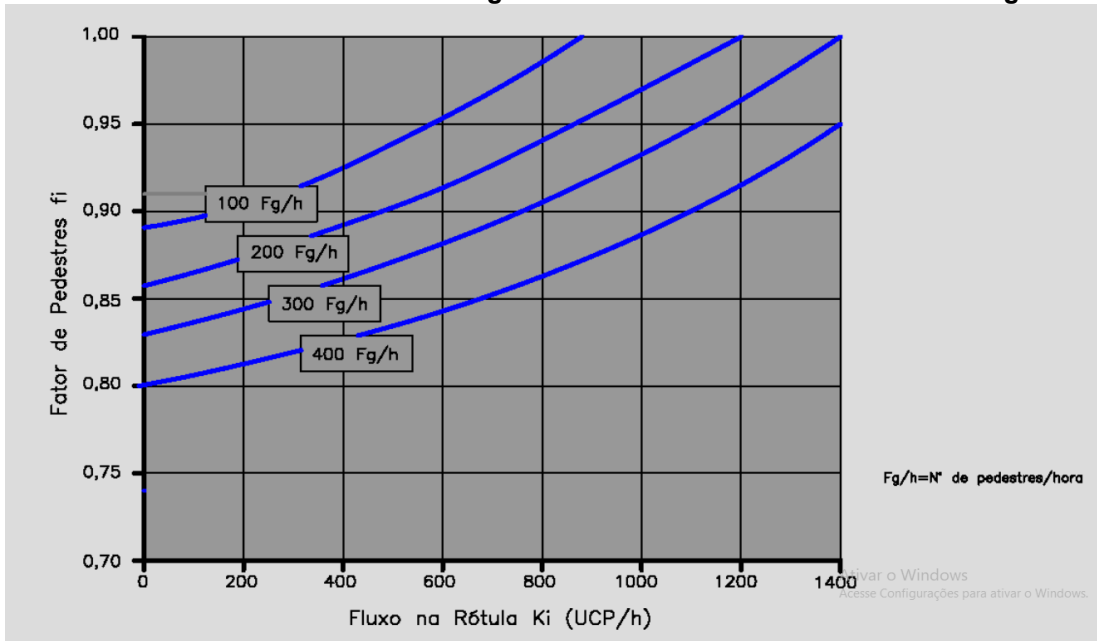
- G_i = capacidade básica da entrada i (UCP/h);
- K_i = fluxo de tráfego na pista rotatória i (UCP/h);
- n_k = número de faixas de tráfego na pista rotatória antes da entrada i ;
- n_z = número de faixas de tráfego na entrada i ;
- t_g = valor médio do intervalo mínimo entre veículos na rotatória, aceitável por veículos na entrada aguardando oportunidade de entrar (s) – igual a 4,1 s;
- t_f = valor médio do intervalo entre dois veículos sucessivos da entrada, que entram no mesmo intervalo de veículos da rotatória (s) – igual a 2,9 s; e
- t_{min} = valor mínimo do intervalo entre veículos da rótula (s) – igual a 2,1 s.

Cada entrada da rotatória moderna (i) deve levar em conta a redução da capacidade causada pela interferência dos pedestres que atravessam os acessos. Para tal condição, o Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005) considera a determinação de um fator de redução definido como Fator de Pedestres (f_i). Tal fator é determinado em função do número de pedestres por hora (Fg/h). Para o caso de uma entrada com duas faixas de tráfego a uma rótula com duas faixas de tráfego, o parâmetro f_i pode ser obtido através do gráfico da Figura 14.

De posse dos valores de f_i para cada entrada, a capacidade corrigida da respectiva entrada (C_i) pode ser determinada pela Equação (6), com o valor final sendo reportado em Unidades de Carro de Passeio por hora (UCP/h).

$$C_i = G_i \times f_i \quad (6)$$

Figura 14 - Fator de redução (f_i) para considerar a influência da travessia de pedestres de uma entrada com duas faixas de tráfego a uma rótula com duas faixas de tráfego



Fonte: DNIT (2005)

A partir da determinação da capacidade corrigida C_i , é possível obter a capacidade residual da entrada (R_i em UCP/h). Este parâmetro R_i pode ser entendido como a sobra de capacidade na entrada ou, em termos simplificados, o “restante de capacidade” que a entrada possui. Seu valor é calculado através da Equação (7) a seguir, em que Z_i é o fluxo de tráfego na entrada considerada (em UCP/h).

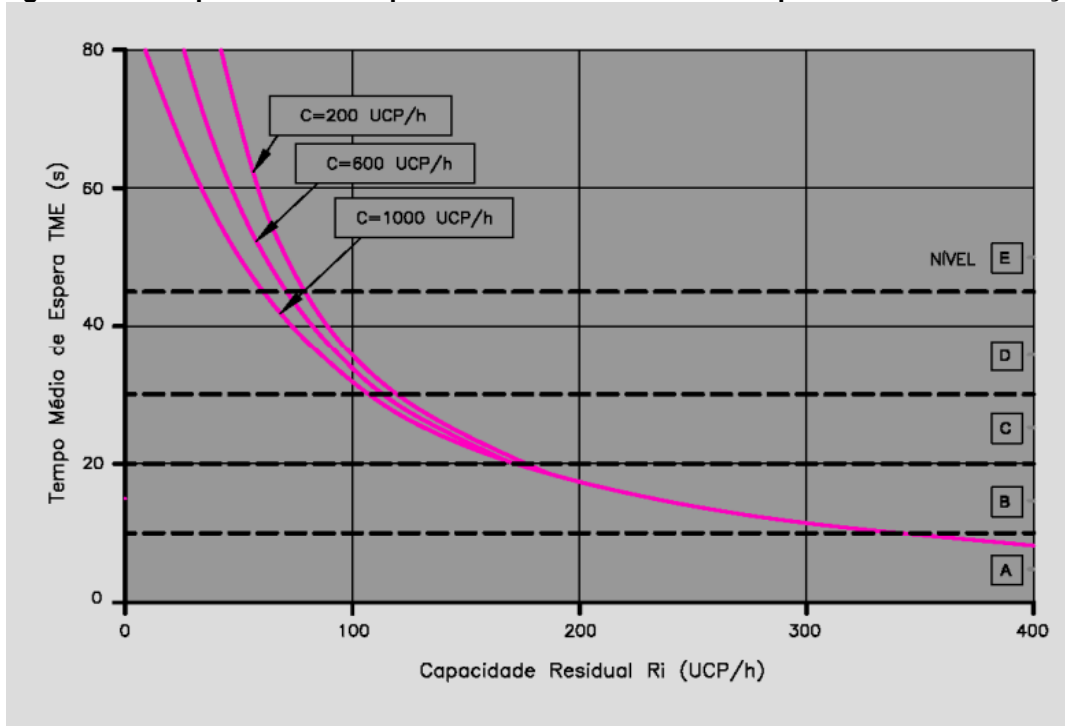
$$R_i = C_i - Z_i \quad (7)$$

O método do DNIT (2005) também estabelece um Tempo Médio de Espera (TME_i) de cada entrada, em segundos, e obtido a partir do gráfico da Figura 15. Seu valor depende da capacidade residual R_i e da capacidade corrigida C_i , sendo interpolado entre as curvas do gráfico quando necessário. Cabe destacar que, quando o valor de R_i é negativo, o nível de serviço da entrada correspondente é “F”.

Além dos valores individuais de TME_i , também é possível calcular um valor global e referente à rótula como um todo. Este valor é designado como Tempo Médio de Espera da Rótula ($TMER$), sendo definido como a média ponderada dos tempos de espera TME_i dos acessos i e adotando como peso os volumes de tráfego Z_i – vide Equação (8). O nível de serviço da rótula é então determinado conforme intervalos listados na Tabela 5, a cada um dos quais é associado um nível de serviço específico.

$$TMER = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_i \times TME_i}{\sum Z_i} \right) \quad (8)$$

Figura 15 - Tempo médio de espera na entrada da rótula e respectivo nível de serviço



Fonte: DNIT (2005)

Tabela 5 - Níveis de serviço em função dos tempos médios de espera na rótula

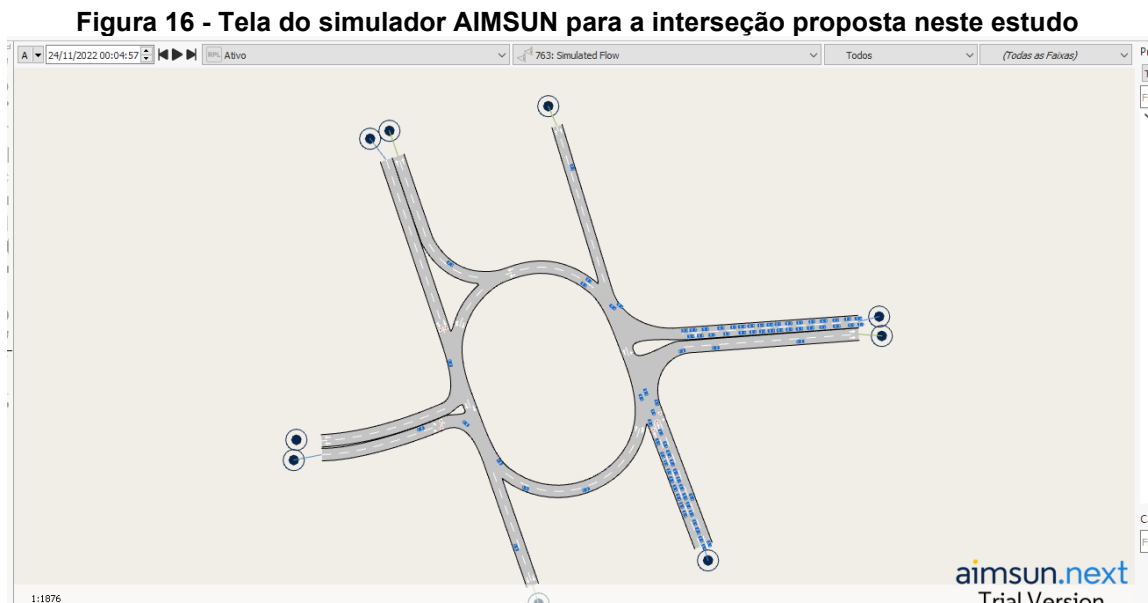
Tempo Médio de Espera TME (S)	Nível de Serviço (NS)
≤ 10	A
≤ 20	B
≤ 30	C
≤ 45	D
> 45	E
$R_i < 0$	F

Fonte: DNIT (2005)

3.5 Simulações de Tráfego no AIMSUN

Neste trabalho, as simulações de tráfego foram realizadas utilizando o *software* AIMSUN para a rotatória proposta. A simulação baseou-se nos seguintes procedimentos: (i) modelagem da interseção no *software*, com os respectivos sentidos de tráfego, faixas e aproximações; (ii) inserção dos fluxos de tráfego por meio do fluxo de cada movimento projetados para os anos de 2027 e 2032; e (iii) execução das simulações para um tempo total de 60 min, realizando 10 repetições

para cada ano de projeto. A Figura 16 a seguir apresenta um *print screen* da tela do AIMSUN durante o processo de simulação.



Fonte: Autoria própria (2022)

Alguns parâmetros tiveram de ser considerados na simulação para uma representação mais próxima da realidade. Por exemplo, um *warm-up time* ou tempo de aquecimento da rede foi necessário para garantir que a interseção estivesse consideravelmente ocupada ao início da simulação. Sem esse tempo de aquecimento, a rede estaria vazia – ou seja, sem veículos no início da simulação – e isto torna a mesma não condizente com a realidade. O tempo de aquecimento adotado foi de 15 min, suficiente para o início da simulação. Também houve a necessidade de simular o local mais de uma vez, pois, quanto maior o número de replicações, mais próximo da realidade fica a simulação. Para tanto, o *software* realiza automaticamente o número de ensaios exigidos pelo usuário. Em termos do presente trabalho, adotou-se um número total de 10 replicações, muito comum na literatura conforme descrito em Porto (2015).

Ao final da simulação, é possível coletar diversas informações referentes ao sistema como um todo (interseção e aproximações) e às seções de forma separada – ou seja, para cada aproximação ou segmento da rotatória. Neste estudo, foram coletados os seguintes parâmetros: (a) o fluxo de entrada em cada aproximação; (b) o tempo de atraso; (c) o tempo médio de espera em cada aproximação; e (d) a média

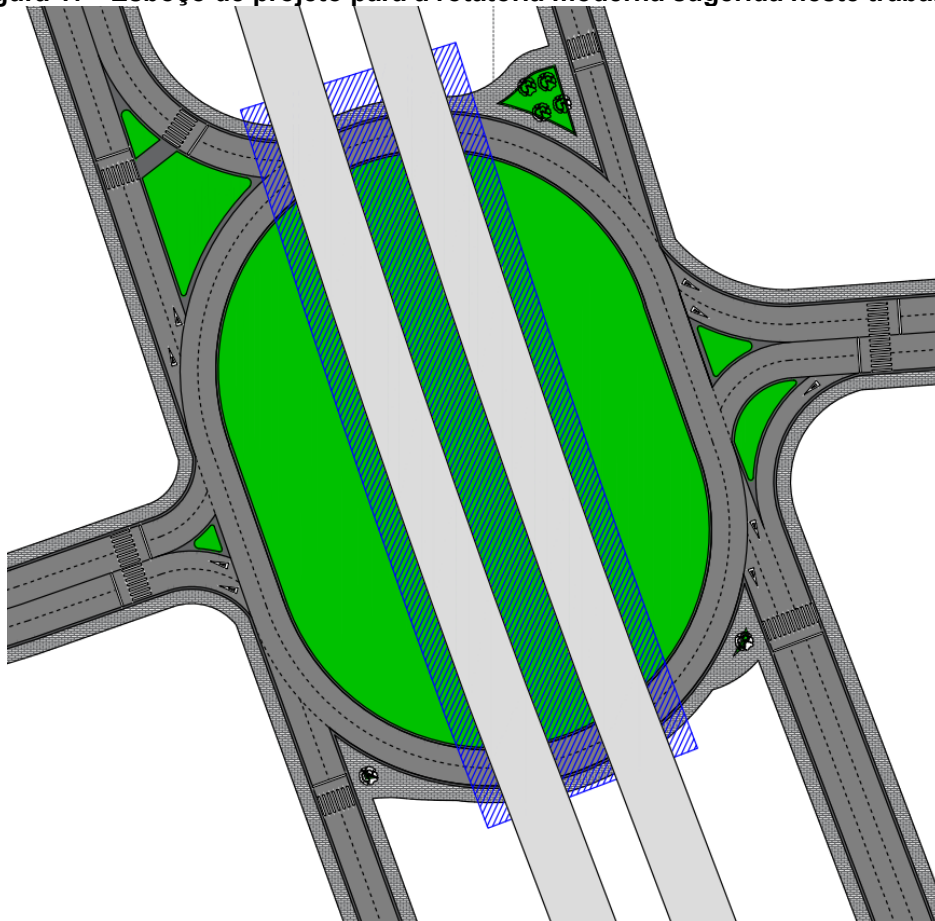
dos veículos em cada ramo de aproximação. O fluxo de entrada em cada aproximação está relacionado à sua capacidade real. Por sua vez, o tempo de atraso e o tempo médio de espera estão relacionados ao desempenho da interseção e indicam níveis de operação, sendo o tempo de atraso a parcela indesejada pelos usuários em cada aproximação. Finalmente, maiores valores para a velocidade média dos veículos sinalizam um melhor desempenho do local (SOUZA, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um dos requisitos para conclusão desta pesquisa consiste no desenvolvimento de um anteprojeto da interseção sugerida para o local, contendo os elementos geométricos da interconexão e buscando um equilíbrio entre segurança e capacidade. Desta forma, foi possível estimar as capacidades de tráfego em cada uma das entradas da interseção segundo os protocolos do DNIT (2005) e, conseqüentemente, obter os níveis de serviço correspondentes e para os anos de 2027 e 2032.

Primeiramente, foi elaborado um esboço do projeto da rotatória moderna conforme representado na Figura 17. As dimensões detalhadas da interseção podem ser verificadas no Apêndice A deste trabalho. Na sequência, foi obtido um crescimento projetado da frota de veículos para os anos de 2027 e 2032, bem como um crescimento projetado da população. De posse destes dados, foi possível obter a capacidade das entradas da rotatória e seus respectivos níveis de serviço.

Figura 17 - Esboço de projeto para a rotatória moderna sugerida neste trabalho

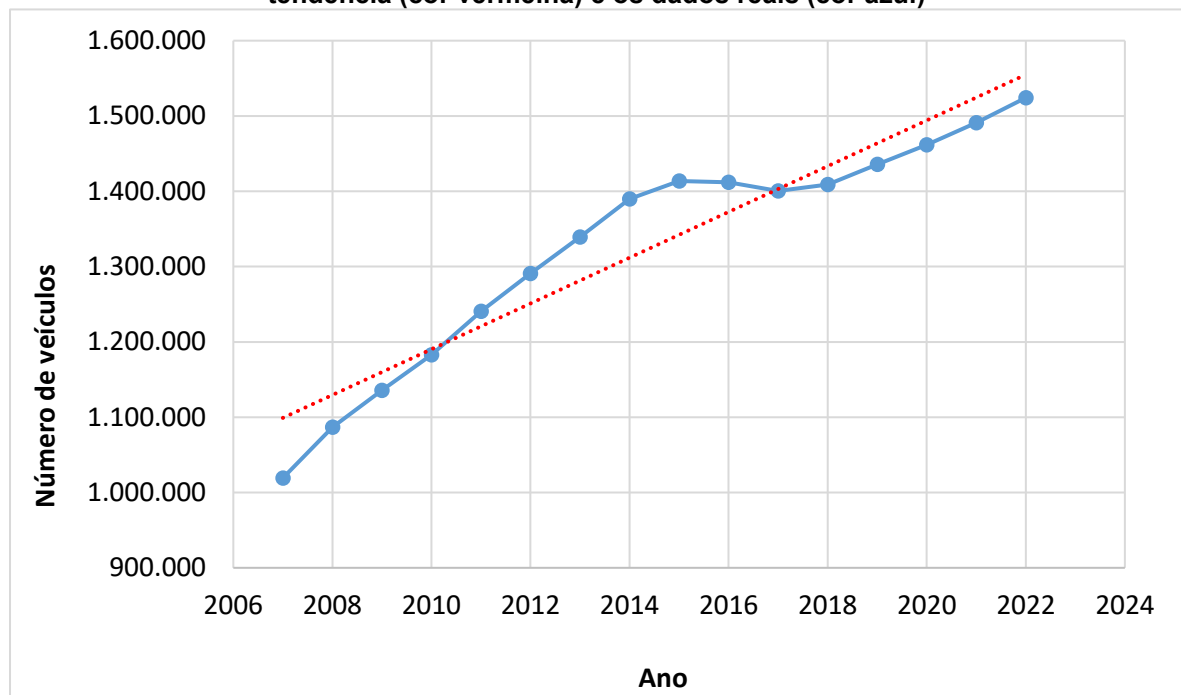


Fonte: Autoria própria (2022)

4.1 Projeção de Crescimento da Frota e População

A projeção do crescimento da frota de veículos em Curitiba foi determinada a partir de dados fornecidos pelo DETRAN-PR, no intervalo entre setembro/2007 e setembro/2022 (DETRAN-PR, 2007, 2022a, 2022b). Foi assumido um crescimento linear da frota, conforme já adotado por outros autores (SOLEK e MARCUSSO, 2018; REGINALDO, 2015). Por meio de uma regressão linear feita no *software* Microsoft Excel, foi possível obter uma equação linear dada por $y = 30390,6x - 59894839,9$. No gráfico da Figura 18, o eixo das abscissas representa o ano e o eixo das ordenadas, o número de veículos. A partir desta análise, verificou-se que o número de veículos crescerá 20,74% no ano de 2027 e crescerá 31,49% no ano de 2032.

Figura 18 - Evolução da frota de veículos na cidade de Curitiba, com destaque para a linha de tendência (cor vermelha) e os dados reais (cor azul)

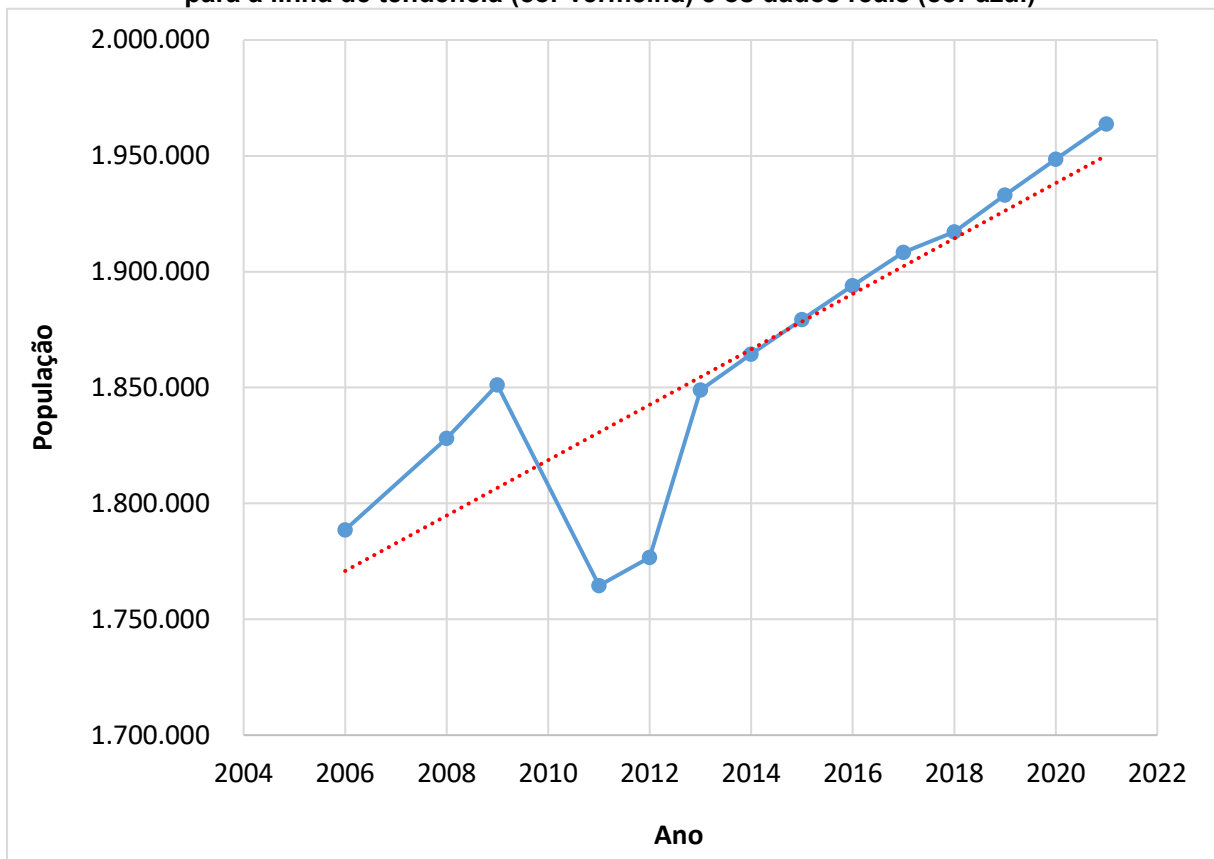


Fonte: Adaptado de DETRAN-PR (2007, 2022a, 2022b)

Por sua vez, a projeção do crescimento populacional em Curitiba foi obtida a partir de dados públicos fornecidos pelo Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES), no intervalo de 2006 a 2021 (IPARDES, 2022). Da mesma forma, foi assumido um crescimento linear da população. Através do método de regressão linear, foi possível obter uma equação aproximada e dada por $y = 11956,4x - 22213692$. Assim, foi possível estimar as populações do município ao longo do tempo considerado para o horizonte de projeto.

No gráfico da Figura 19, o eixo das abscissas representa o ano e o eixo das ordenadas representa a população. A partir desta análise, observou-se que a população de Curitiba/PR crescerá 6,75% ano de 2027 e crescerá 9,91% no ano de 2032. Interessante observar que houve uma queda de aproximadamente 100 mil habitantes entre os anos de 2009 e 2011.

Figura 19 - Evolução do crescimento populacional na cidade de Curitiba/PR, com destaque para a linha de tendência (cor vermelha) e os dados reais (cor azul)



Fonte: Adaptado de IPARDES (2022)

De posse dos crescimentos aproximados para os fluxos de veículos e de pedestres, foi possível estimar os quantitativos de veículos e pedestres que transitarão pela interseção nos anos de 2027 e 2032.

4.2 Capacidades e Níveis de Serviço para os Anos de Projeto

Analisando os dados fornecidos pela MOBPLAN Engenharia (2015, 2016), observou-se que os fluxos eram maiores para a maior parte dos movimentos no período de pico da tarde – das 17h00min às 20h00min. Desta forma, tais fluxos foram utilizados nos processos de cálculo. Ao se adotar os fatores de equivalência já

aplicados pela MOBPLAN Engenharia e dividir as somas dos veículos registrados no período pico da tarde por 3, são obtidos os fluxos para cada movimento. As Tabelas 6 e 7 mostram tais fluxos nos anos de 2027 e 2032, respectivamente. As Figuras 20 e 21 destacam os movimentos atualmente permitidos nas marginais leste e oeste da Avenida JK, respectivamente. Já a Figura 22 apresenta as numerações adotadas em cada aproximação e para a rotatória moderna sugerida no trabalho.

Tabela 6 - Fluxos por movimento (em UCP/h) e no ano de 2027

Ano de Projeto 2027			
Marginal Leste		Marginal Oeste	
Movimento	Fluxo	Movimento	Fluxo
1	263	1	35
2	631	2	165
3	972	3	595
4	775	4	420
5	24	5	8
6	402	6	594
7	322	7	614
8	315	8	9
9 (1)	166	9 (1)	330
9 (2)	233	9 (2)	106
9 (3)	122	9 (3)	184
9 (4)	166	9 (4)	81

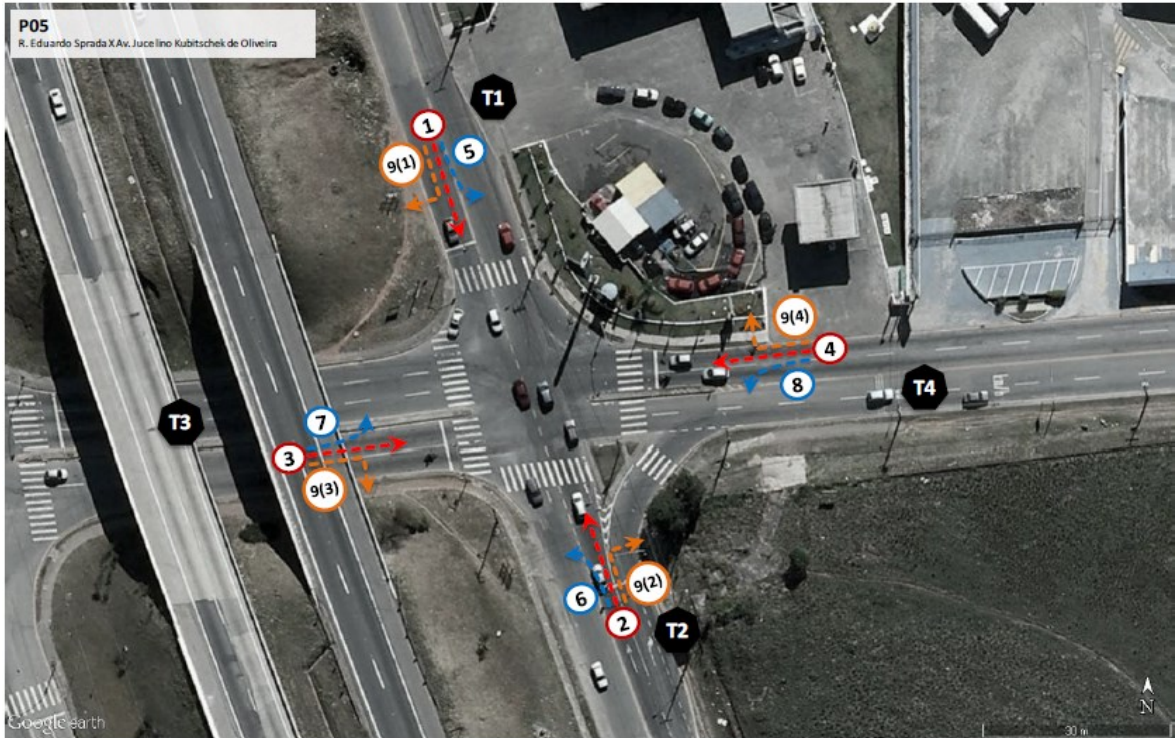
Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 7 - Fluxos por movimento (em UCP/h) e ano de 2032

Ano de Projeto 2032			
Marginal Leste		Marginal Oeste	
Movimento	Fluxo	Movimento	Fluxo
1	286	1	37
2	687	2	179
3	1.059	3	646
4	843	4	458
5	26	5	9
6	437	6	647
7	351	7	668
8	343	8	9
9 (1)	180	9 (1)	359
9 (2)	254	9 (2)	115
9 (3)	133	9 (3)	200
9 (4)	103	9 (4)	88

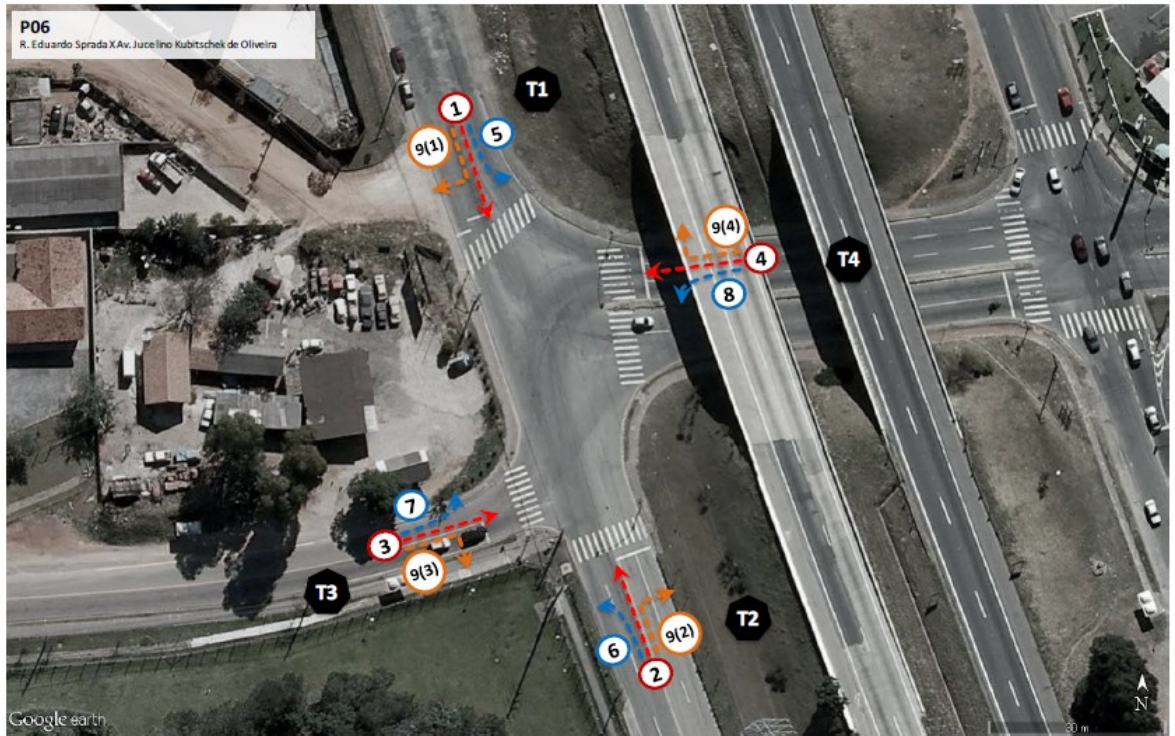
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 20 - Movimentos atualmente permitidos na marginal leste da Avenida JK



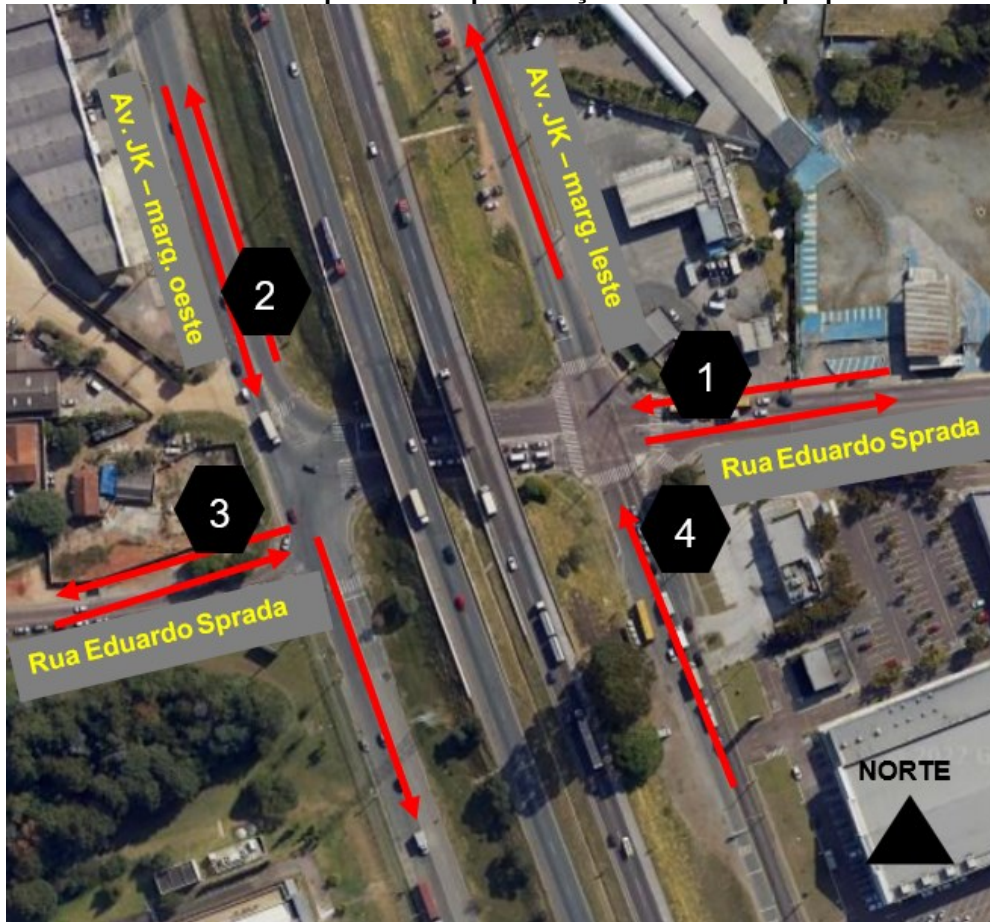
Fonte: MOBPLAN Engenharia (2015)

Figura 21 - Movimentos atualmente permitidos na marginal oeste da Avenida JK



Fonte: MOBPLAN Engenharia (2015)

Figura 22 - Números adotados para cada aproximação na rotatória proposta neste estudo



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2020)

Devido às restrições de sentidos necessárias e explicadas no Capítulo 3 (subitem 3.2), alguns movimentos tiveram de ser realocados para aproximações adjacentes. No caso da marginal leste (Figura 20), o fluxo atual no sentido norte-sul e que inclui os movimentos 1, 5 e 9(1) passa a ser desviado para vias locais à esquerda. Assume-se, portanto, que o movimento 9(1) retorna à interseção pela aproximação T4 da Figura 20. Situação semelhante acontece na marginal oeste (Figura 21), em que o fluxo atual no sentido sul-norte e que engloba movimentos 2, 6 e 9(2) passa a ser desviado para vias locais à esquerda. Desta maneira, assume-se que os movimentos 2 e 9(2) retornam à interseção pela aproximação T3 (Figura 21).

Tendo então definidos os fluxos de cada movimento, foi possível estimar os fluxos circulantes na rótula e antes de cada entrada (K_i), tanto para o ano de 2027 quanto para o ano de 2032. Devido ao fato de que as contagens de tráfego são separadas por marginal (oeste e leste), foi necessário juntá-las para conclusão do processo. De posse dos valores individuais de K_i e dos números de faixas nas

entradas e na pista rotatória (Figura 17 e Apêndice A), foi possível determinar todos os demais parâmetros preconizados pelo DNIT (2005), quais sejam: capacidades básicas G_i , fatores de pedestres f_i , capacidades corrigidas C_i e capacidades residuais R_i . Todos estes parâmetros estão discriminados nas Tabelas 8 e 9 e para os anos de 2027 e 2032, respectivamente.

Tabela 8 - Variáveis para determinação do nível de serviço na rótula e no ano de 2027

Ano de Projeto 2027					
Aproximação	K_i (UCP/h)	G_i (UCP/h)	f_i	C_i (UCP/h)	R_i (UCP/h)
1	2134	255	1,00	255	-681
2	1014	1054	1,00	1054	664
3	52	2388	0,91	2174	534
4	1488	633	1,00	633	-321

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 9 - Variáveis para determinação do nível de serviço na rótula e no ano de 2032

Ano de Projeto 2032					
Aproximação	K_i (UCP/h)	G_i (UCP/h)	f_i	C_i (UCP/h)	R_i (UCP/h)
1	2322	181	1,00	181	-770
2	1105	963	1,00	963	546
3	55	2383	0,91	2169	329
4	1617	270	1,00	270	-575

Fonte: Autoria própria (2022)

Nota-se que, para o ano de 2027 (Tabela 8), as capacidades residuais das aproximações 1 e 4 são menores que zero. Em outras palavras, os níveis de serviço para as duas aproximações podem ser definidos como “F”. No caso das aproximações 2 e 3, as capacidades residuais são superiores a 600 e 500 UCP/h, respectivamente – o que resulta em um nível de serviço “A” e um valor de TME inferior a 10 s para ambas as aproximações.

Para o ano de 2032 (Tabela 9), as capacidades residuais das aproximações 1 e 4 continuam sendo inferiores a zero, o que se traduz em um nível de serviço “F” para todas elas. No caso da aproximação 2, a capacidade residual elevada (superior a 500 UCP/h) novamente acarreta um valor de TME inferior a 10 s e, conseqüentemente, um nível de serviço “A”. Por sua vez, a aproximação 3 tende a um nível de serviço entre “A” e “B” e a um valor de TME de aproximadamente 10 s.

É importante lembrar que, segundo o DNIT (2005), a rótula como um todo estará no nível “F” se uma das aproximações também o estiver. Desta forma, pode-se

dizer que a rótula proposta no estudo não confere um bom desempenho à interseção e registra congestionamentos em pelo menos três das suas aproximações no ano de 2032. A mesma conclusão se aplica no ano de 2027, com registros de congestionamentos em duas das quatro aproximações da rótula.

4.3 Simulações de Tráfego e Principais Resultados

O Apêndice B (Figuras 23 a 54) resume os principais resultados coletados com o simulador de tráfego AIMSUN e que auxiliam na obtenção de conclusões importantes que corroboram os cálculos realizados segundo o método do DNIT (2005). De uma forma resumida, as Tabelas 10 e 11 a seguir mostram os principais resultados obtidos com o AIMSUN. Pode-se notar que os usuários desperdiçam uma quantidade considerável de tempo no local (tempo de atraso), tanto para o ano de 2027 quanto para o ano de 2032. Tal cenário é complementado pelo fato de as velocidades médias dos veículos serem excessivamente baixas para algumas aproximações, e. g., aproximações 1 e 4 e para ambos os anos de 2027 e 2032 (valores inferiores a 10 km/h).

Tabela 10 – Resultados obtidos com a simulação no AIMSUN e para o ano de 2027

Aproximação	Fluxo de Entrada (UCP/h)	Tempo de Atraso (s)	Tempo Médio de Espera (s)	Velocidade Média (km/h)
1	936	121,42	118,94	3,04
2	390	6,29	3,87	36,20
3	1640	1,44	0,32	45,05
4	954	94,56	92,90	8,19

Fonte: Autoria própria (2022)

Tabela 11 – Resultados obtidos com a simulação no AIMSUN e para o ano de 2032

Aproximação	Fluxo de Entrada (UCP/h)	Tempo de Atraso (s)	Tempo Médio de Espera (s)	Velocidade Média (km/h)
1	951	119,36	127,67	3,09
2	417	7,15	5,37	32,82
3	1840	1,90	0,27	42,24
4	845	116,94	115,92	8,66

Fonte: Autoria própria (2022)

Para o ano de 2027, a aproximação 1 apresenta um fluxo de entrada superior à capacidade analítica (DNIT, 2005) em pelo menos três vezes. No caso da aproximação 4, o fluxo de entrada é ligeiramente maior que a sua respectiva capacidade. Em termos do ano de 2032, a aproximação 1 apresenta um fluxo de entrada que supera a respectiva capacidade segundo o DNIT (2005) em pelo menos cinco vezes. Para a aproximação 4 e o mesmo ano de 2032, o fluxo de entrada supera a capacidade correspondente em pelo menos três vezes.

Em relação aos tempos de atraso (parcela de tempo em que os usuários não desejam permanecer na entrada da interseção), destaca-se o fato de que a aproximação 1 registra um tempo de quase 2 min no ano de 2027. O mesmo ocorre com as aproximações 1 e 4 no ano de 2032. Para estas mesmas aproximações e anos de projeto, o tempo médio de espera – tempo em que os veículos aguardam parados para entrarem na rótula – também registrou valores próximos a 2 min para todos os casos. Em termos das aproximações 2 e 3, velocidades médias de tráfego superiores a 30 km/h e tempos de atraso e de espera muito baixos (até 8 s) são indicativos de bons níveis de serviço, o que se comprova nas capacidades residuais elevadas para as duas aproximações (Tabelas 8 e 9).

Verifica-se, portanto, que os dados do AIMSUN corroboram as observações já constatadas nos cálculos de capacidade e nível de serviço segundo o DNIT (2005), além de providenciar dados adicionais para julgamento da viabilidade técnica da interseção estudada. Em outras palavras, não é possível dizer que a rótula proposta para o local é tecnicamente viável sob os pontos de vista de fluidez do tráfego e de nível de serviço, tendo em vista que suas dimensões e capacidades de escoamento dos fluxos são insuficientes para atender às demandas projetadas de veículos em cada aproximação.

5 CONCLUSÕES

A interseção entre a Rua Eduardo Sprada e a Avenida Juscelino Kubitschek de Oliveira é um ponto bastante problemático, apresentando ocorrências constantes de sinistros de trânsito, elevado fluxo de veículos e altos níveis de congestionamento. Neste trabalho, foi proposta uma remodelação da interseção atual e considerando as duas pistas marginais do chamado Contorno Sul (marginais leste e oeste da Avenida JK), mais especificamente no formato de uma interconexão do tipo giratório. Neste caso, ambas as marginais passariam a ter sentido único de circulação nas proximidades da interseção, sendo a marginal leste mão única sentido norte e a marginal oeste mão dupla sentido sul.

Para avaliar se a proposta é tecnicamente viável para atender à demanda de veículos no 5º e no 10º anos, foram obtidos a capacidade e o nível de serviço da rótula e de suas entradas, segundo os protocolos fornecidos pelo Manual de Projeto de Interseções do DNIT. Para o ano de 2027, metade das aproximações (duas) possuiriam nível de serviço “F” e a outra metade, nível de serviço “A”. Um cenário muito parecido ocorre no ano de 2032, a saber, duas aproximações com nível de serviço “F” e outras duas com nível “B” ou superior. Em sendo assim, a interseção como um todo apresentaria nível de serviço igual a “F” nos dois anos selecionados para a pesquisa. As informações coletadas no simulador de tráfego AIMSUN corroboram tais constatações, destacando aspectos como tempo médio de espera elevado, muito tempo desperdiçado no local (tempo de atraso elevado) e velocidades médias baixas para os veículos nas aproximações mais críticas.

Sabe-se que as perspectivas de crescimentos populacionais e da frota de veículos adotadas neste trabalho são pessimistas, uma vez que nem sempre um crescimento a nível municipal – ou seja, na cidade como um todo – pode ser traduzido em crescimentos dos fluxos de pedestres e veículos no local estudado. Tendo em vista a falta de dados em diferentes períodos de tempo, optou-se por utilizar tal perspectiva nas estimativas de fluxos de veículos e pedestres na interseção proposta na pesquisa.

Observa-se que não é possível atender à crescente demanda de tráfego nas grandes cidades, uma vez que as soluções de infraestrutura destinadas a atender à demanda de veículos motorizados individuais não são suficientes a longo prazo. Desta forma, novas intervenções viárias seriam sempre necessárias e as grandes cidades

nem sempre têm espaço disponível para tais obras. Em sendo assim, a grande problemática está na demanda por mobilidade e as soluções demandam projetos de planejamento urbano, priorização do transporte público urbano e a implantação de medidas que estimulem o seu uso.

Em linhas gerais, conclui-se que a interseção não é tecnicamente viável sob os pontos de vista de capacidade e nível de serviço; portanto, não se recomenda a sua implantação no local. A interseção também não demonstra ser viável aos pedestres, uma vez que os mesmos tendem a não utilizar os passeios ao redor da rótula e buscariam brechas nos fluxos veiculares para atravessar a interseção a partir da ilha central. Cabe enfatizar que, mesmo que a interconexão suportasse os níveis de tráfego, ainda seria necessário avaliar outros fatores como o uso da faixa de domínio das rodovias BR-277 e BR-376 (Contorno Sul) e o custo-benefício da intervenção. Finalmente, o estudo em questão indica que os fluxos de tráfego no local demandam uma interconexão entre a Rua Eduardo Sprada e as duas pistas da Avenida JK, ou seja, um sistema de trincheiras ou viadutos em que uma das vias passaria sob a outra.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 10697**: Pesquisa de sinistros de trânsito – terminologia. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2020.

ALBANO, J. **Noções Sobre Interseções**, 2007. Disponível em: http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/420_14-intersecoes_apresentacao.pdf. Acesso em: 14 abr. 2022.

ARAUJO, A. M. **Modelagem do tráfego em interseções não semaforizadas de Fortaleza com o uso de simulação microscópica**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

BERTONCINI, B.V.; DEMARCHI, S. H. Impacto nas medidas de desempenho operacional devido à substituição de interseção semaforizada por rotatória. *In*: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 19., 2005, Recife. **Anais [...]** Rio de Janeiro: ANPET, 2005.

BRASIL. **Lei n. 9.503, de 23 de setembro de 1997**. Institui o código de trânsito brasileiro. Brasília: Casa Civil, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503compilado.htm. Acesso em: 14 abr. 2022.

CAMPOLINA, B.; DINIZ, C. C. Crise global, mudanças geopolíticas e inserção do Brasil. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 638-655, 2014.

CASAS, J.; FERRER, J. L.; GARCIA, D.; PERARNAU, J.; TORDAY, A. Traffic simulation with AIMSUN. *In*: BARCELÓ, J. (ed.). **Fundamentals of Traffic Simulation**. International Series in Operations Research & Management Science. v. 145. New York: Springer, 2010. p. 173-232.

CHAVES, C. F. **Avaliação do desempenho de medidas de acalmia de tráfego através de microssimulação de tráfego**. Monografia (Mestrado em Engenharia da Construção e Reabilitação) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, 2017.

COELHO, M. D. **Análise e sugestões para projetos geométricos de rótulas modernas em vias urbanas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CONTRAN. **Manual brasileiro de sinalização de trânsito**: volume V – sinalização semaforizada. 314 p. Brasília: Conselho Nacional de Trânsito, 2014.

CONTRAN. **Resolução nº 638, de 30 de novembro de 2016**. Dispõe sobre as formas de aplicação da receita arrecadada com a cobrança das multas de trânsito. Brasília: Conselho Nacional de Trânsito, 2016. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/24638201/do1-2016-12-01-resolucao-n-638-de-30-de-novembro-de-2016-24638104. Acesso em: 01 mai. 2022.

- COSTA, J. P. B. **Mini-rotatórias: contribuição na redução de conflitos em interseções urbanas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.
- DETRAN-PR. **Frota de veículos cadastrados no estado do Paraná**. Departamento Estadual de Trânsito do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <https://www.detran.pr.gov.br/arquivos/File/estatisticasdetransito/frotadeveiculoscadas-tradospr/2007/frotaveiculostipomunicipiojaneiro2007.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2022.
- DETRAN-PR. **Frota de veículos cadastrados por município e tipo, Paraná – posição em janeiro de 2022**. Departamento Estadual de Trânsito do Paraná, Curitiba, 2022a. Disponível em: https://www.detran.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-03/frota_janeiro_de_2022_0.pdf. Acesso em: 14 abr. 2022.
- DETRAN-PR. **Frota de veículos cadastrados por município e tipo, Paraná – posição em outubro de 2022**. Departamento Estadual de Trânsito do Paraná, Curitiba, 2022b. Disponível em: <https://www.detran.pr.gov.br/Pagina/Estatisticas-de-transito>. Acesso em: 22 out. 2022.
- DENATRAN. **Manual de projeto de interseções em nível não semaforizadas em áreas urbanas**. 2. ed. Brasília: Departamento Nacional de Trânsito, 1991.
- DENATRAN. **Manual de semáforos**. 2. ed. Brasília: Departamento Nacional de Trânsito, 1984.
- DNER. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. IPR Publ. 706. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1999.
- DNIT. **Manual de projeto de interseções**. 2. ed. IPR Publ. 718. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2005.
- ENGELSMAN, J. C.; UKEN, M. Turbo-roundabouts as an alternative to two lane roundabouts. *In: SOUTHERN AFRICAN TRANSPORT CONFERENCE*, 26., 2007, Pretoria. **Proceedings [...]** Pretoria: University of Pretoria, 2007, p. 581-589.
- ELHASSY, Z.; ABOU-SENNA, H.; SHAABAN, K.; RADWAN, E. The implications of converting a high-volume multilane roundabout into a turbo roundabout. **Journal of Advanced Transportation**, London, 5472806, 2020. doi: 10.1155/2020/5472806.
- FERREIRA, L.; LEITE, A. C. Engenharia de tráfego. *In: _____*. **Logística empresarial e engenharia de tráfego**. Belo Horizonte: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2017. cap. 3, p. 126. ISBN 978-85-8482-848-7.
- FERRAZ, A. C. P. C.; RAIA JÚNIOR, A. A.; BEZERRA, B. S.; BASTOS, J. T.; SILVA, K. C. R. **Segurança viária**. 1. ed. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, 2012.
- GOMES, G. **Análise comparativa das características de tráfego calculadas pelo HCM-2010 e pelo microssimulador Aimsun para uma área de estudo em Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

HOFFMANN, R. C.; MIGUEL, R. A. D.; PEDROSO, D. C. A importância do planejamento urbano e da gestão ambiental para o crescimento ordenado das cidades. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 3, n. 3, p. 70-81, 2011.

IBGE. **Panorama cidades – Curitiba**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasília, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>. Acesso em: 14 abr. 2022.

INIR. **Dimensionamento de rotundas**: documento síntese. Lisboa: Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias de Portugal, 2009.

IPARDES. **Base de dados do Estado**. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social, Curitiba, 2022. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/imp/index.php>. Acesso em: 22 out. 2022.

IPPUC. **Acidentes de trânsito com vítimas fatais**. Mapa interativo. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba, Curitiba, 2020. Disponível em: <http://geoapp.ippuc.org.br/AcidentesDeTransito/dashboard.html>. Acesso em: 30 mar. 2022.

IPPUC. **BR vida**: projeto BR-116. Curitiba: Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba, 1991.

IZADI, A.; MIRZAIYAN, D.; RASHIDI, A.; HOSSEINI, M. Comparing traffic performances of turbo-roundabouts and conventional roundabout (case study). **The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication**, Special Edition, p. 598-604, 2016. doi: 10.7456/1060JSE/026.

KIMBER, R. M. **The traffic capacity of roundabouts**. Laboratory Report No. 942. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory, 1980.

KOTUSEVSKI, G., HAWICK, K. A. **A review of traffic simulation software**. Technical Report CSTN-095. Auckland: Massey University, 2009. Disponível em: https://mro.massey.ac.nz/bitstream/handle/10179/4506/TrafficSimulatorReview_arlims.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 24 novembro 2022.

LEITE, C. E.; SILVA, P. C. M. Estudo da substituição de semáforos por mini rotatórias em interseções urbanas. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. 11., Rio de Janeiro, 2015. **Anais [...]** Rio de Janeiro: UFF, 2015.

MARQUES, D. R. **Planejamento de transportes como princípio fundamental do planejamento urbano**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília, 2014.

MOBPLAN ENGENHARIA. **Compartilhamento via e-mail**. [mensagem pessoal]. Enviada por <spepplow@ippuc.org.br> e recebida por <hudyallison@hotmail.com> em 08 jun. 2022. 2015.

MOBPLAN ENGENHARIA. **Compartilhamento via e-mail**. [mensagem pessoal]. Enviada por <spepplow@ippuc.org.br> e recebida por <hudyallison@hotmail.com> em 08 jun. 2022. 2016.

MONTALVÃO, E. H. R. Simulação de uma rotatória: análise crítica e desempenho. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, 42., Bento Gonçalves, 2010. **Anais [...]** São José dos Campos: SOBRAPO, 2010. p. 2784-2794.

NERIS, D. F. **Análise de desempenho do tráfego em rotatórias com alto e desequilibrado fluxo de veículos empregando semáforos na via principal**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

NERIS, D. F. **Melhoria do desempenho do tráfego em rotatórias com o emprego de semáforos próximos na via principal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

OSÓRIO, L. S. **Cruzamento entre as avenidas dos Estados e Farrapos/ Porto Alegre/ RS: eficácia da implantação de interseção em desnível em comparação ao uso de semáforos na solução dos congestionamentos na região**. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PARAVISI, M.; MUSSE, S. R.; BICHO, A. L. Modelagem e simulação do tráfego de veículos e controle semafórico em um ambiente virtual. **VETOR - Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, Santo Antônio da Patrulha, v. 16, n. 2, p. 16–37, 2010.

PARO, L. S. M. **Contribuição metodológica para identificação de segmentos críticos em rodovias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PEÑA, C. C.; GOLDNER, L. G. Caracterização e análise dos acidentes em interseções: estudo de caso em rodovias de Santa Catarina, no Brasil. *In: CONGRESO PAN-AMERICANO DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO, TRANSPORTE Y LOGÍSTICA*, 27., 2012, Santiago. **Anales [...]** Santiago: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, 2012.

PIETRANTONIO, H. **Manual de procedimento de pesquisa para análise de conflitos de tráfego em interseções**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1991.

PORTO, E. R. **Análise dos impactos gerados pela restrição de tráfego de veículos de carga em ambiente urbano através de microssimulação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Anexo 13: classificação das vias do município. **Prefeitura Municipal de Curitiba**, 2020. Disponível em: <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2020/00306395.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2022.

REDAÇÃO. Após três anos de obras, trincheira da Mário Tourinho é liberada em Curitiba. **Tribuna do Paraná**, 15 jun. 2021. Disponível em: <https://tribunapr.uol.com.br/noticias/curitiba-regiao/apos-tres-anos-de-obras-trincheira-da-mario-tourinho-e-liberada-em-curitiba/>. Acesso em: 05 abr. 2022.

REGINALDO, B. G. **Microssimulação de tráfego de uma interseção no bairro Pantanal no município de Florianópolis**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

RESENDE, P. T. V.; SOUSA, P. R. **Mobilidade urbana nas grandes cidades brasileiras: um estudo sobre os impactos do congestionamento**. Caderno de Ideias CI0910. Nova Lima: Fundação Dom Cabral, 2009.

RIBEIRO, H. A. S.; RIBEIRO, R. L.; RESENDE, C. A. L.; SILVA, P. C. M. Proposta de adequação de rotatória para fins de fluidez e segurança viária. *In*: CONGRESSO RIO DE TRANSPORTES, 15., 2017, Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro: ANPET, 2017.

ROBINSON, B. W.; RODEGERDTS, L.; SCARBOROUGH, W.; KITTELSON, W.; TROUTBECK, R.; BRILON, W.; BONDZIO, L.; COURAGE, K.; KYTE, M.; MASON, J.; FLANNERY, A.; MYERS, E.; BUNKER, J.; JACQUEMART, G. **Roundabouts: an informational guide**. Technical Report No. FHWA-RD-00-067. Washington (DC): Federal Highway Administration, 2000.

ROLLI, C. Cresce o custo das cidades travadas pelo trânsito no Brasil. **Associação Nacional dos Transportes Públicos**, 04 nov. 2019. Disponível em: <http://www.antp.org.br/noticias/clippings/cresce-o-custo-das-cidades-travadas-pelo-transito-no-brasil.html>. Acesso em: 14 abr. 2022.

SANTANA FILHO, A. R. Uma proposta para o ensino de graduação em Engenharia de Transportes. **Transportes**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 10-17, 1994. doi: 10.14295/transportes.v2i1.328.

SILVA JÚNIOR, C. A. P. **Engenharia de transportes no ensino de graduação: competências, habilidades, processo de ensino-aprendizagem e avaliação**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

SILVA, K. N.; SOUZA, M. L.; RODRIGUES, G. B. Planejamento urbano e ativismos sociais. São Paulo: UNESP, 2004. 136 p. *In*: Coleção Paradidáticos; Série sociedade, espaço e tempo. **Observorium: Revista Eletrônica de Geografia**, [S. l.], v. 1, n. 3, 2018. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/Observorium/article/view/44182>. Acesso em: 6 dez. 2022.

SILVA JÚNIOR, S. B.; FERREIRA, M. A. G. Rodovias em áreas urbanizadas e seus impactos na percepção dos pedestres. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 221-237, 2008.

SIMÕES, F.; SIMÕES, E. **Sistema viário e trânsito urbano**. Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar. Curitiba: Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná, 2016. Disponível em: <https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/sistema-viario-e-transito-urbano.pdf>. Acesso em: 1 mai. 2022.

SOLEK, M. J.; MARCUSSO, L. G. **Proposta de remodelação de uma interseção rodoviária na cidade de Curitiba/PR com foco na segurança dos usuários e na capacidade de tráfego**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SOUZA, M. V. J. **Análise de desempenho de uma interseção não semaforizada em nível (rotatória) utilizando microsimulação - estudo de caso: anel viário da UFRJ.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SOUZA, R. R. **Caracterização do fluxo e apontamento de alternativas para melhoria do tráfego em cruzamentos com rotatória: estudo da rotatória da Av. NS-02 com a LO-05 na cidade de Palmas-TO.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2018.

SOUZA, V. C.; JÚNIOR, J. E. B.; OLIVEIRA, J. K. S.; BETHONICO, F. C. Modelos para obtenção da capacidade e do nível de serviço em rotatórias urbanas. *In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES*, 33., Balneário Camboriú, 2019. **Anais [...]** Rio de Janeiro: ANPET, 2019, p. 3893-3904.

SULTAN, B.; BRACKSTONE, M.; McDONALD, M. M. Drivers' use of deceleration and acceleration information in car-following process. **Transportation Research Record**, Washington, v. 1883, n. 1, p. 31-39, 2004. doi: 10.3141/1883-04.

TOLLAZZI, T. Modern types of roundabouts – trends and future expectations. **International Conference of Road Safety in Local Communities**, 2014. Disponível em: https://www.absrs.org/sajt/doc/File/B-1_%20Tollazzi_Banja_luka_2014.pdf. Acesso em: 29 novembro 2022.

TOMAZINHO, J. V.; CASOTTI, L. A. **Uso de microsimulação na análise de desempenho operacional de um corredor viário urbano decorrente da implantação de uma interconexão em substituição a uma interseção em nível em Carapina, Serra, ES, Brasil.** Projeto de Graduação (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2021.

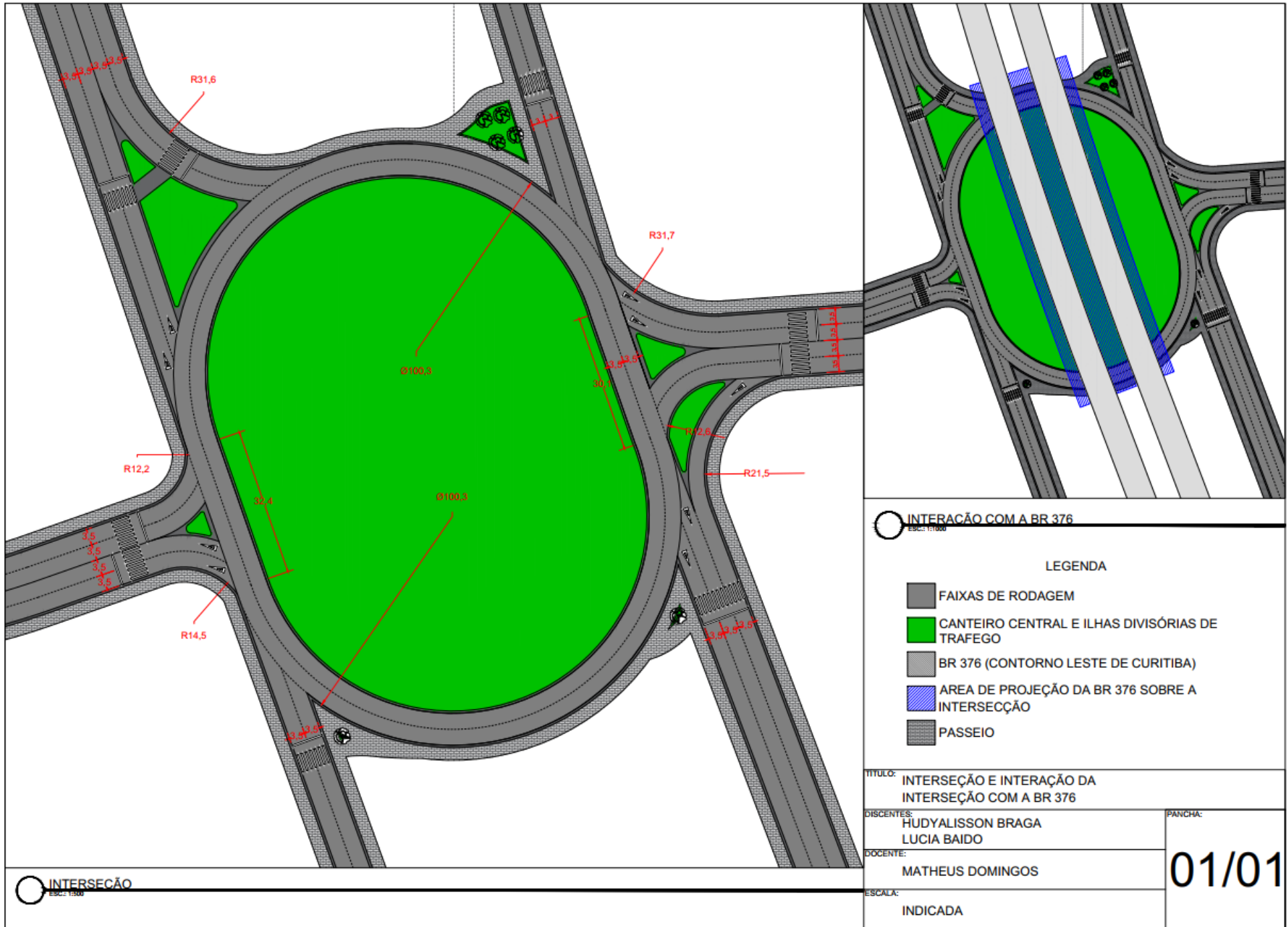
VICTORINO, M.; RANGEL, C. Micro simulação na otimização do tráfego com foco no desempenho ambiental. *In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA*, 4., 2013, Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro: UFRJ, 2013.

VILARINHO, C. A. T. **Calibração de modelos microscópicos de simulação de tráfego em redes urbanas.** Monografia (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2008.

WELLS, G. R. **Traffic Engineering, an introduction.** 2nd. ed. London: Griffin (Charles) and Company Ltd, 1979.

WESSELING, R. C. **Análise da capacidade de tráfego de uma rotatória no município de Toledo, no estado do Paraná.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2018.

APÊNDICE A - Detalhamento do projeto da rótula sugerido para o local



INTERAÇÃO COM A BR 376
ESCALA: 1:1000

LEGENDA

- FAIXAS DE RODAGEM
- CANTEIRO CENTRAL E ILHAS DIVISÓRIAS DE TRAFEGO
- BR 376 (CONTORNO LESTE DE CURITIBA)
- AREA DE PROJEÇÃO DA BR 376 SOBRE A INTERSECÇÃO
- PASSEIO

TITULO: INTERSEÇÃO E INTERAÇÃO DA INTERSEÇÃO COM A BR 376

DISCENTES: HUDYALISSON BRAGA
LUCIA BAIDO

DOCENTE: MATHEUS DOMINGOS

ESCALA: INDICADA

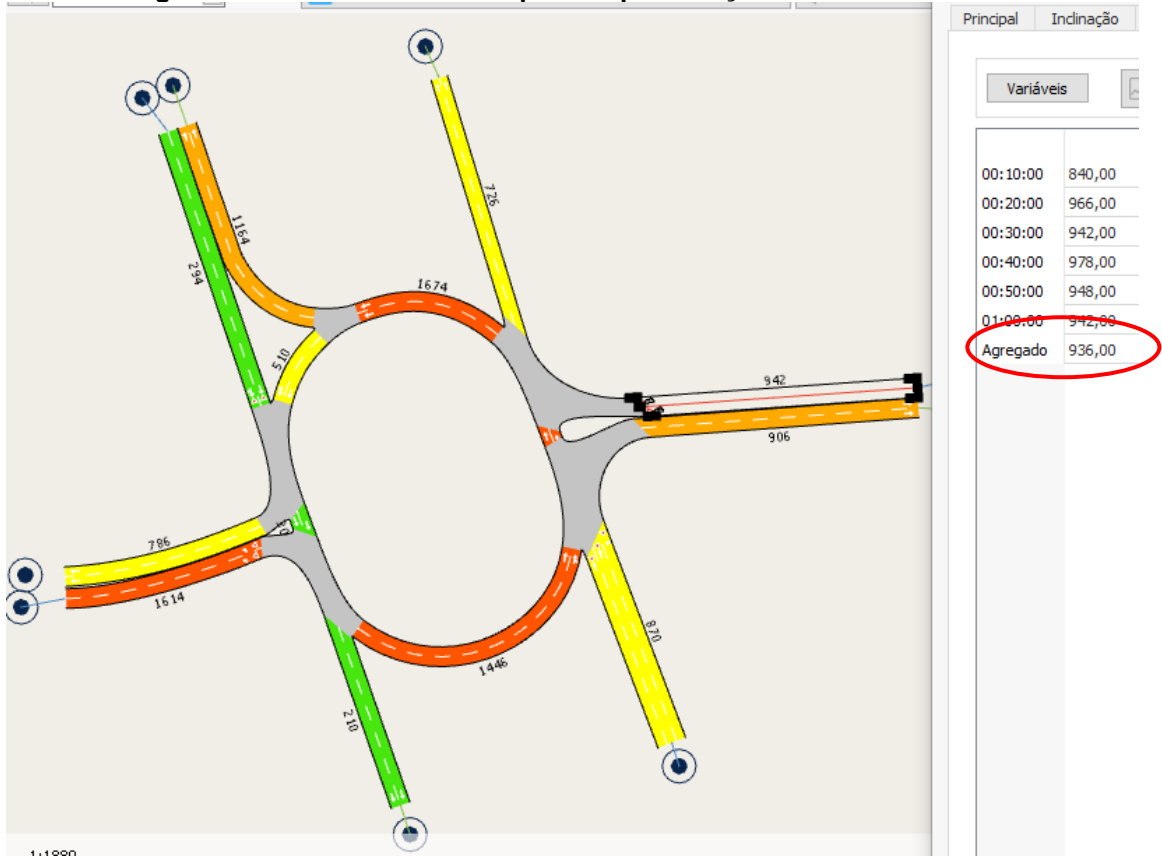
PANCHA:

01/01

INTERSEÇÃO
ESCALA: 1:500

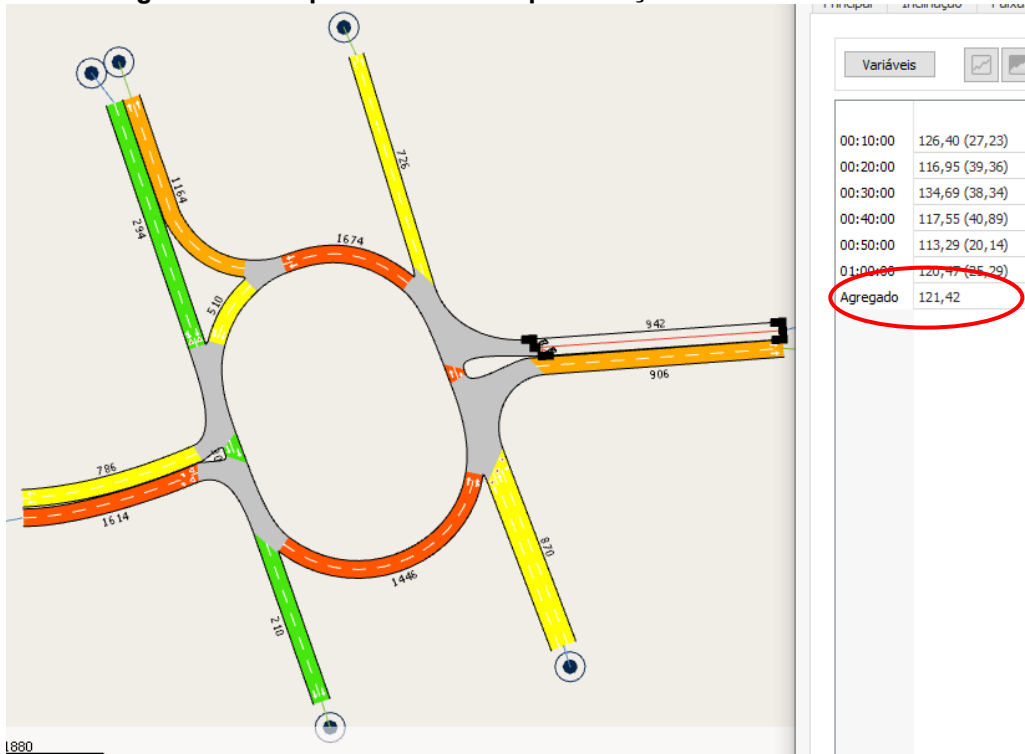
APÊNDICE B - *Print Screens* das telas do simulador AIMSUN para cada uma das entradas da interseção proposta para o local

Figura 23 - Fluxos de veículos para a aproximação 1 e no ano de 2027



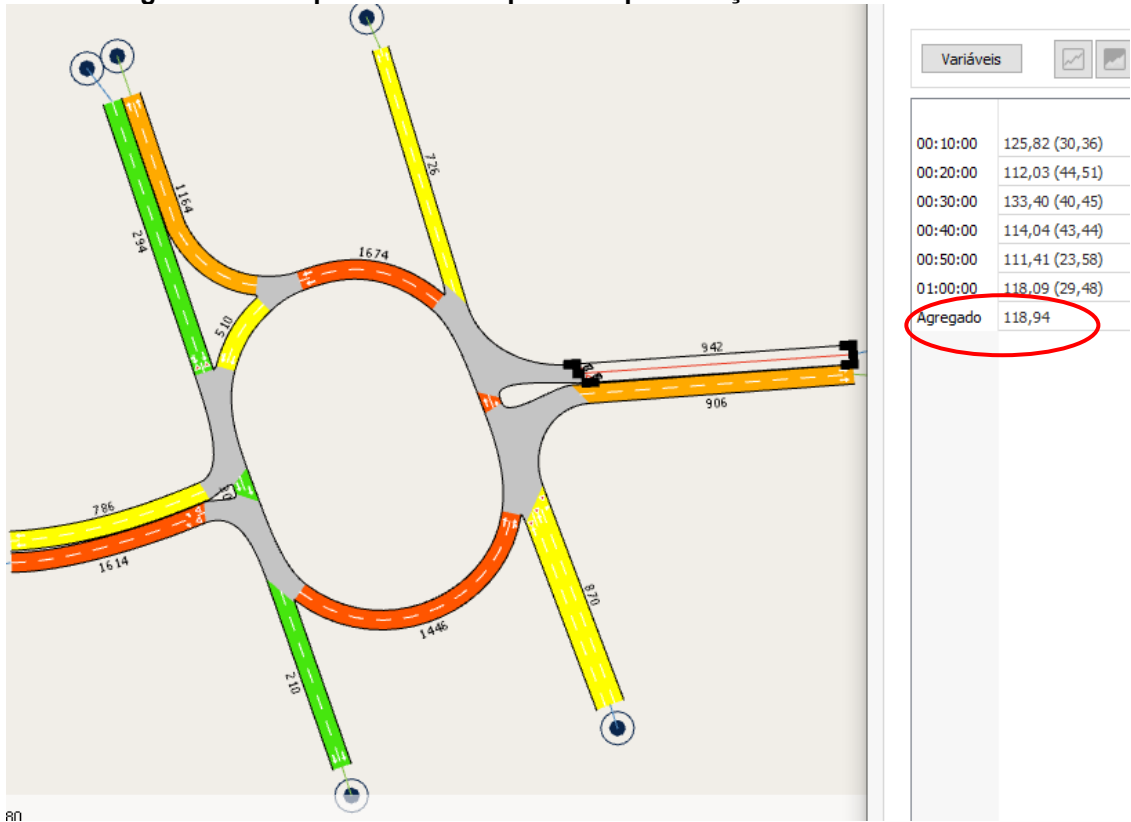
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 24 - Tempo de atraso na aproximação 1 e no ano de 2027



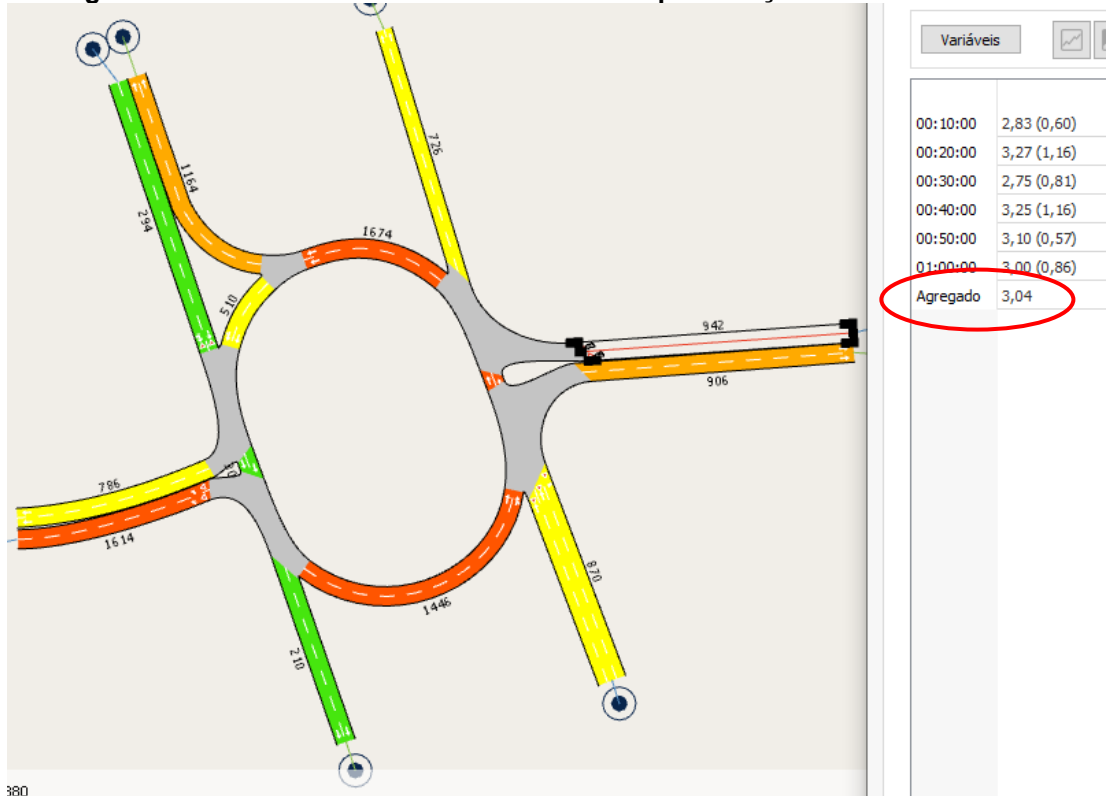
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 25 - Tempo médio de espera na aproximação 1 e no ano de 2027



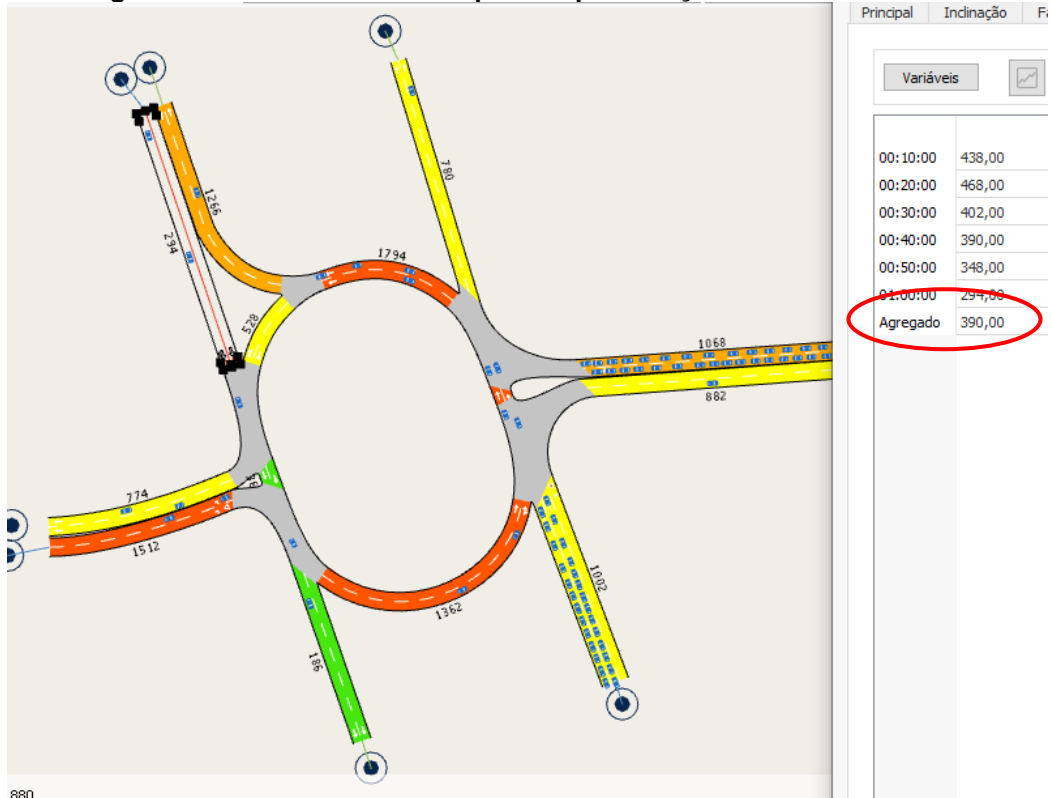
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 26 - Velocidade média dos veículos na aproximação 1 e no ano de 2027



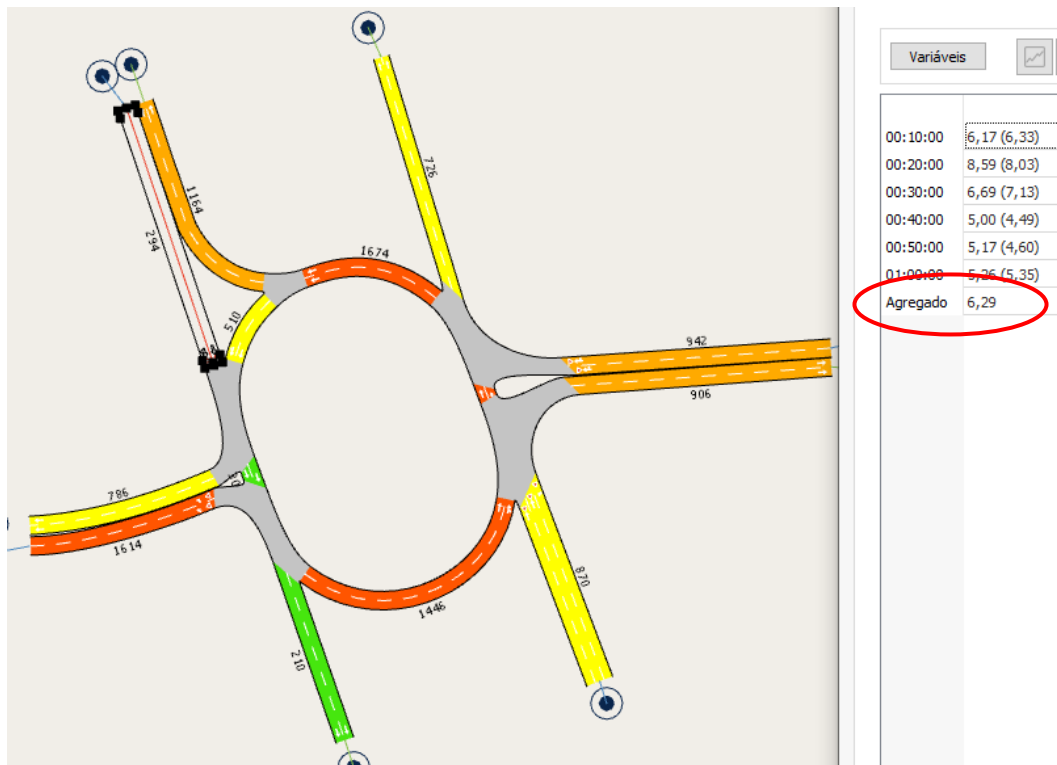
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 27 - Fluxos de veículos para a aproximação 2 e no ano de 2027



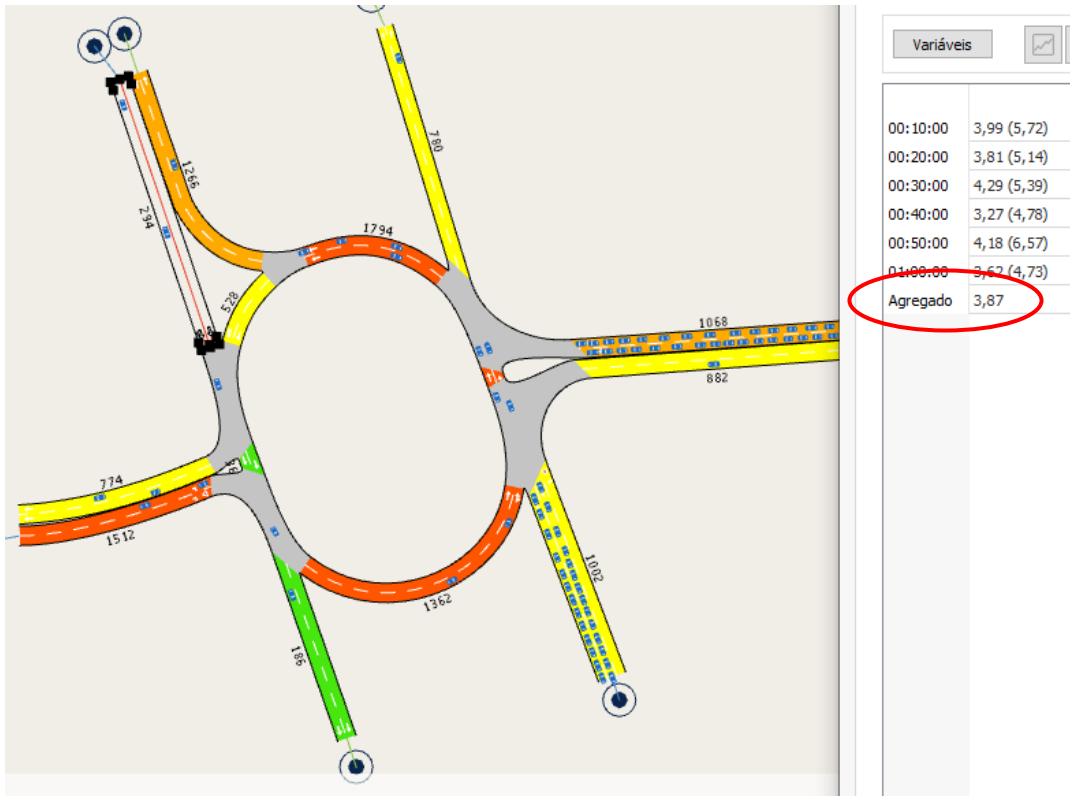
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 28 - Tempo de atraso na aproximação 2 e no ano de 2027



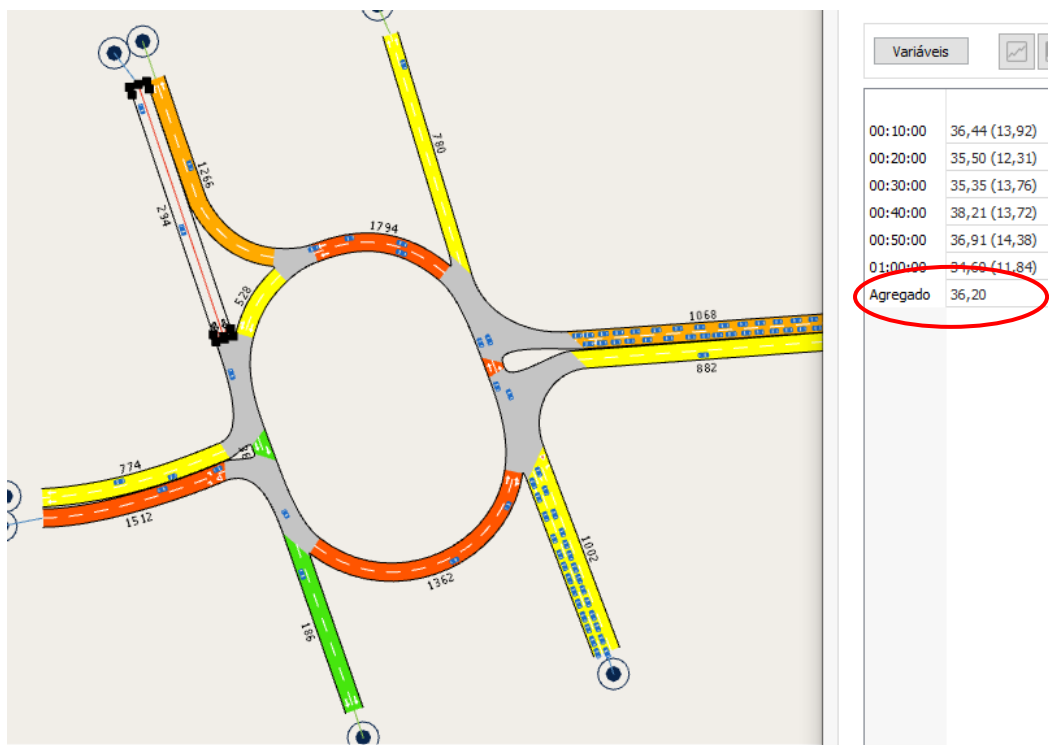
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 29 - Tempo médio de espera na aproximação 2 e no ano de 2027



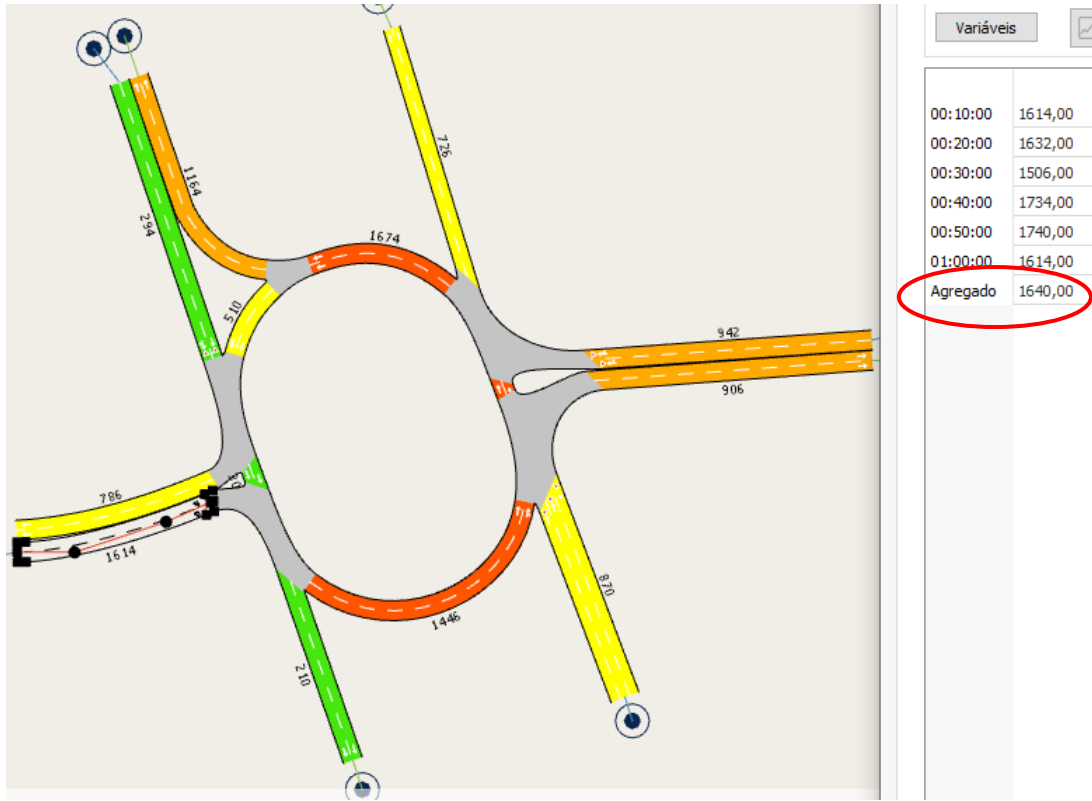
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 30 - Velocidade média dos veículos na aproximação 2 e no ano de 2027



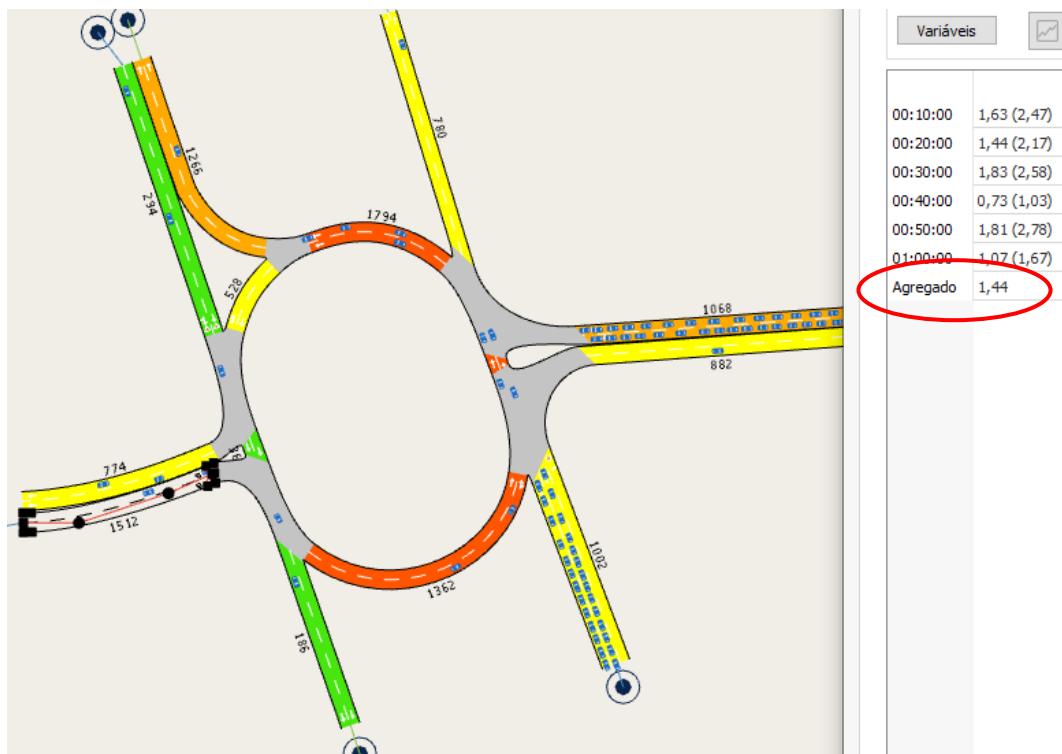
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 31 - Fluxos de veículos para a aproximação 3 e no ano de 2027



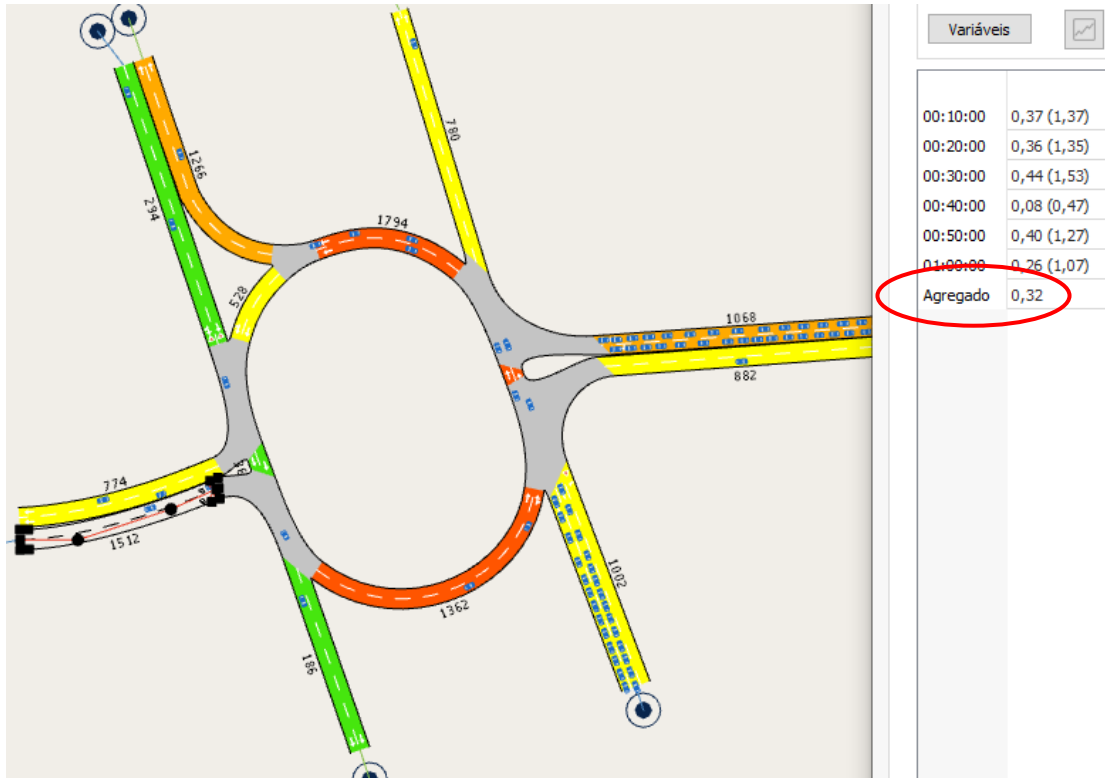
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 32 - Tempo de atraso na aproximação 3 e no ano de 2027



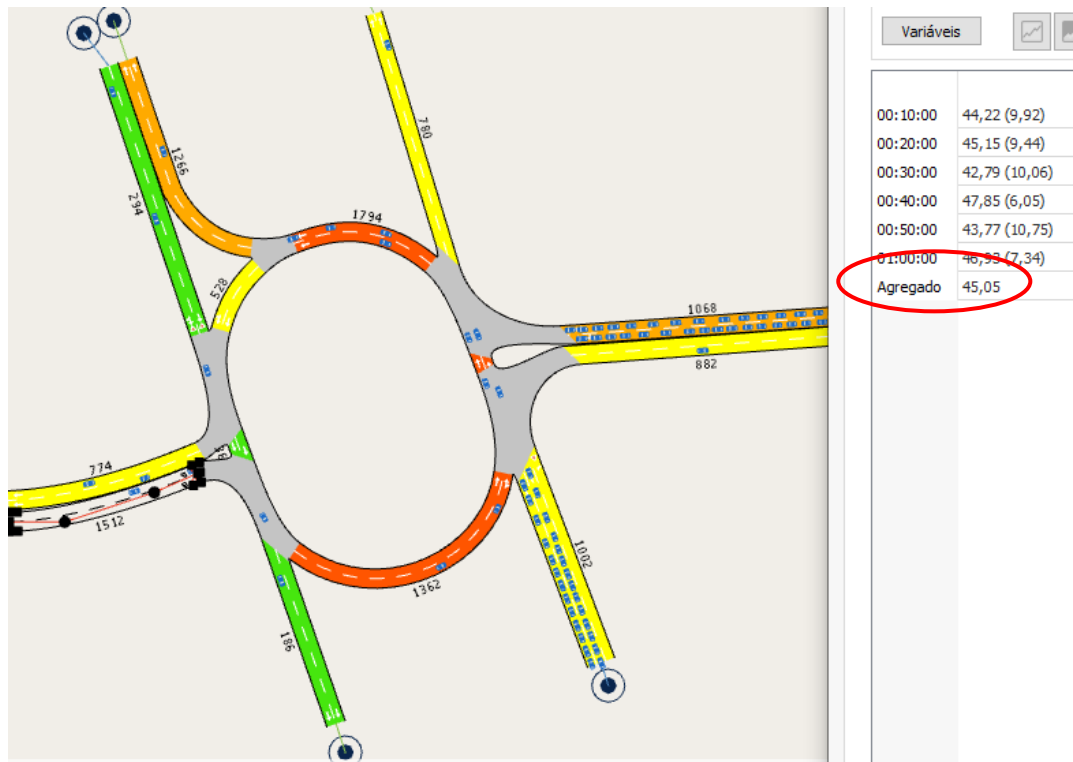
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 33 - Tempo médio de espera na aproximação 3 e no ano de 2027



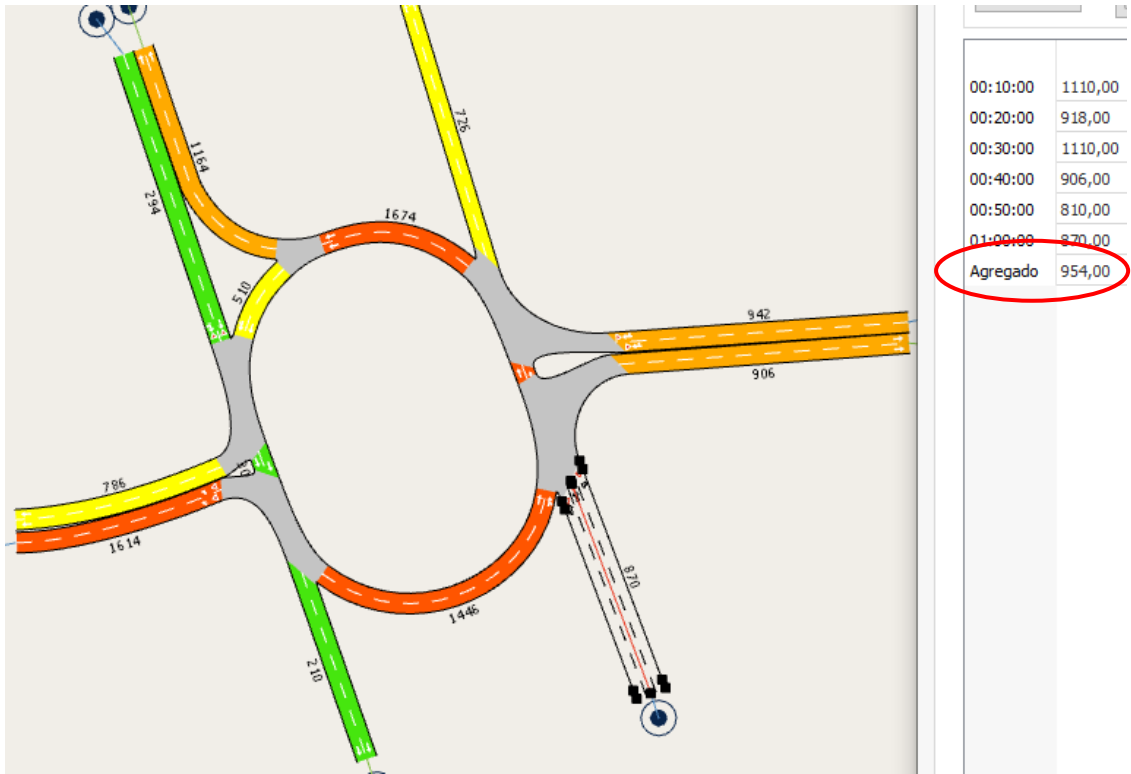
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 34 - Velocidade média dos veículos na aproximação 3 e no ano de 2027



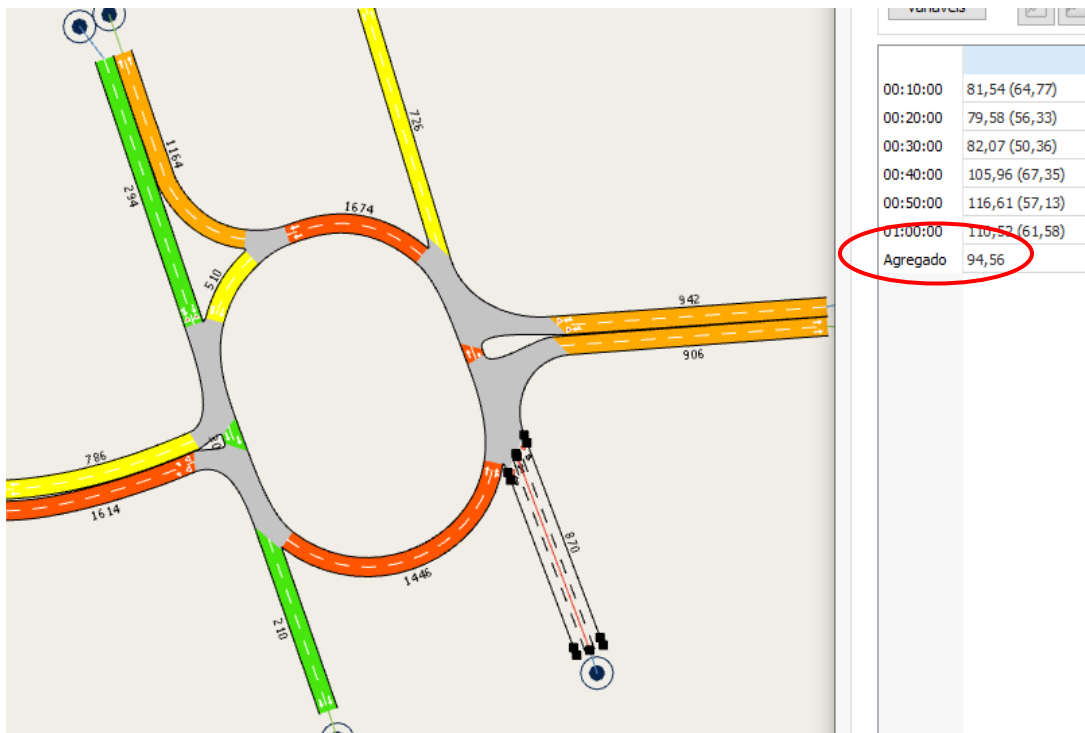
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 35 - Fluxos de veículos para a aproximação 4 e no ano de 2027



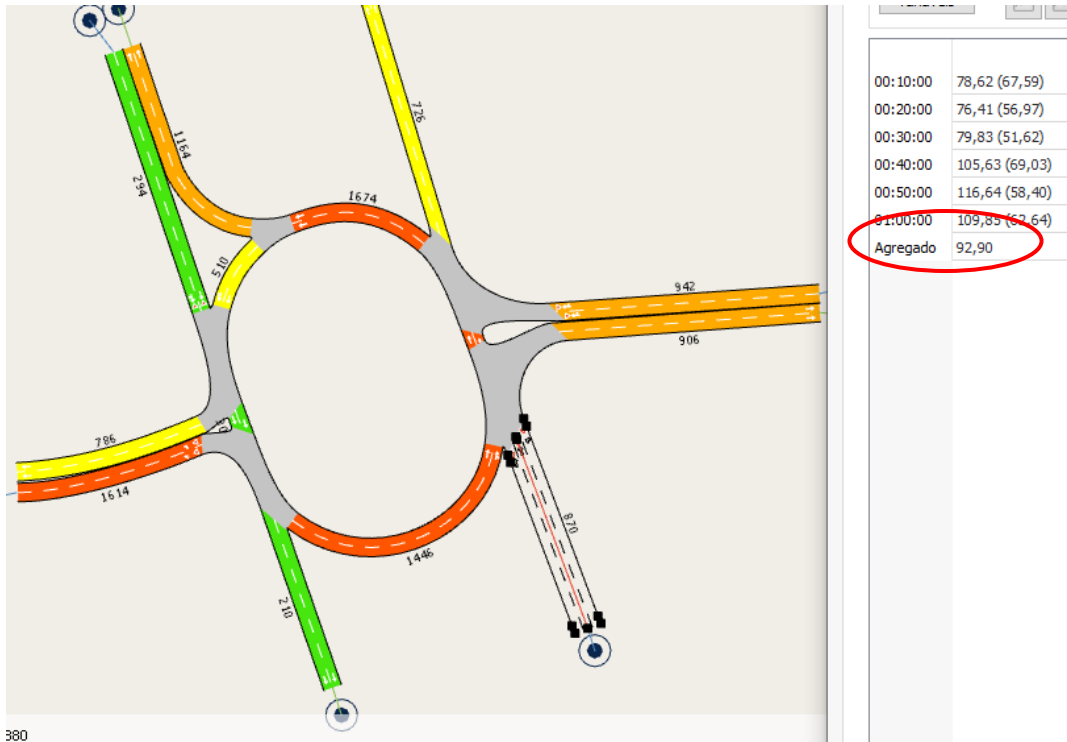
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 36 - Tempo de atraso na aproximação 4 e no ano de 2027



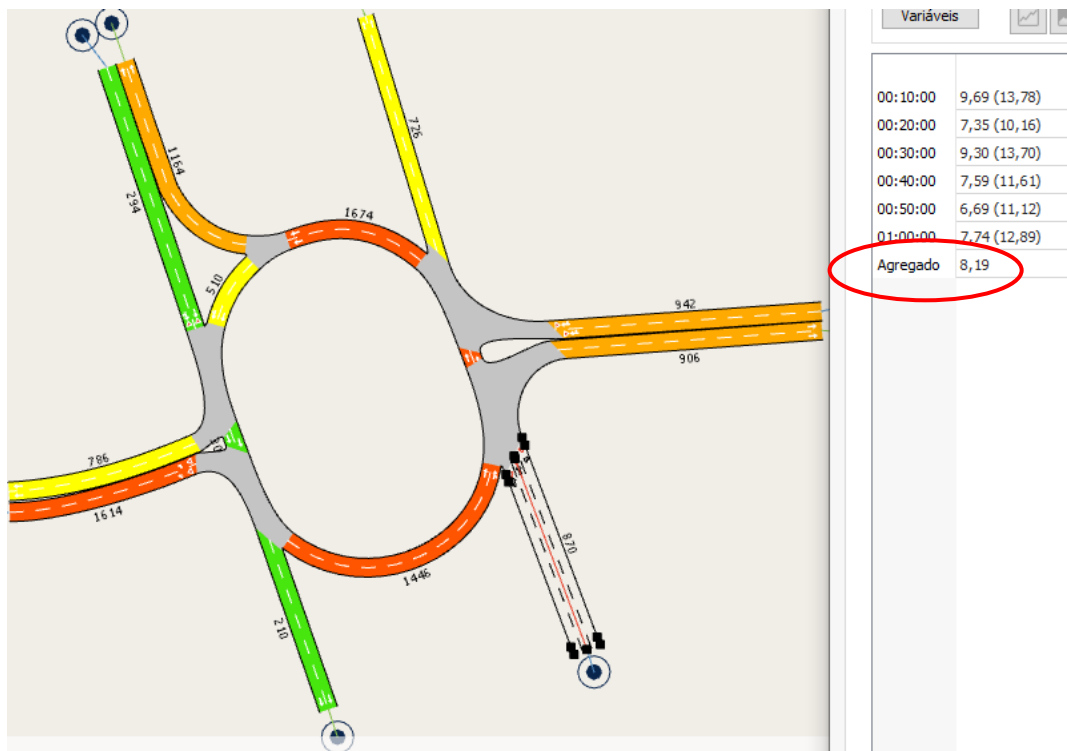
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 37 - Tempo médio de espera na aproximação 4 e no ano de 2027



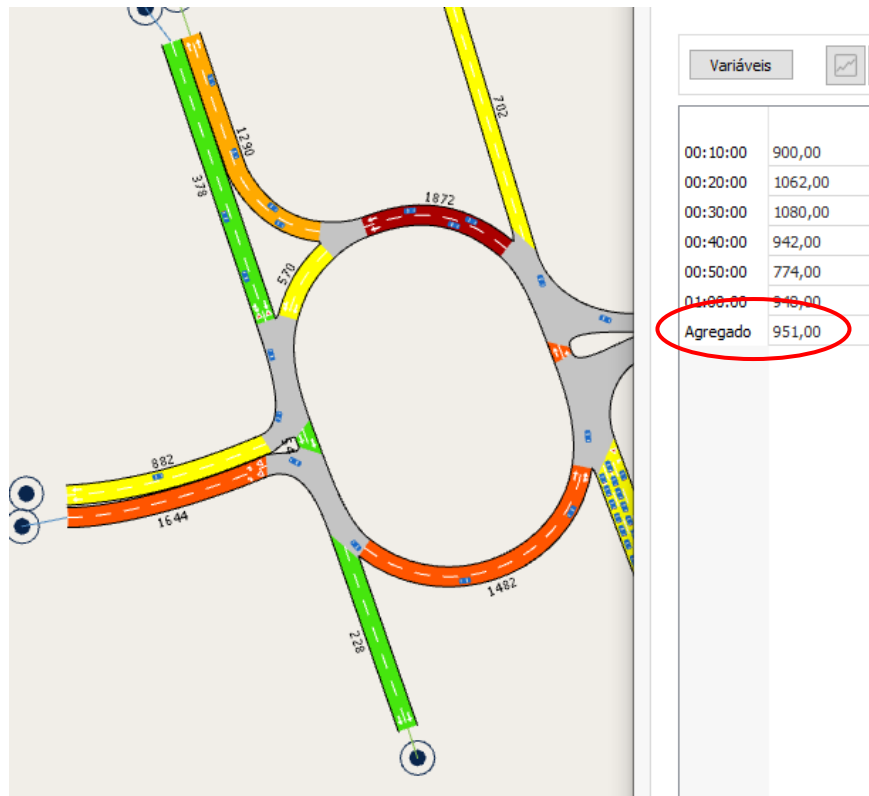
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 38 - Velocidade média dos veículos na aproximação 4 e no ano de 2027



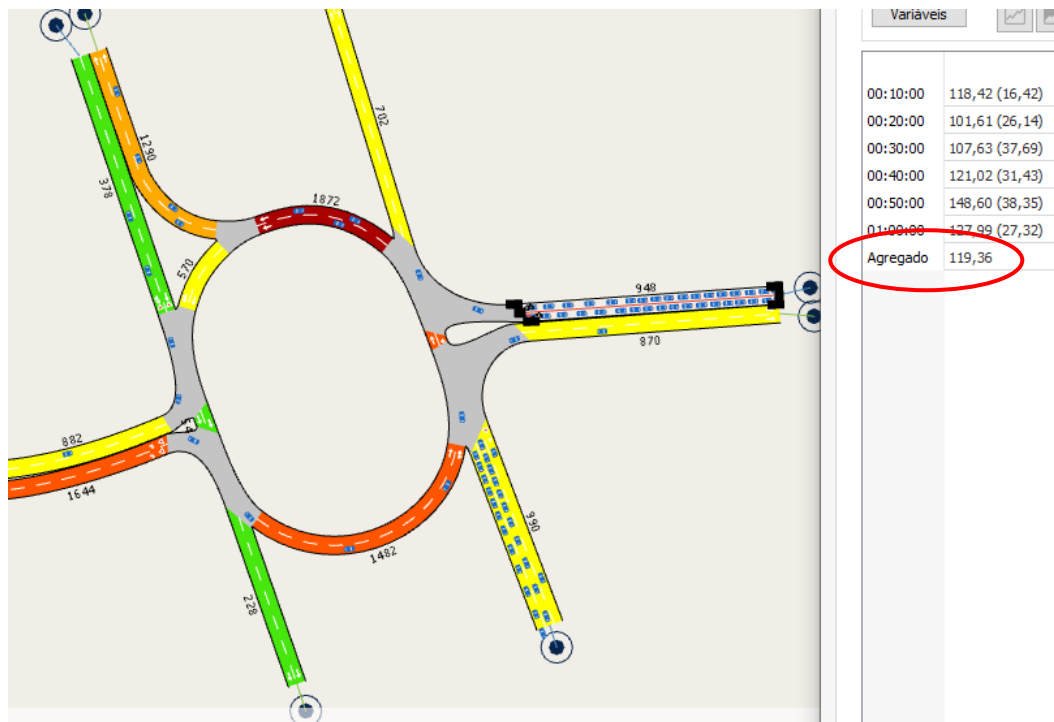
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 39 - Fluxos de veículos para a aproximação 1 e no ano de 2032



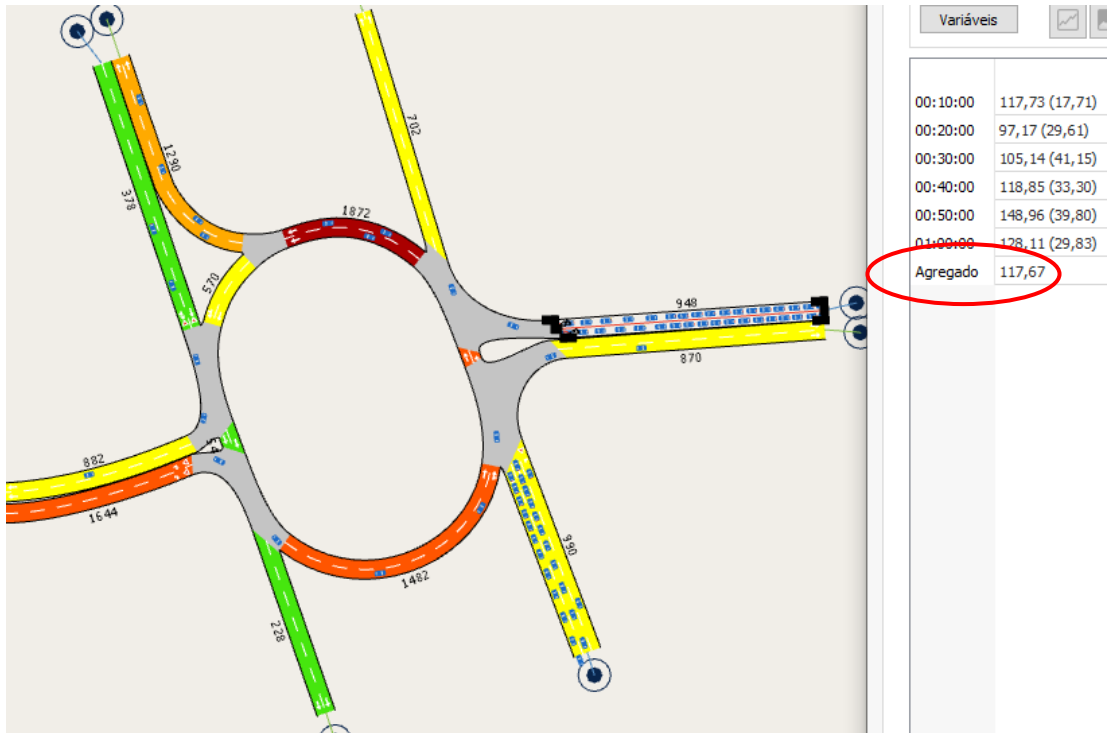
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 40 - Tempo de atraso na aproximação 1 e no ano de 2032



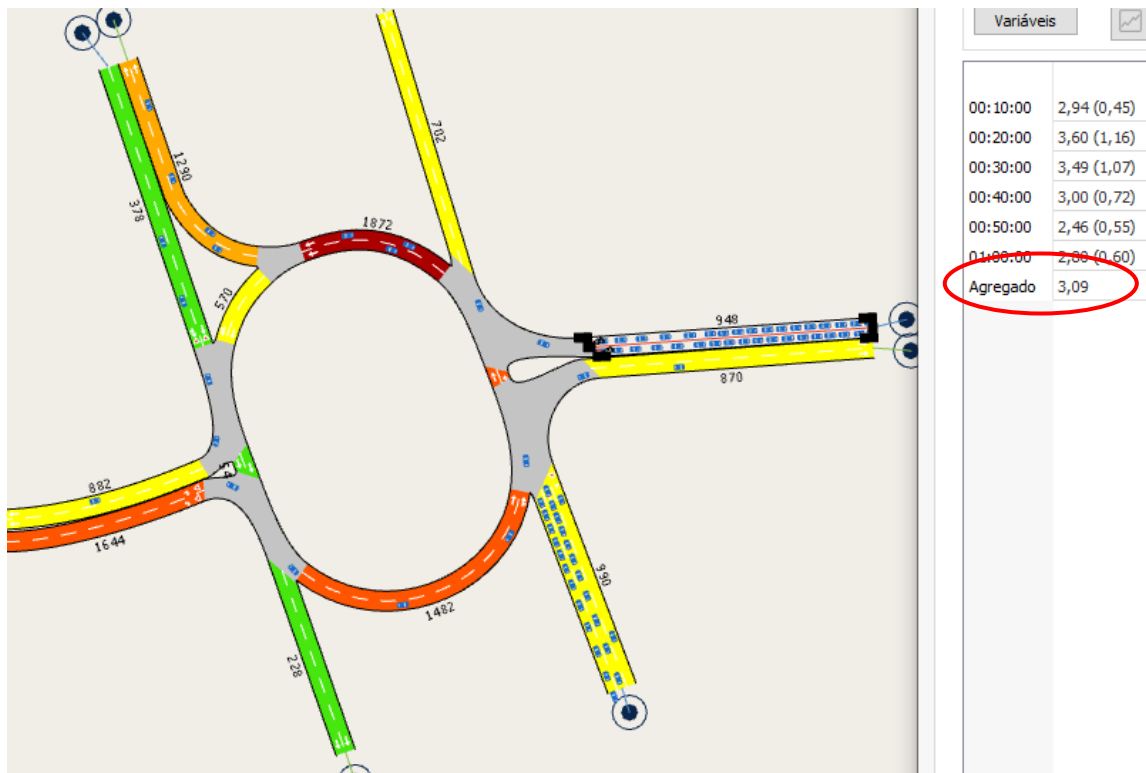
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 41 - Tempo médio de espera na aproximação 1 e no ano de 2032



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 42 - Velocidade média dos veículos na aproximação 1 e no ano de 2032



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 43 - Fluxos de veículos para a aproximação 2 e no ano de 2032



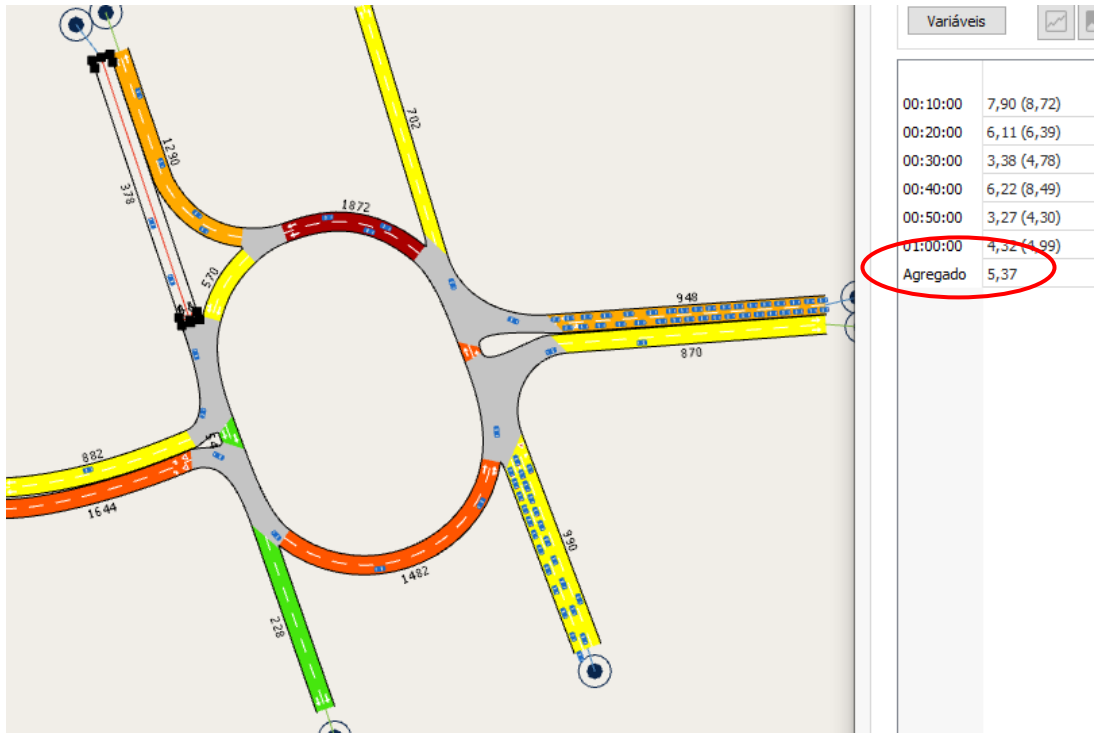
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 44 - Tempo de atraso na aproximação 2 e no ano de 2032



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 45 - Tempo médio de espera na aproximação 2 e no ano de 2032



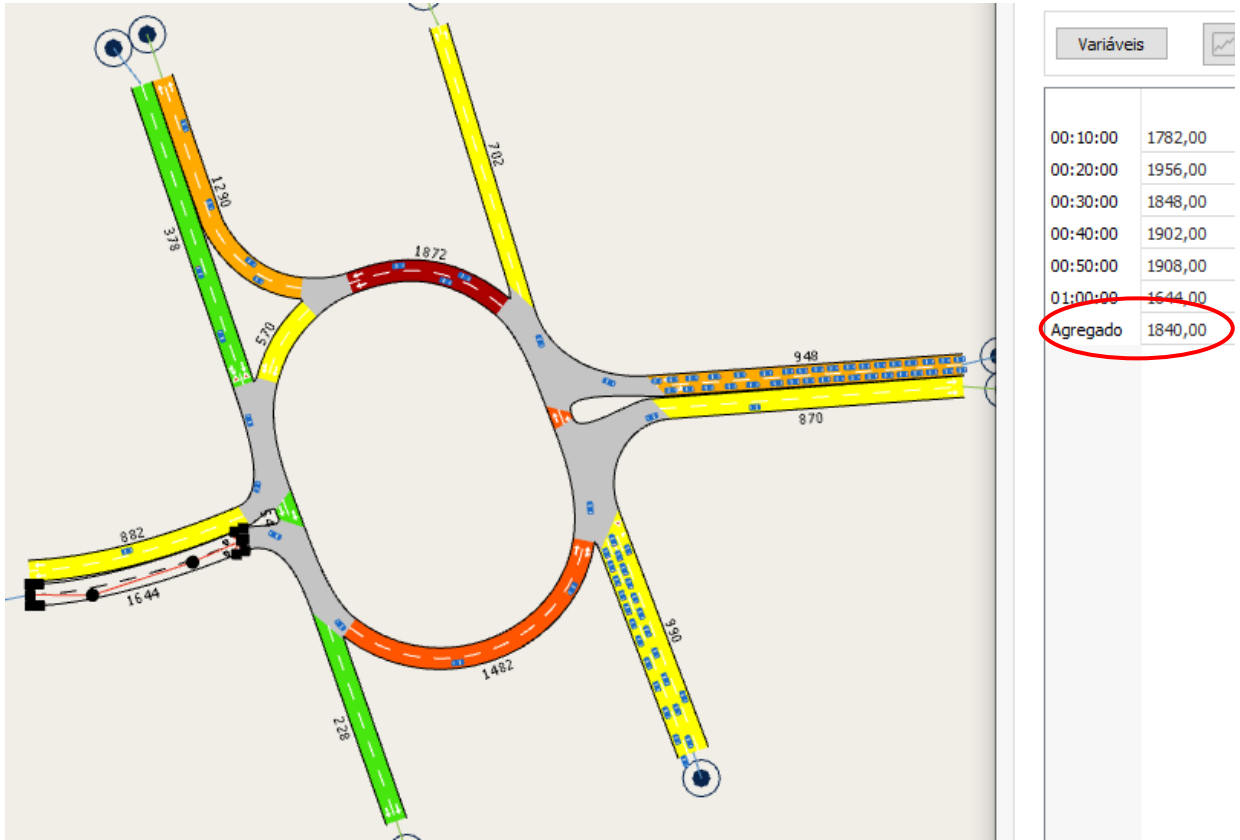
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 46 - Velocidade média dos veículos na aproximação 2 e no ano de 2032



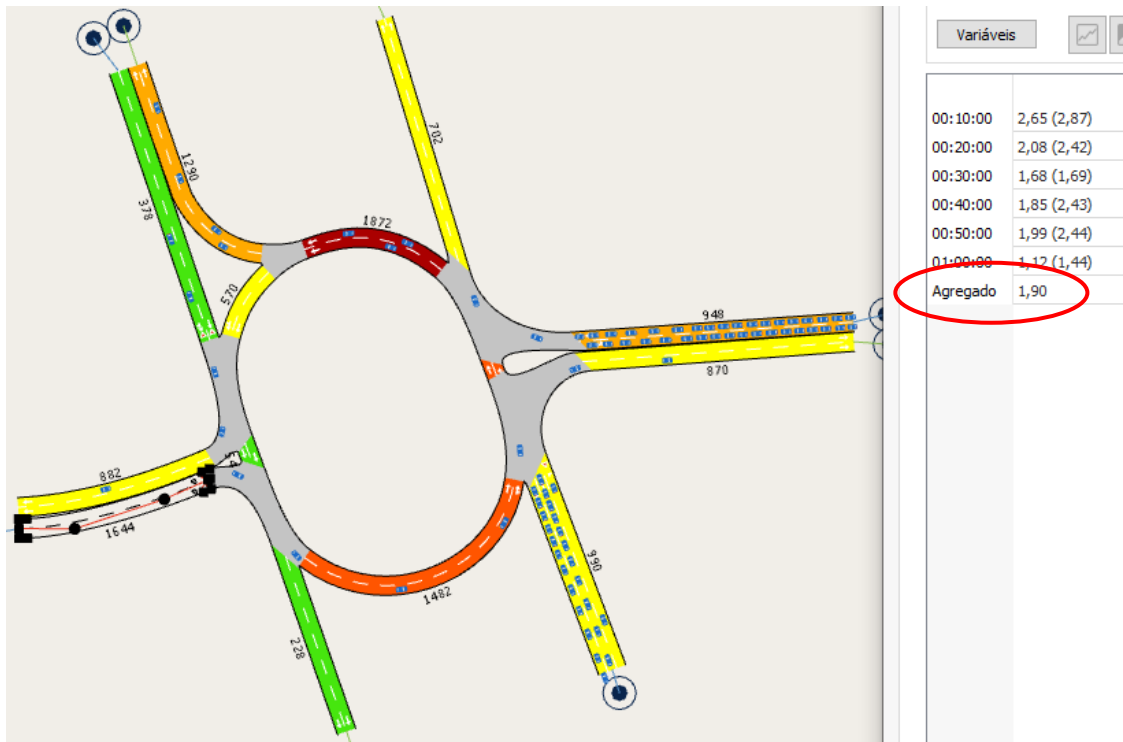
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 47 - Fluxos de veículos para a aproximação 3 e no ano de 2032



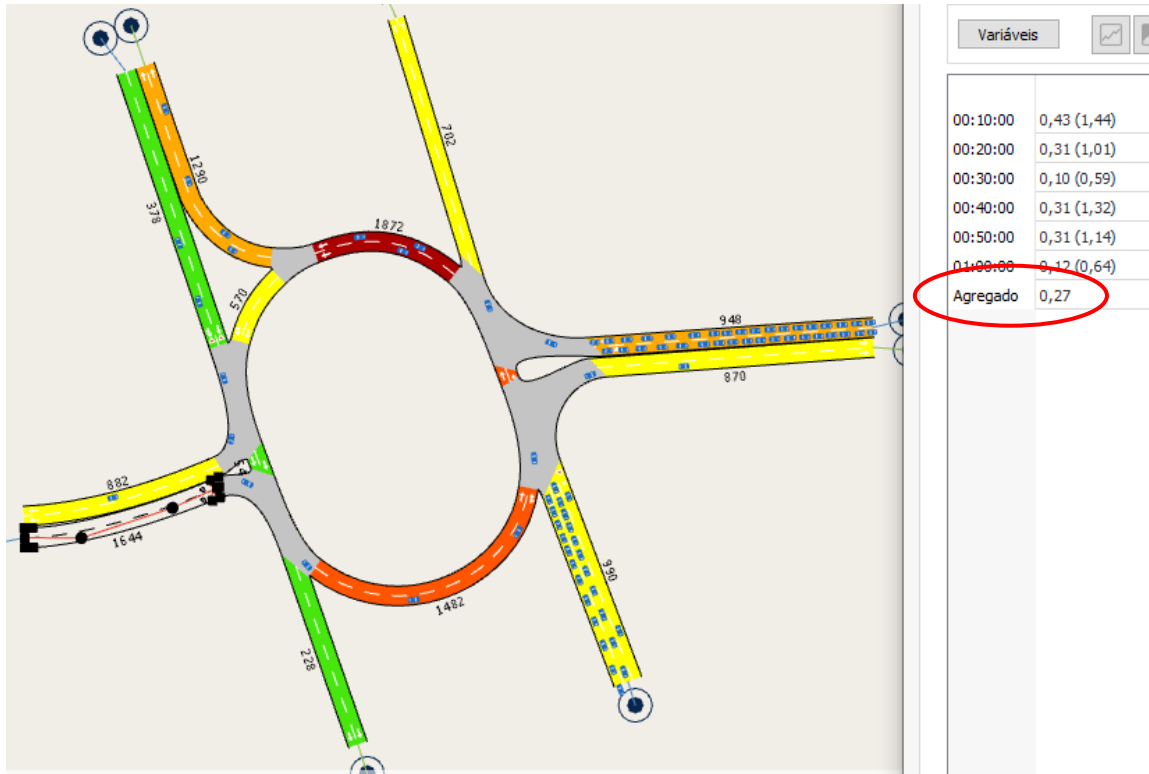
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 48 - Tempo de atraso na aproximação 3 e no ano de 2032



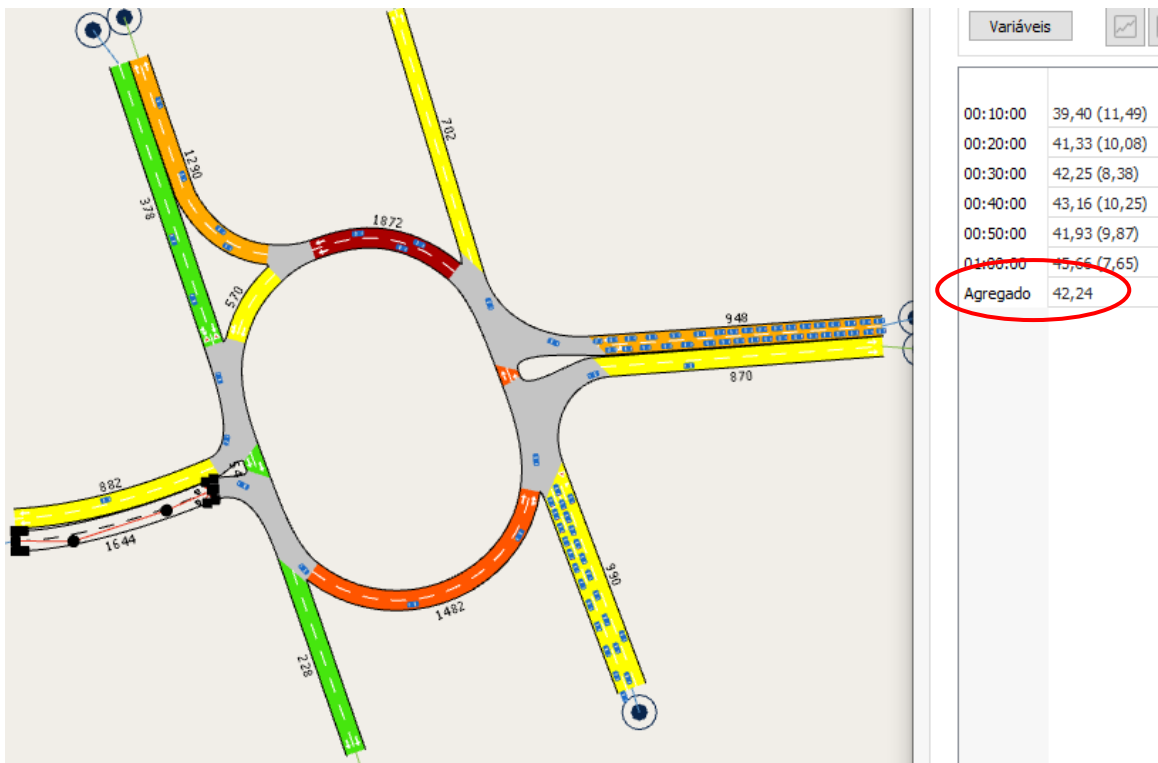
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 49 - Tempo médio de espera na aproximação 3 e no ano de 2032



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 50 - Velocidade média dos veículos na aproximação 3 e no ano de 2032



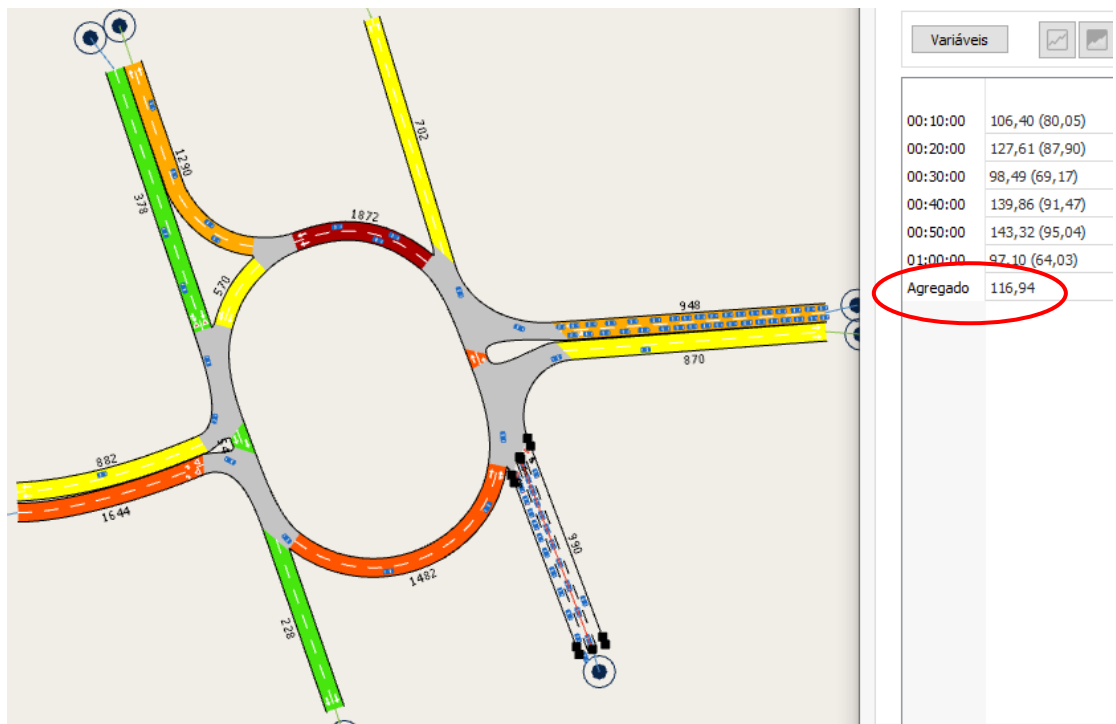
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 51 - Fluxos de veículos para a aproximação 4 e no ano de 2032



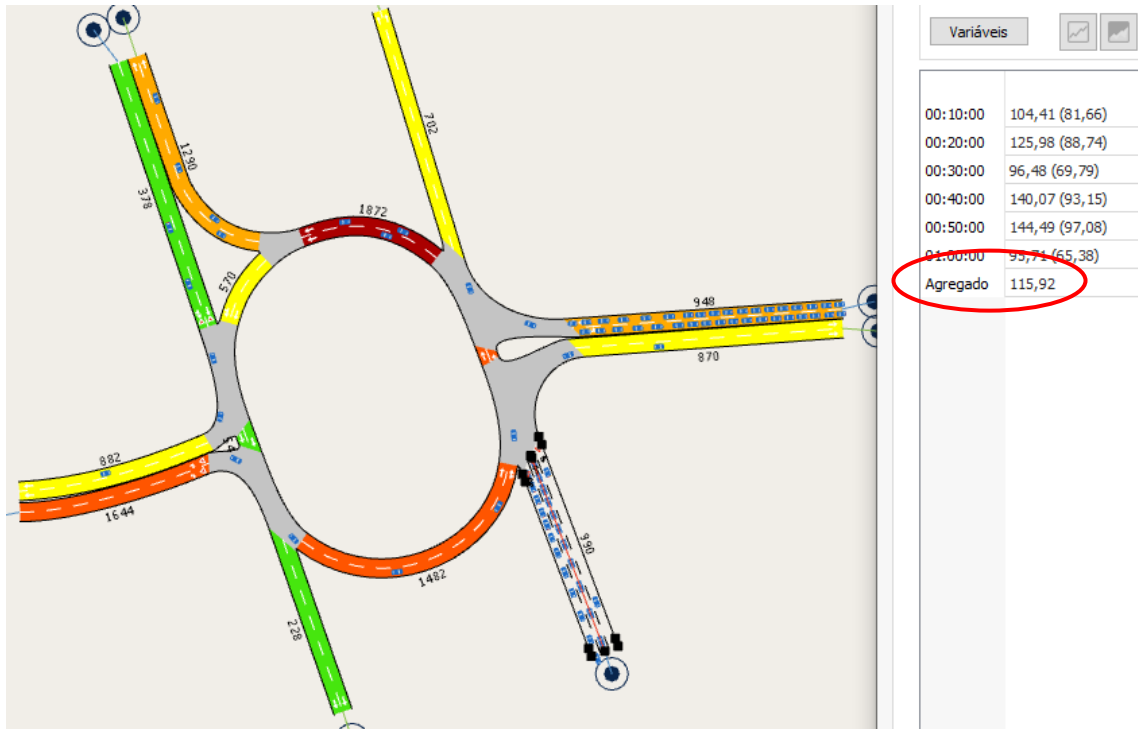
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 52 - Tempo de atraso na aproximação 4 e no ano de 2032



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 53 - Tempo médio de espera na aproximação 4 e no ano de 2032



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 54 - Velocidade média dos veículos na aproximação 4 e no ano de 2032



Fonte: Autoria própria (2022)