

GUILHERME AFONSO DE NORONHA

**ANÁLISE DO NÍVEL DE SERVIÇO DE INTERSEÇÃO DE
RISCO: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE SÃO CARLOS -
SP**

SÃO CARLOS - SP

2021

GUILHERME AFONSO DE NORONHA

**ANÁLISE DO NÍVEL DE SERVIÇO DE INTERSEÇÃO DE RISCO: ESTUDO DE
CASO NA CIDADE DE SÃO CARLOS – SP**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia Civil do Centro Universitário Central Paulista, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. MSc. Elaine Rodrigues Ribeiro

SÃO CARLOS - SP

2021

Dedico este estudo a meu filho, minha família, meus amigos, e a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que eu concluísse mais essa etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Durante os anos finais da minha jornada no ensino médio escolar, sempre tive o sonho em cursar alguma área da Engenharia. Fazendo uma busca em minhas memórias, também sempre estive ligado à área da construção civil por meio de minha família, trabalho ou outros. Com isso, hoje tenho a enorme alegria de, após vários anos, trabalhar no âmbito que sempre e sonhei e estive ligado, assim como concluir o um dos sonhos que sempre tive, a graduação em Engenharia Civil.

Para tanto, necessitei de muitas pessoas e sou totalmente grato a elas.

Primeiramente à Deus, por me dar sabedoria para enfrentar diariamente as dificuldades em busca de meus sonhos e objetivos.

Agradeço também à minha família e amigos, que sempre me deram suporte e se fizeram presentes e motivadores para que eu chegasse até aqui. Em especial aos meus pais Antonio e Lislaine, meu irmão Marcos, meu primo Renan, meu amigo Igor, e à minha parceira de vida, Jéssica, que aliás, foi uma das pessoas mais motivadoras e que me deu mais suporte e apoio quando necessitei para finalização deste sonho.

Ainda, agradeço a todos os colegas de graduação, desde os presentes em meus primeiros anos de faculdade na UNIP, assim como os atuais, da UNICEP, que sempre foram pessoas solícitas em solução de dúvidas, assim como no compartilhamento de seus conhecimentos.

Por fim, agradeço ainda à minha orientadora Profa. MSc. Elaine Ribeiro, que me auxiliou, orientou e me deu suporte com relação à todas as minhas dúvidas, assim como me direcionou aos resultados deste estudo.

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.”

Aldo Novak

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VIII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVO.....	2
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 A ENGENHARIA CIVIL E A ÁREA DE TRANSPORTES	3
2.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE.....	3
2.2.1 TRANSPORTE RODOVIÁRIO	4
2.3 INTERSEÇÕES.....	5
2.4 ROTATÓRIAS (RÓTULAS MODERNAS)	9
2.5 ENGENHARIA DE TRÁFEGO	15
2.5.1 VOLUME DE TRÁFEGO	17
2.5.2 VELOCIDADE	19
2.5.3 DENSIDADE	20
2.6 CAPACIDADE E NÍVEL DE SERVIÇO	20
3 MATERIAIS E MÉTODO	23
3.1 MÉTODO.....	23
3.2 MATERIAIS	24
3.2.1 LOCALIZAÇÃO	24
3.2.2 MOVIMENTOS POSSÍVEIS.....	25
3.2.3 FLUXO DE TRÂNSITO NA INTERSEÇÃO	26
4 RESULTADOS	28
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO DA INTERSEÇÃO	28
4.2 TAXA DE FLUXO	31
4.3 FATOR HORÁRIO PICO.....	31
4.4 MELHORIAS PROPOSTAS	32
4.4.1 RÓTULA MODERNA	32
4.4.1.1 VOLUMES DE TRÁFEGO	32
4.4.1.2 CAPACIDADE TEÓRICA	34
4.4.1.3 CAPACIDADE REAL.....	34
4.4.1.4 CAPACIDADE RESIDUAL	35
4.4.1.5 TEMPO MÉDIO DE ESPERA E NÍVEL DE SERVIÇO.....	36

4.4.2	SEMÁFOROS	38
4.4.2.1	ESTÁGIOS	38
4.4.2.2	FASES	39
4.4.2.3	PERÍODO DE FASEAMENTO DOS SEMÁFOROS.....	40
4.4.2.4	TEMPO DE AMARELO	40
4.4.2.5	TEMPO DE VERMELHO DE SEGURANÇA.....	41
4.4.2.6	TEMPO PERDIDO	41
4.4.2.7	FLUXO DE SATURAÇÃO	41
4.4.2.8	TAXA DE OCUPAÇÃO	42
4.4.2.9	ENTREVERDES	42
4.4.2.10	TEMPO DE CICLO ÓTIMO.....	42
4.4.2.11	TEMPO DE VERDE	43
4.4.2.12	CONDIÇÃO DE FLUXO	44
5	DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	45
	REFERÊNCIAS	48

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: TIPOS DE MOVIMENTOS.....	7
FIGURA 2: MINI-ROTATÓRIA	11
FIGURA 3: ROTATÓRIA URBANA COMPACTA.....	11
FIGURA 4: ROTATÓRIA URBANA COM UMA FAIXA DE TRÁFEGO	12
FIGURA 5: ROTATÓRIA URBANA COM DUAS FAIXAS DE TRÁFEGO.....	13
FIGURA 6: ROTATÓRIA RURAL COM UMA FAIXA DE TRÁFEGO	13
FIGURA 7: ROTATÓRIA RURAL COM DUAS FAIXAS DE TRÁFEGO.....	14
FIGURA 8: RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADE, DENSIDADE E FLUXO	16
FIGURA 9: VISÃO DA INTERSEÇÃO À PARTIR DA LENTE DA CÂMERA.....	23
FIGURA 10: LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE SÃO CARLOS NO ESTADO DE SÃO PAULO.....	24
FIGURA 11: LOCALIZAÇÃO DA INTERSEÇÃO, OBJETO DO ESTUDO, NA CIDADE DE SÃO CARLOS - SP	25
FIGURA 12: MOVIMENTOS POSSÍVEIS	26
FIGURA 13: CAPACIDADE NA VIA SECUNDÁRIA EM FUNÇÃO DO VOLUME NA VIA PRINCIPAL.....	29
FIGURA 14: REPRESENTAÇÃO DE VOLUME DE ENTRADAS E SAÍDAS DA ROTATÓRIA	33
FIGURA 15: GRÁFICO DA CAPACIDADE DAS ENTRADAS NA ROTATÓRIA.....	34
FIGURA 16: FATOR DE REDUÇÃO (FI) PARA CONSIDERAR A INFLUÊNCIA DA TRAVESSIA DE PEDESTRES DE UMA ENTRADA COM UMA FAIXA DE TRÁFEGO A UMA RÓTULA COM UMA FAIXA DE TRÁFEGO	35
FIGURA 17: GRÁFICO DO TEMPO MÉDIO DE ESPERA	36
FIGURA 18: REPRESENTAÇÃO DE SEMÁFOROS	38
FIGURA 19: DIAGRAMA DE ESTÁGIOS	39
FIGURA 20: DIAGRAMA DE FASES	39
FIGURA 21: DIAGRAMA DE TEMPO	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: TIPOS DE ROTATÓRIAS E CARACTERÍSTICAS DE PROJETO	14
TABELA 2: FLUXO DE TRÂNSITO NA INTERSEÇÃO DAS 17:30 ÀS 18:30.....	27
TABELA 3: FATORES DE EQUIVALÊNCIA - UCP	28
TABELA 4: TOTALIZAÇÃO DE UCP DOS MOVIMENTOS DA INTERSEÇÃO	28
TABELA 5: RESUMO DA AVALIAÇÃO DA INTERSEÇÃO.....	30
TABELA 6: NÍVEIS DE SERVIÇO	30
TABELA 7: VOLUME DE TRÁFEGO QUE CHEGA À ROTATÓRIA.....	36
TABELA 8: NÍVEIS DE SERVIÇO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE ESPERA.....	37
TABELA 9: NÍVEL DE SERVIÇO EM FUNÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE ESPERA..	37
TABELA 10: TEMPO DE AMARELO	40
TABELA 11: CONDIÇÃO DO FLUXO EM FUNÇÃO DA CAPACIDADE SEMAFÓRICA.....	44

RESUMO

Graças ao crescimento acelerado de muitas cidades, em especial às médias e grandes, solucionar os conflitos do trânsito tornou-se um dos maiores desafios para a engenharia de tráfego nos últimos anos. O crescimento constante da quantidade de veículos nas vias urbanas requer estudos voltados ao planejamento urbano para auferir qualidade e segurança, de forma que supram as atuais e futuras necessidades da população. Desta forma, analisando o município de São Carlos / SP, o crescimento foi extremamente significativo, principalmente nas vias centrais da cidade, resultando assim na elevação dos congestionamentos, aumento nos tempos de viagem, crescimento nos índices de acidentes de trânsito, assim como outros impactos que acabam por comprometer a qualidade de vida e segurança da população. Com isso, o presente estudo foi realizado com o objetivo de analisar o nível de serviço de uma interseção da cidade, assim como propor melhorias a ela. Para isso foi efetuado estudo de caso, coleta de dados no local e aplicados métodos propostos descritos no Projeto de Interseções do DNIT (2005), trazendo como situação atual, uma interseção com níveis de serviço tipo “D”, ou seja, de condição ruim e elevando a mesma para nível de excelência “A” com base nas medidas propostas e suas viabilidades: rótula moderna ou semáforos.

Palavras-chave: Engenharia de tráfego; Rótula moderna; Semáforo; DNIT.

1 INTRODUÇÃO

O transporte é uma atividade necessária à sociedade e produz uma grande variedade de benefícios, possibilitando a circulação das pessoas e das mercadorias utilizadas por elas e, por consequência, a realização das atividades sociais e econômicas desejadas (VASCONCELLOS, 2006).

É também, conforme Rech e Albano (2004), uma atividade meio que viabiliza deslocamentos para a satisfação de necessidades pessoais e coletivas. Para qualquer ser humano, é indispensável o deslocamento para o trabalho, entretenimento ou qualquer outra atividade, assim como é indispensável o deslocamento das pessoas para a inserção das mesmas em uma sociedade organizada. Ainda, um sistema de transporte deve ter harmonia e integração entre todos os seus componentes para que seja otimizado, atendendo às necessidades de todos que desejam utilizá-lo, no que diz respeito ao tempo, conforto e impactos negativos.

Segundo o *ITE - Institute of Transportation Engineers* (1999), as grandes cidades brasileiras têm experimentado um marcante crescimento em suas populações nas últimas décadas, e esta tendência normalmente vem acompanhada de elevação nas atividades desenvolvidas, no surgimento de diversas demandas envolvendo o deslocamento de pessoas e de mercadorias, e resultando muitas vezes no crescimento da frota de veículos. A inexistência de soluções de engenharia capazes de atender adequadamente esta crescente demanda resulta em problemas comuns aos grandes centros urbanos brasileiros. Entre esses problemas é possível destacar: a elevação dos congestionamentos, trazendo implicações como aumento nos tempos de viagem, crescimento nos índices de acidentes de trânsito, e outros impactos que acabam por comprometer a qualidade de vida da população (MOREIRA E NETO, 2006).

Ainda, conforme os mesmos autores, diante deste cenário, promover o deslocamento de pessoas e mercadorias com segurança e eficiência nas vias, exige dos técnicos da área de planejamento urbano e de engenharia de tráfego um bom conhecimento dos quatro elementos constituintes do espaço urbano – os usuários, os veículos, as vias e dispositivos de controle. Só assim é possível compreender os níveis de interação entre estes componentes, e assim desenvolver projetos adequados às

diversas áreas existentes no tecido urbano de uma cidade, proporcionando a concepção de vias que atendam as demandas de seus usuários. Para promover um deslocamento nesta infraestrutura é necessário implantar uma operação adequada, fiscalizar os usuários segundo as leis de trânsito e gerenciar as demais atividades afins (BRASIL, 1997).

Em complemento, Moreira e Neto (2006) citam que no desenvolvimento do projeto de construção ou melhoria da via, o engenheiro de tráfego necessita conhecer como os elementos constituintes do espaço urbano estão se comportando. Segundo Ogden (2002), este diagnóstico é feito através de medidas quantitativas específicas e de indicadores qualitativos do fluxo, com o propósito de avaliar as condições existentes e propor alternativas de melhorias, embasando os estudos de viabilidade econômica, e assim orientando os tomadores de decisão quanto à importância, ou não, de intervenções no sistema de transportes.

1.1 JUSTIFICATIVA

Este estudo visa expor que, por meio de melhorias, é possível a resolução de possíveis conflitos causados em vias ou interseções onde possam haver quaisquer tipos de acidentes, sendo estes causados por diversas situações, mas em sua maioria: condições climáticas, ambientais, de relevo ou fator humano.

Justifica-se o trabalho pois, baseado em cálculos indicadores dos níveis de serviço, fluxo e demais fatores, é possível identificar antes de qualquer alteração ou outras interferências no fluxo de tráfego, se esta via ou interseção possui boas ou más condições para operação, melhorando assim, o tráfego na região para os devidos veículos e pedestres.

1.2 OBJETIVO

Analisar, verificar e propor melhorias para o desempenho da interseção entre a avenida Av. Comendador Alfredo Maffei e Rua Treze de Maio, na cidade de São Carlos-SP, com base em estudos e amostras de fluxo coletadas “in loco”.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A ENGENHARIA CIVIL E A ÁREA DE TRANSPORTES

De acordo com Pereira et al. (2013, p. 21):

(...) transportar não é apenas uma questão técnica, é também uma questão social e política, pois organiza o movimento de pessoas no espaço urbano e rural. Desse modo, a área de transportes necessita de técnicos com excelente formação para viabilizar um desenvolvimento sustentável e, ao mesmo tempo, encaminhar boas soluções para os efeitos negativos provocados pelo consumo de transportes.

Com base em CONFEA (1973, p. 2), em seu artigo 7º da Resolução 218/1973, o Engenheiro Civil é o profissional sob o ponto de vista legal, que tem a prerrogativa de criar, desenvolver, coordenar e atuar na área de transportes.

2.2 SISTEMAS DE TRANSPORTE

Segundo Padillo, Silveira e Torres (2020, p. 9):

O transporte é definido como o deslocamento, seja de pessoas e/ou bens, de um lugar a outro do espaço, ao longo de um percurso, durante um certo período de tempo. Quando se fala em sistema de transporte, atende-se às diferentes partes que se interagem de modo a atingir o objetivo desse deslocamento, de acordo com um plano ou princípio, relacionando-se com o meio em que se encontra e de acordo com os recursos ou solicitações procedentes deste.

Rech e Albano (2004, p. 2) definem que “o setor de transporte pode ser dividido em diversas modalidades, como por exemplo: rodoviário, ferroviário, aquaviário, aéreo ou qualquer outra forma que propicie deslocamentos”.

Ainda, os mesmos autores observam que “um sistema de transporte deve ter harmonia e integração entre todos os seus componentes para que seja otimizado, atendendo às necessidades de todos que desejam utilizá-lo, no que diz respeito à tempo, conforto e impactos negativos”.

Por fim, Rech e Albano (2004, p. 2) indicam que fazem parte de um sistema de transportes:

- Via: permite que o transporte seja realizado. São ruas, avenidas, passeios, estradas, hidrovias, ferrovias, rotas aéreas, entre outros;
- Veículo: qualquer equipamento utilizado para a realização de deslocamentos. São os automóveis, ônibus, caminhões, motos, bicicletas, navios, aviões, trens, entre outros;
- Usuário: toda e qualquer pessoa que utilize e se beneficie do sistema. São os pedestres, ciclistas, motoristas, passageiros, entre outros;
- Meio ambiente: há uma interação de todos os fatores citados acima com o ambiente no qual estão inseridos. O meio ambiente relaciona-se diretamente com o sistema através de fatores como chuva, sol, neblina, vento, fumaça, poluição, ruído, entre outros.

2.2.1 TRANSPORTE RODOVIÁRIO

Segunco Padillo, Silveira e Torres (2020, p. 47):

O transporte rodoviário foi o primeiro a se desenvolver e inicialmente se utilizava da própria força humana e posteriormente a de animais para o deslocamento de pessoas e cargas, com ajuda ou não de veículos. Assim continuou até a Revolução Industrial, em que apareceram os primeiros motores, primeiro de combustão a gás e posteriormente de explosão, entrando assim na era do automóvel, de grande expansão desde o início do século XX.

Ainda, conforme os mesmos autores (PADILLO; SILVEIRA; TORRES, 2020, p.48):

As vantagens próprias desse transporte são o serviço porta-a-porta, com possibilidade de carga e descarga diretamente em origem e destino, garantindo a frequência e a disponibilidade do serviço, a flexibilidade de escolha de rotas e horários, e a elevada comodidade. O transporte rodoviário permite serviço personalizado, com possibilidade de consolidar diferentes lotes em pontos distintos, conectando os outros modais de transportes, é ágil e rápido na entrega de mercadorias em pequenos lotes e a curtas distâncias. No entanto, não é competitivo para longas distâncias, visto que possui menor capacidade de carga e menor segurança, além do permanente desgaste de sua infraestrutura.

Os veículos de transporte rodoviário se distinguem pela finalidade do deslocamento, dividindo-se entre os de passageiros (passeio, ônibus, motocicleta e bicicleta) e os de carga (caminhões e camionetas).

O transporte rodoviário se divide em dois grupos: tráfego rodoviário, que é aquele que ocorre nas estradas e nas rodovias, conectando-as às cidades, e o tráfego urbano, que é aquele que ocorre nas ruas dentro dos municípios.

2.3 INTERSEÇÕES

Conforme Albano ([S.D.], p. 1), interseção “é a área em que duas ou mais vias se cruzam ou se unificam. Neste local existem dispositivos destinados a ordenar os diversos movimentos do tráfego”. Além disso, “as interseções e travessias abrangem 4% da área total das rodovias Federais e Estaduais, e são nelas que ocorrem 53% dos acidentes. Já as interseções urbanas ocupam 19% da área pavimentada e nelas ocorrem 78% dos acidentes”.

Há possibilidades de minimizar o problema, que são adequadas e coesas à engenharia do tráfego. É notório que as interseções viárias são pontos cruciais do desempenho de uma rede viária de transportes, visto que é onde se perde mais tempo e sucede grande parcela dos acidentes. O plano de interseção requer cautela devido a sua importância, pois se mal projetado pode interferir na segurança, na aptidão de tráfego e na agilidade de operação da via (COSTA, 2010).

Segundo Brasil (2005, p. 39):

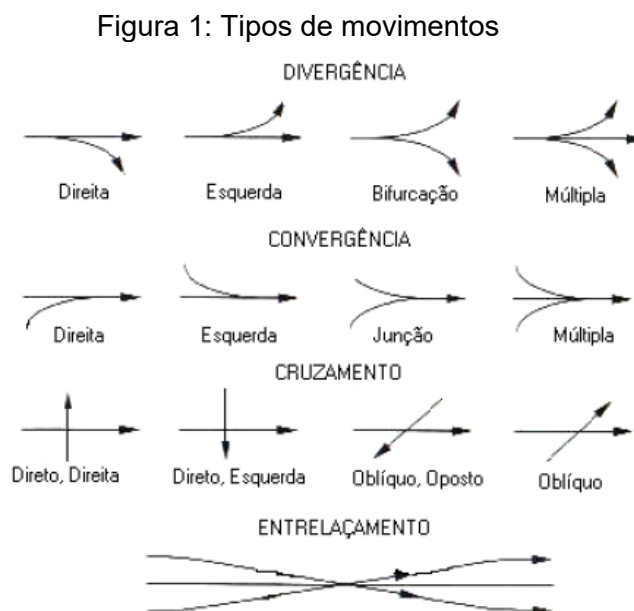
As interseções constituem elementos de descontinuidade em qualquer rede viária e representam situações críticas que devem ser tratadas de forma especial. O projeto de interseções deverá assegurar circulação ordenada dos veículos e manter o nível de serviço da rodovia, garantindo a segurança nas áreas em que as suas correntes de tráfego sofrem a interferência de outras correntes, internas ou externas.

De acordo com Brasil (1991, p. 162):

(...) particularmente nos pontos de interseção o comportamento da corrente de trânsito dependerá de sua composição, volume, velocidade e tipo de interseção adotado. Este último é responsável pela natureza dos movimentos que se dão entre veículos de cada corrente, os quais se classificam em:

- Cruzamentos: quando a trajetória dos veículos de uma corrente corta a trajetória dos veículos de outra. Tal movimento requer que os veículos de uma outra corrente passem pelos claros que surgem na outra ou que uma delas se interrompa momentaneamente.
- Convergências: quando as trajetórias dos veículos de duas ou mais correntes se juntam para formar uma única. Para a execução desse movimento é preciso regular o direito de passagem dos veículos que convergem, ou então, que os veículos de uma corrente esperem que ocorram claros adequados na outra para nela se inscreverem.
- Divergências: quando a trajetória dos veículos de uma corrente se desdobra para formar correntes independentes. É um movimento mais simples que o anterior, exceto quando os veículos que divergem têm que cruzar uma corrente oposta.
- Entrecruzamentos: quando a trajetória dos veículos de duas ou mais correntes independentes se combinam, formando uma corrente única e logo se separando.

Para um melhor entendimento, verifica-se na figura 1 os diferentes tipos de movimento.



Fonte: (Albano, [S.D.])

Ainda, conforme Brasil (1991, p.25):

A possibilidade de ocorrência destes movimentos produz uma área de conflito potencial que se tornará real desde que haja sua simultaneidade. Normalmente, os efeitos destas áreas de conflito se refletem nos veículos que delas se aproximam, causando reduções nas suas velocidades. Por este motivo, um projeto eficiente deverá levar em consideração a natureza e a intensidade dos movimentos que serão executados nas áreas de interseção.

As interseções são classificadas em duas categorias gerais, conforme os planos em que se realizam os movimentos: interseções em nível e interseções em níveis diferentes. De acordo com Soncin (2020, p. 5) “as interseções em nível podem ser definidas como vias que se interceptam em um mesmo plano. Já as interseções em níveis diferentes são vias e/ou ramos da interseção que se cruzam em um plano diferente”.

Conforme Brasil (1991, p. 25 - 27):

As interseções em Nível podem ser definidas:

- Em função do tipo de movimentos executados:
 - a. Diretas: quando há cruzamentos das trajetórias dos veículos;
 - b. Rotatórias: quando, em vez de cruzamentos, executam-se manobras de entrecruzamento, descrevendo os veículos giros parciais ao redor de uma área central.
- Em função do número de ramos e dos ângulos interceptantes:
 - a. De três ramos: em "Y" para ângulos menores que 75° (oblíquas); em "T" para ângulos entre 75° e 105° (retas);
 - b. De quatro ramos: ortogonais (com tolerância de +- 15°); oblíquas (menos de 75°); deslocadas: quando os eixos interceptantes são descontínuos;
 - c. Múltiplas: de cinco ou mais ramos.
- Em função dos movimentos de giro ou conversões: à esquerda ou à direita.
- Em função dos projetos adotados:
 - a. Mínimos: aplicáveis a rodovias de 2 faixas de trânsito onde o número de veículos que giram a direita na hora de maior solicitação é reduzido (≤ 25 vph);
 - b. Canalizados: previstos onde os volumes e composição de trânsito, complexidade de movimentos etc. justificam a expansão do projeto além do mínimo.
- Em função do controle de sinal utilizado:
 - Com sinalização luminosa, típicas de zonas urbanas onde o fluxo é interrompido;
 - Sem sinalização luminosa, típicas de zonas rurais onde o fluxo é ininterrupto.

Ainda, conforme Brasil (1991, p. 27 - 28):

As interseções em níveis diferentes podem ser de dois tipos gerais: quando existe, apenas, o cruzamento das vias interceptantes em níveis diferentes por meio de estruturas de separação dos greides, e

quando, além do cruzamento em desnível, a interseção possui pistas separadas que se ligam com seus distintos ramos para conduzir os veículos de uma via a outra. Para esse segundo tipo, que corresponde ao *"interchange"* na terminologia norte-americana, será adotada a designação abreviada de IND (Interseção a Níveis Diferentes). Normalmente as IND são classificadas em seis tipos básicos:

1. Em "T" ou trombeta;
2. Em "Y";
3. Em folhas de trevo ou simplesmente "trevo": completo ou parcial;
4. Losangular: convencional, desdobrado ou em três níveis;
5. Direcional: de Saída Simples ou Dupla, com Rampas de Conversão à Esquerda, com Rampas de 2 Faixas;
6. Rotatório ou giratório.

2.4 ROTATÓRIAS

Conforme Waddel (2000):

Nas primeiras tentativas de ordenar o tráfego numa interseção utilizou-se um agente de trânsito posicionado no centro do cruzamento, às vezes sobre uma plataforma, cabendo a ele permitir ou não o tráfego em dada direção. A condição de trabalho do agente era não só perigosa, mas insalubre. Assim buscou-se automatizar esta função através de algum dispositivo de sinalização que orientasse os motoristas no cruzamento. As rotatórias foram desenvolvidas há mais de 100 anos em diferentes tipos de rodovias. Uma das primeiras iniciativas dos técnicos preocupados com esta questão foi colocar uma marcação no centro da interseção (...).

De acordo com Kansas (2003):

Os locais onde as rotatórias são geralmente vantajosas sobre as outras formas de controle de tráfego são:

- Interseções com históricos problemas de segurança;

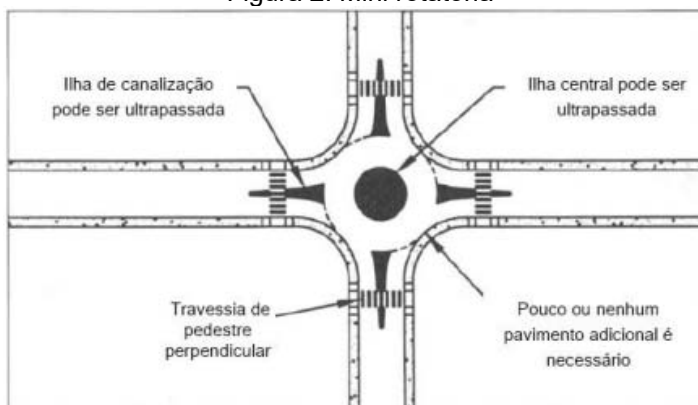
- Interseções com volume de tráfego relativamente balanceado;
- Interseções com alta porcentagem de giros;
- Interseções com alto volume de tráfego na hora de pico, mas baixo tráfego nas horas fora pico;
- Interseções que podem acomodar virada em U (retorno);
- Interseções no acesso ou ponto de entrada a Universidades, áreas residências, urbanas ou comerciais;
- Interseções ou corredores onde a moderação de tráfego é desejada;
- Interseções onde o crescimento de tráfego esperado para o futuro é incerto;
- Rodovias com histórico de problemas de excesso de velocidade.

Com base em FHWA *apud* COSTA (2010, p. 57 - 61):

A seguir, apresenta-se uma classificação mais precisa sobre os tipos de rotatórias:

- **Mini rotatória:** são rotatórias pequenas construídas em ambientes urbanos. Devido ao seu pequeno tamanho, os veículos largos ao realizarem movimentos de conversões podem passar sobre a ilha central. Contudo, as mini rotatórias são projetadas para acomodar os automóveis exigindo que os motoristas conduzam os veículos em torno da ilha central. O controle de velocidade é realizado pelos motoristas ao contornarem a ilha central. Ela pode ser útil em ambientes urbanos com baixas velocidades e volumes em casos onde há impedimentos na utilização de rotatórias convencionais. Apresentam uma ilha com um diâmetro variando entre 1 e 4 metros, podendo apresentar uma ilha construída em material semelhante ao da rodovia onde está ou apenas desenhada com tinta. São relativamente baratas porque geralmente exigem pavimento adicional mínimo na sua construção. A capacidade esperada por esse tipo de rotatória é muito semelhante à capacidade das rotatórias urbanas compactas (COSTA, 2010).

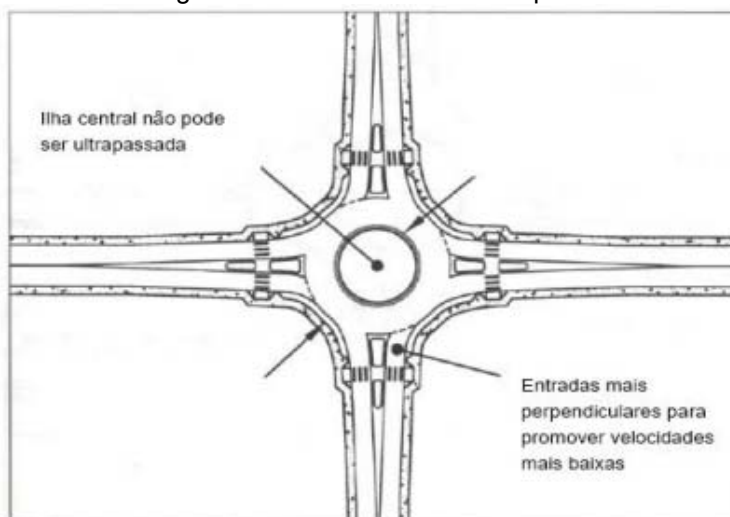
Figura 2: Mini rotatória



Fonte: (FHWA, 2000)

•Rotatória urbana compacta: são caracterizadas por apresentarem o diâmetro do círculo inscrito na interseção variando entre 30 e 37 metros. Apresentam uma ilha central relativamente elevada não permitindo que os veículos passem sobre a ilha. Este tipo de rotatória é desejada por ciclistas e pedestres, pois as configurações de suas aproximações fazem com que as velocidades dos veículos sejam baixas fazendo o direito de distinção na entrada e na saída do anel de circulação. O principal objetivo deste projeto é permitir ao pedestre uma eficaz segurança no uso da interseção (COSTA, 2010).

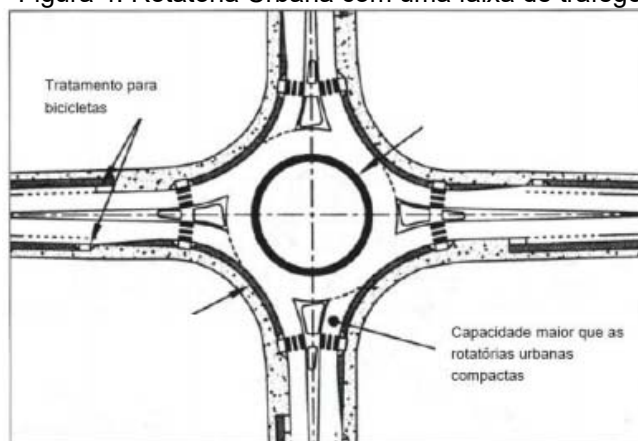
Figura 3: Rotatória Urbana Compacta



Fonte: (FHWA, 2000)

•Rotatória Urbana com uma faixa de tráfego: este tipo de rotatória é caracterizada por ter uma faixa de tráfego em todas as aproximações e uma única faixa no anel de circulação. São diferenciadas das rotatórias urbanas compactas por apresentarem um diâmetro do círculo inscrito entre 37m e 45 m, e suas entradas e saídas são postadas tangencialmente em relação ao anel de circulação, o que aumenta sua velocidade de operação. O projeto geométrico permite que as ilhas de canalização e a ilha central sejam elevadas (COSTA, 2010).

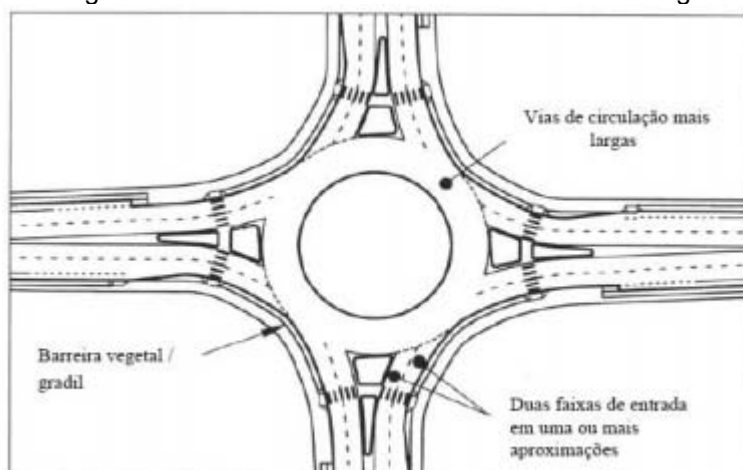
Figura 4: Rotatória Urbana com uma faixa de tráfego



Fonte: (FHWA, 2000)

•Rotatória Urbana com duas faixas de tráfego: este tipo de rotatória inclui todas as rotatórias em áreas urbanas que tem no mínimo uma entrada com duas faixas por sentido. Este tipo de rotatória requer um anel de circulação maior para acomodar os veículos em movimentos. As velocidades de entrada, de circulação, e de saída são similares aquelas das rotatórias urbanas com faixa simples. Novamente, é importante que a velocidade dos veículos seja compatível com o tipo de rotatória. O projeto geométrico poderá incluir um divisor de fluxo elevado, uma ilha central também elevada (COSTA, 2010).

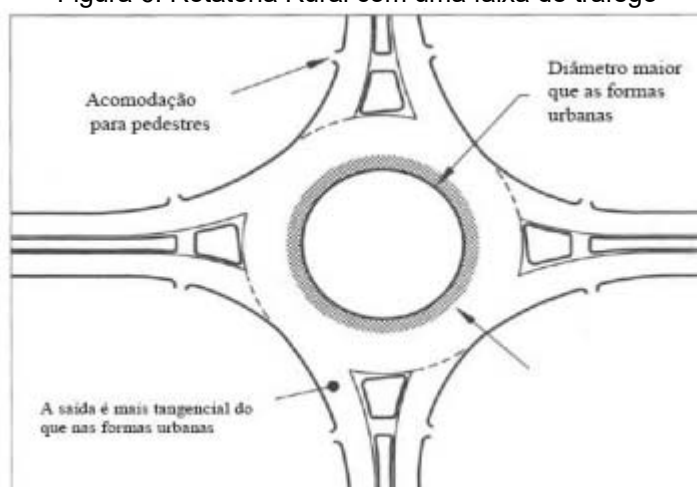
Figura 5: Rotatória Urbana com duas faixas de tráfego



Fonte: (FHWA, 2000)

•Rotatória rural com uma faixa de tráfego: este tipo de rotatória apresenta um diâmetro maior que as rotatórias urbanas permitindo altas velocidades na entrada, circulação e saída. Isto é possível quando pode-se garantir poucos pedestres nesta interseção atualmente e no futuro. Elas estão geralmente localizadas em ambientes que proporcionam altas velocidades. Também requerem um dispositivo de tratamento para o controle de tráfego na aproximação, fazendo com que os motoristas desenvolvam uma velocidade compatível com a velocidade de projeto da rotatória (COSTA, 2010).

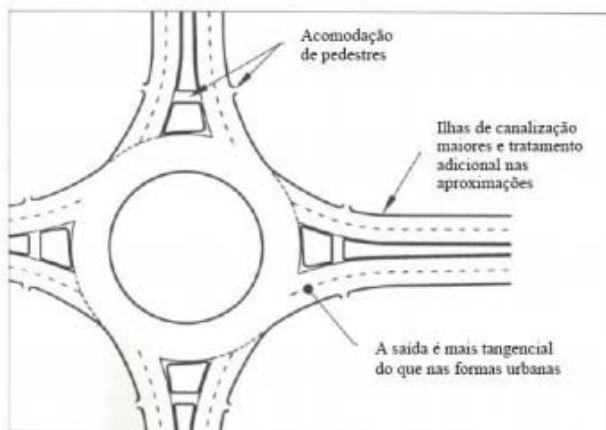
Figura 6: Rotatória Rural com uma faixa de tráfego



Fonte: (FHWA, 2000)

•Rotatória rural com duas faixas de tráfego: este tipo de rotatória tem características similares às rotatórias urbanas de faixa simples. Conseqüentemente, muitas características do seu traçado são semelhantes ao das rotatórias urbanas. A principal diferença no seu projeto é a velocidade de entrada ligeiramente superior e diâmetros maiores (COSTA, 2010).

Figura 7: Rotatória Rural com duas faixas de tráfego



Fonte: (FHWA, 2000)

A tabela 1 traz um resumo das características de projeto de alguns tipos de rotatórias.

Tabela 1: Tipos de rotatórias e características de projeto

Alguns tipos de rotatórias e suas características de projeto				
Elementos de Projeto	Mini-rotatória	Urbana Compacta	Urbana com uma faixa de tráfego	Urbana com duas faixas de tráfego
Velocidade de projeto máxima recomendada na entrada da interseção	25 km/h	25 km/h	35 km/h	40 km/h
Máximo número de faixa de entrada por aproximação	1	1	1	2
Tamanho do diâmetro do círculo inscrito	15 - 27 m	30-37 m	37-45 m	46-67 m
Volume de serviço de um dia típico em rotatórias com quatro aproximações (veic./dia)	15.000	15.000	20.000	Aproximadamente 40.000 - 50.000

Fonte: (FHWA, 2000)

Por fim, DNIT (2005, p. 105) subdivide as rotatórias ainda, entre convencionais e modernas, onde respectivamente as primeiras são utilizadas quando a prioridade do tráfego, em um ou mais acessos, é do ramo de acesso; e nas segundas quando a prioridade do tráfego, em um ou mais acessos, é do ramo de acesso.

2.5 ENGENHARIA DE TRÁFEGO

Conforme opinião de Vieira ([S. D.], p. 2), “a Engenharia de Tráfego é a parte da Engenharia de Transportes que trata dos problemas de planejamento, operação e controle de tráfego. Tendo como objetivo uma mobilidade sustentável e socialmente incluyente”.

Ainda, conforme ITE ([S.D.], p. 2), é o ramo da engenharia de transportes que se relaciona com o projeto geométrico, o planejamento e a operação do tráfego de estradas e vias urbanas, suas redes, os seus terminais, o uso do solo adjacente e o seu inter-relacionamento com os outros meios de transporte. Sua finalidade é visar proporcionar a movimentação segura, eficiente e conveniente de pessoas e mercadorias.

“A engenharia de tráfego surgiu com o advento do automóvel. O primeiro semáforo foi instalado em Houston (Texas) em 1921. E, o primeiro sistema de semáforo coordenado, também, na mesma cidade, em 1922” (ITE, [S.D.], p. 3).

De acordo com Andrade (2012), o comportamento do tráfego e frota de veículos são explicados através de três parâmetros macroscópicos básicos que descrevem o tráfego de qualquer via. Esses parâmetros são: volume de tráfego, velocidade e a densidade.

Afirma o mesmo autor, que por meio desses parâmetros, a Engenharia de Tráfego pode estudar as melhores soluções para o tráfego, através de projetos de vias, com melhores planejamentos e operações e aperfeiçoamento das vias já existentes. Com esses parâmetros definidos é possível determinar a necessidade de intervenção nas vias, seja para melhorar a capacidade, a velocidade ou diminuir o índice de acidentes. As intervenções mais comuns nos projetos de via são: semaforização, implantação de rotatória, sinalização horizontal e vertical, detectores

de velocidade. Com esses parâmetros definidos é possível determinar um panorama global da fluidez do tráfego, ainda que este seja dinâmico no tempo.

Segundo Sanches (2018, p. 14 -15):

Há uma relação fundamental que associa esses três parâmetros importante do tráfego, denominada também por equação da continuidade, dessa maneira, podemos obter dois parâmetros de forma direta e a outra indiretamente:

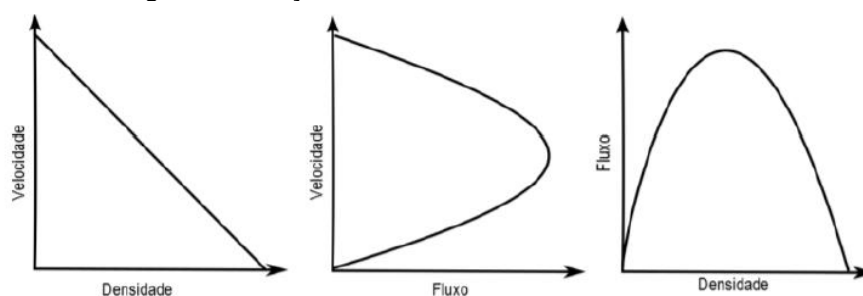
$$F = V \cdot D$$

Onde: F- Fluxo

V- Velocidade

D- Densidade

Figura 8: Relação entre velocidade, densidade e fluxo



Fonte: (Andrade, 2012)

Analisando a Figura 8, no primeiro gráfico a velocidade máxima ocorre quando a densidade é zero, e conforme aumenta a densidade, a velocidade diminui devido a presença de veículos na seção. O segundo gráfico, que apresenta a relação entre velocidade e fluxo, mostra que para o fluxo zero, tem-se a velocidade zero, e a velocidade máxima representando uma velocidade hipotética que poderia ser desenvolvida sem veículos na seção. Já o terceiro gráfico, a densidade máxima corresponde a capacidade da via, ou seja, no vértice da parábola a via está trabalhando no limite, com o aumento da quantidade de veículos a via já está saturada (ANDRADE, 2012).

2.5.1 VOLUME DE TRÁFEGO

O volume de tráfego é definido como o número total de veículos que passam por uma seção de uma via, ou de uma determinada faixa, durante um uma unidade de tempo. Seus valores são expressos comumente em veículos/dia (VPD) ou veículos/hora (VPH) (BRASIL, 2006).

Segundo Akishino (2018, p. 1), o volume de tráfego é o número de veículos que passam por uma determinada seção de uma via na unidade de tempo. Os volumes podem referir-se a um ou mais sentidos de movimento, ou podem ser considerados apenas uma parcela da seção (uma faixa, uma pista, etc.) e ter como unidade básica de tempo o período de um ano, um dia ou uma hora, onde:

- Volume Anual (VA): é o volume registrado em um ano (365 dias consecutivos). É utilizado para determinar índices de acidentes, estimar receitas para implantação de pedágios ou estudar tendências de volume;
- Volume Médio Diário (VMD): também conhecido como Volume Diário Médio (VDM), Tráfego Médio Diário (TMD) ou Tráfego Diário Médio (TDM), é o volume ou tráfego registrado em um dia (24 horas), utilizado para avaliar a distribuição de tráfego, medir a demanda de uma via ou programação de melhorias básicas;
- Volume Médio Diário Anual (VMDA): também conhecido como volume diário médio anual (VDMA), Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) ou Tráfego Diário Médio Anual (TDMA), é o volume ou tráfego que representa a média de um ano. É o volume que, multiplicado por 365 dias, representa a quantidade total de veículos que transitaram durante o ano na via.
- Volume Horário (VH) ou Demanda Horária (DH): é o volume registrado em uma hora (normalmente referido à hora de pico), utilizado para estudos de capacidade de vias, projetos geométricos, projetos de interseções ou estabelecer controles de tráfego. É nesse volume que encontramos também mais alguns conceitos, como: hora pico (intervalo de uma hora de maior movimento numa determinada via, num determinado dia, num determinado ponto), volume de pico (volume registrado em uma hora na hora de pico) e pico horário (relação entre volume de pico e volume do dia de 24 horas).

Em função disso, conforme EIV – Estudo de Impacto de Vizinhança, realizado pelo MPRJ – Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, [S.D.]), a contagem volumétrica visa determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos que passam por um ou vários pontos selecionados do sistema viário, numa determinada unidade de tempo. Com estes dados é possível analisar a capacidade da via quanto a congestionamentos indicando ponto para projetos de dimensionamento viário considerando a canalização de tráfego entre outras opções. São considerados dois pontos básicos para realização das contagens: nos trechos entre interseções e nas interseções. As contagens entre interseções têm como objetivo identificar os fluxos de uma determinada via e as contagens em interseções levantar fluxos das vias que se interceptam e dos seus ramos de ligação.

Segundo Brasil ([S.D.]a, p. 116):

A Contagem Volumétrica Global é aquela em que é registrado o número de veículos que circulam por um trecho de via, independentemente de seu sentido, agrupando-os geralmente pelas suas diversas classes. São empregadas para o cálculo de volumes diários, preparação de mapas de fluxo e determinação de tendências do tráfego.

A Contagem manual é feita por pesquisadores, com auxílio de fichas e contadores manuais. São ideais para a classificação de veículos, análise de movimentos em interseções e contagens em rodovias com muitas faixas. Para contagens em vias urbanas é comum adotar um critério de agrupamento de veículos com base em características semelhantes de operação (automóveis, ônibus e caminhões).

Segundo Transportation (2010), um fator importante na caracterização do volume do tráfego é a sua composição, já que o tráfego é composto por veículos diferentes entre si, comparando o peso, tamanho e velocidade. Essas diferenças influenciam no tráfego, como na capacidade da via, nas características geométricas das vias e das interseções, já que veículos de grande dimensão necessitam de mais espaço para realização de manobras. Os pesos desses veículos de grande dimensão também interferem no projeto estrutural da rodovia

Para solução disso, conforme Brasil ([S.D.]a, p. 116), “adotou-se a conversão UCP (Unidades de Carros de Passeio) para converter veículos grandes (caminhões e ônibus) em carros de passeio”.

2.5.2 VELOCIDADE

A velocidade, segundo Akishino [S.D.], é definida como uma taxa de movimento, expressa em distância por unidade de tempo. Seus principais conceitos são:

- Velocidade Média de Percurso (VMP): chamada também de "velocidade média do espaço" na literatura específica. Ela é a medida da corrente de tráfego baseada na velocidade de marcha dos veículos atravessando um trecho de rodovia de extensão conhecida. Ela é definida como a extensão do trecho dividido pelo tempo de deslocamento médio consumido pelos veículos para atravessar este trecho. O tempo de deslocamento inclui somente o tempo que os veículos gastam em movimento e não inclui paradas por retenção.
- Velocidade Média de Vagem (VMV): também é uma medida da corrente de tráfego baseada nas observações do tempo de viagem sobre uma extensão conhecida da rodovia. Ela é definida como a extensão do trecho dividido pelo tempo médio de viagem gasto pelos veículos atravessando o trecho, incluindo todos os tempos parados por retenções. Ela é também uma "velocidade média do espaço".
- Velocidade Média do Tempo (VMT): é a média aritmética das velocidades dos veículos observados passando em um ponto da rodovia, e é também denominada como "velocidade média no ponto". As velocidades individuais são registradas em um ponto e a seguir calculada sua média aritmética.

De acordo com Soncin (2020, p. 13):

A regulamentação acerca dos limites de velocidade fica a cargo do CTB, o qual disciplina, no §1º do artigo 61 os limites de velocidade para as vias onde não exista sinalização regulamentadora. Para vias urbanas de trânsito rápido é definido uma velocidade de 80 km/h, em

vias arteriais de 60 km/h, em vias coletoras de 40 km/h e para trânsito local de 30 km/h.

Ainda, para vias rurais com rodovias de pista dupla é definido a velocidade de 110 km/h para automóveis, camionetas e motocicletas, para os demais veículos a velocidade de 90 km/h. Já em rodovias de pista simples a velocidade máxima para automóveis, camionetas e motocicletas é de 100 km/h, e para os demais veículos mantém 90 km/h. Por fim, em estradas rurais todos os veículos têm velocidade máxima permitida de 60 km/h.

2.5.3 DENSIDADE

A densidade é definida como o número de veículos que ocupa uma certa extensão de uma faixa ou de uma rodovia (AKISHINO, [S.D.]).

Esse parâmetro é mais difícil de determinar diretamente no campo, comparando com o volume e a velocidade. Diretamente é possível defini-la por meio de imagens sucessivas do trecho da via que será analisada. Porém uma forma mais simples de obter essa informação, é pelo método indireto que consiste na relação entre o volume de tráfego, a velocidade média e a densidade (TRB, 2010).

É importante definir a densidade porque essa variável caracteriza a aproximação dos veículos, o que interfere na liberdade para a realização de manobras no tráfego. Além disso, com a densidade é possível analisar o congestionamento da via, já que geralmente, altas densidades representam condições de tráfego ruim e velocidades baixas (TRB, 2010).

2.6 CAPACIDADE E NÍVEL DE SERVIÇO

A capacidade de uma via, segundo EIV – Estudo de Impacto de Vizinhança, realizado pela Prefeitura de Cachoeiro de Itapemirim (CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM, [S.D.]) é a maior quantidade de veículos, em unidade de carro de passeio (UCP) que ela comporta num determinado período.

Conforme (BRASIL, [S.D.]b, p. 95):

Em vias urbanas, o elemento determinante da capacidade é a interseção, por ser o ponto mais crítico da via, onde se apresentam maiores graus de restrições à passagem e/ou onde o fluxo de veículos se interrompe. Essa capacidade depende de fatores físicos ou operacionais, mais ou menos fixos, que podem ser alterados mais facilmente, como a distribuição dos tempos livres na programação dos semáforos, ou que dependem de ações mais complexas como as mudanças físicas que exigem obras civis.

No caso das rodovias, de acordo com Demarchi e Setti [S.D.], a capacidade:

(...) corresponde ao maior número de veículos que podem ser acomodados, enquanto que o nível de serviço corresponde à qualidade de operação, o que reflete, de certa forma, o nível de fluidez da corrente de tráfego, a possibilidade de realizar manobras de ultrapassagem ou de mudança de faixa, e o grau de proximidade entre veículos. De uma forma geral, quanto menor o fluxo de veículos, melhor a qualidade de operação. Por outro lado, quanto mais o fluxo se aproxima da capacidade, pior será o nível de serviço, pois maior é a probabilidade de ocorrerem congestionamentos.

De uma forma geral, a análise de capacidade e nível de serviço permite responder questões do tipo: qual a qualidade da operação nos períodos de pico e qual o nível de crescimento do tráfego que pode ser suportado pelo sistema nas condições atuais? Qual o nível de oferta necessário para que um determinado nível de demanda veicular possa ser satisfatoriamente atendido? Quantas faixas de tráfego são necessárias para atender aos volumes médios diários de tráfego? Qual o tipo de via atende de forma adequada a demanda gerada por um novo empreendimento imobiliário?

EIV, realizado pela Prefeitura de Cachoeiro de Itapemirim (CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM, [S.D.], p. 95) afirma que, “conhecendo-se a capacidade de cada aproximação, na interseção e os volumes de veículos que por elas transitam, determina-se o nível de serviço da via, definido como a relação entre o volume de tráfego e a capacidade da via”.

Ainda, o mesmo autor (CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM, [S.D.], p. 95) diz que:

as condições de tráfego são habitualmente classificadas em seis níveis de serviço, que variam das condições ideais ao fluxo forçado:

- Nível de serviço A: via com baixos volumes e densidades, e elevada velocidade. O volume de veículos não interfere nessas condições e é inferior a 60% da capacidade da via.

- Nível de serviço B: apresenta fluxo estável e velocidades que começam a ser limitadas pelas condições de tráfego, embora o motorista detenha razoável grau de liberdade de escolha da velocidade do veículo. O volume varia entre 60% e 70% da capacidade da via.

- Nível de serviço C: o fluxo é estável, porém a velocidade e as manobras são condicionadas pelos volumes mais elevados de tráfego, que atingem de 70% a 80% da capacidade da via.

- Nível de serviço D: aproxima-se do fluxo instável e as velocidades são afetadas pelas condições de operação. A liberdade de manobra é restrita e o volume situa-se na faixa entre 80% e 90% da capacidade da via.

- Nível de serviço E: o fluxo e a velocidade são instáveis e o volume atinge até 100% da capacidade da via, provocando paradas frequentes. O comportamento diferenciado de um motorista condiciona o fluxo e a velocidade dos demais veículos.

- Nível de serviço F: o fluxo é forçado, com baixíssimas velocidades. As paradas são frequentes, resultando na formação de extensas filas. O volume está acima da capacidade da via

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 MÉTODO

Para o desenvolvimento deste projeto, além da revisão bibliográfica descrita nos capítulos acima, foi necessário um estudo de caso para análise do nível de serviço da interseção. Para isso, fez-se necessário um levantamento quantitativo “in loco” para caracterização da pesquisa de acordo com os seguintes métodos:

- Revisão bibliográfica: a revisão bibliográfica foi realizada com base nos pilares da Engenharia de Tráfego e seus constituintes.
- Estudo de caso: no estudo de caso buscou-se avaliar a necessidade de definição do nível de serviço dos dispositivos viários, e em caso de acidentes ou congestionamentos, indicação de intervenções e/ou modificação na infraestrutura ou até, na operação do cruzamento.
- Coleta de dados: a coleta de dados foi realizada através de filmagens na interseção por meio de câmera profissional, por um período compreendido durante uma hora, especificamente durante o horário de pico vespertino na localidade e posição indicados na Figura 9, onde buscou-se verificar desta todos os movimentos possíveis da interseção. Buscou-se indicar assim, o pior momento de fluxo da via, entendendo-se que o horário de pico com maior concentração de veículos reflete no momento da distribuição de veículos que se dirigem na volta de seu trabalho ou escola para suas residências, suportando assim, viagens com grande concentração de pico.

Figura 9: Visão da interseção à partir da lente da câmera



Fonte: Autor (2021)

3.2 MATERIAIS

Os materiais utilizados para avaliar a interseção deste estudo foram a localização, as possíveis rotas e movimentos, assim como o fluxo de trânsito do local.

3.2.1 LOCALIZAÇÃO

A interseção indicada para o objeto deste estudo está localizada na cidade de São Carlos, no interior do estado de São Paulo (Figura 10) e encontra-se a aproximadamente 240 km da capital do estado.

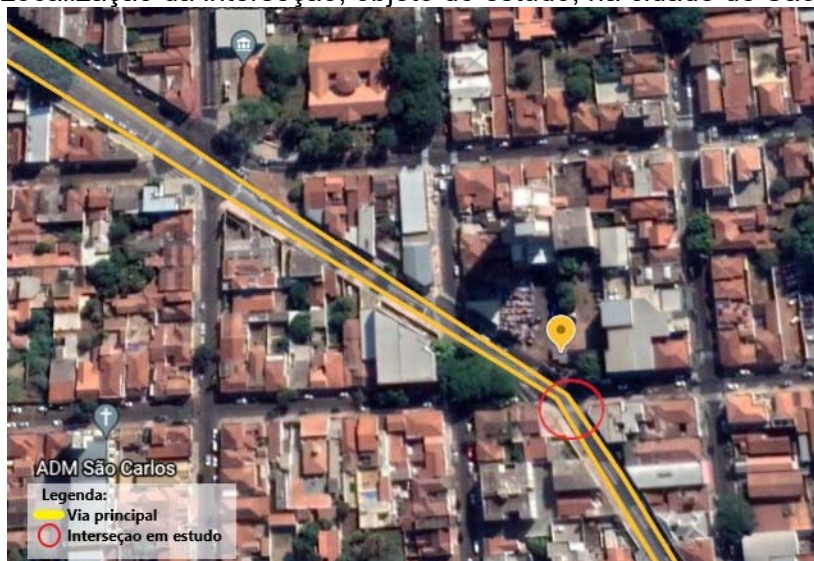
Figura 10: Localização da cidade de São Carlos no estado de São Paulo.



Fonte: (ABREU, [S.D.])

Com maior nível de especificidade, a interseção analisada situa-se no cruzamento entre a Av. Comendador Alfredo Maffei e a Rua 13 de maio, fazendo parte da extensão central da cidade, conforme ilustrado na Figura 11. A escolha da interseção se deu devido à problemática observada cotidianamente pelo autor, identificando qualitativamente uma necessidade de intervenção para melhoria.

Figura 11: Localização da interseção, objeto do estudo, na cidade de São Carlos - SP



Fonte: adaptado do Google Earth (2021)

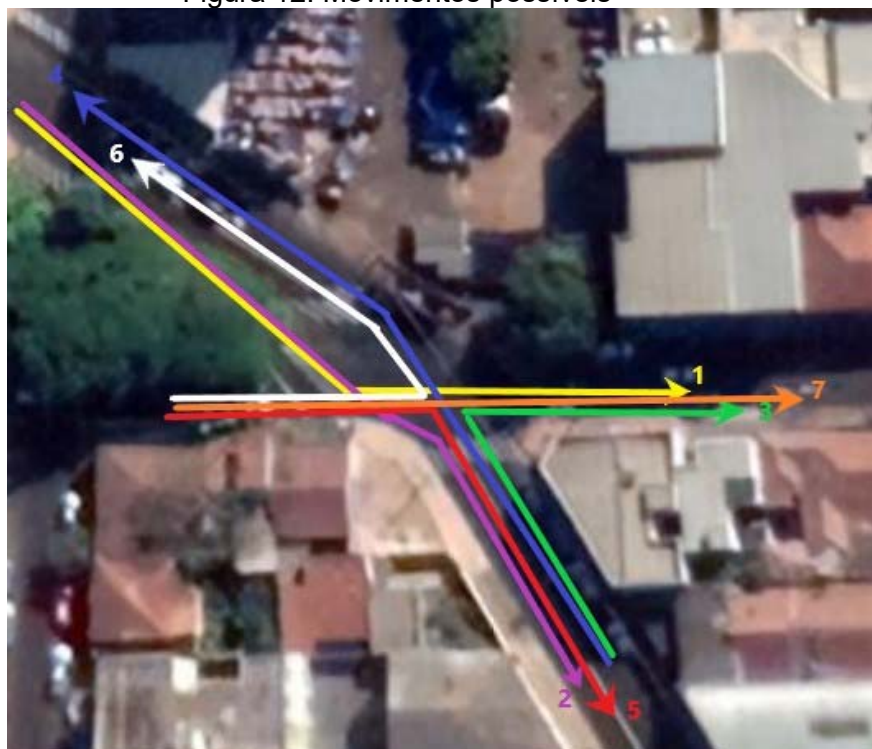
3.2.2 MOVIMENTOS POSSÍVEIS

A interseção objeto do estudo foi dividida em 7 possíveis movimentos de entrada e saída de veículos, que serão base para o levantamento quantitativo para o estudo de caso, assim como na determinação do nível de serviço. Estes, foram considerados da seguinte forma:

- Movimento 1: trecho da Avenida Comendador Alfredo Maffei, no sentido bairro-centro (sudeste), dobrando à esquerda na Rua 13 de maio;
- Movimento 2: trecho da Avenida Comendador Alfredo Maffei, no sentido bairro-centro (sudeste), seguindo reto na mesma via;
- Movimento 3: trecho da Avenida Comendador Alfredo Maffei, no sentido centro-bairro (noroeste), dobrando à direita na Rua 13 de maio;
- Movimento 4: trecho da Avenida Comendador Alfredo Maffei, no sentido centro-bairro (sudeste), seguindo reto na mesma via;
- Movimento 5: trecho da Rua 13 de maio, no sentido bairro-centro (leste), dobrando à direita na Avenida Comendador Alfredo Maffei;
- Movimento 6: trecho da Rua 13 de maio, no sentido centro-bairro (leste), dobrando à esquerda na Avenida Comendador Alfredo Maffei;

- Movimento 7: trecho da Rua 13 de maio, no sentido bairro-centro (leste), seguindo reto na mesma via;

Figura 12: Movimentos possíveis



Fonte: adaptado do Google Maps (2021)

3.2.3 FLUXO DE TRÂNSITO NA INTERSEÇÃO

A caracterização do tráfego atual de todas as rotas da interseção é fundamental para as análises de níveis de serviço e para a identificação da capacidade viária disponível na condição operacional atual.

Os dados a seguir foram obtidos no dia 20 de agosto de 2021 (sexta-feira) por meio da contagem de veículos que trafegavam pela via, considerando a origem e destino dos mesmos, durante o período das 17h30 às 18h30.

Informa-se que, no momento da coleta destes resultados, a cidade de São Carlos encontrava-se em período de isolamento social que fora implementado anteriormente como medida restritiva de circulação devido ao estado de calamidade pública decretado em virtude da pandemia instalada pelo Coronavírus (SARS-CoV-2),

e desta forma, frisa-se que o fluxo identificado poderá possuir variações, quando retornar às normalidades.

Tabela 2: Fluxo de trânsito na interseção das 17:30 às 18:30

Movimento	Carros de passeio	Motos	Caminhões / Ônibus
1	152	20	1
2	247	60	8
3	28	9	0
4	377	76	3
5	50	11	0
6	2	0	0
7	97	36	2
TOTAL	953	212	14

Fonte: Autor (2021)

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO DA INTERSEÇÃO

Para início dos cálculos da capacidade viária e avaliação do nível de serviço, foi providenciada uma Matriz Origem Destino, com base nos conceitos de conversão UCP (Unidades de Carros de Passeio) para converter veículos grandes (caminhões e ônibus) em carros de passeio, buscando sintetizar uma unidade padrão para a totalização dos fluxos de tráfego numa mesma unidade. Os fatores de equivalência utilizados, seguiram as diretrizes do DNIT (2005) e foram parametrizados da seguinte forma:

Tabela 3: Fatores de equivalência - UCP

UCP	Tipo de veículo
0,5	Motos
1,0	Veículos leves como carros de passeio, camionetes e vans
2,0	Veículos pesados como caminhões e ônibus

Fonte: Autor (2021)

Posteriormente a isso, os dados coletados anteriormente no item 3.2.3 foram recalculados com base nos fatores de equivalência da Tabela 3, detalhados na Tabela 4.

Tabela 4: Totalização de UCP dos movimentos da interseção

Movimento	Carros de passeio	Motos	Caminhões / Ônibus	Total UCP
1	152 x 1,0	20 x 0,5	1 x 2,0	164
2	247 x 1,0	60 x 0,5	8 x 2,0	293
3	28 x 1,0	9 x 0,5	0 x 2,0	33
4	377 x 1,0	76 x 0,5	3 x 2,0	421
5	50 x 1,0	11 x 0,5	0 x 2,0	56
6	2 x 1,0	0 x 0,5	0 x 2,0	2
7	97 x 1,0	36 x 0,5	2 x 2,0	119

Fonte: Autor (2021)

Com base nos resultados apresentados na Tabela 4, definem-se as vias principais e secundárias da interseção. Para isso, considera-se como principal a via com maior volume de veículos / hora em sua origem de movimento, e secundária a via com menor volume de veículos / hora em sua origem de movimento.

Foi considerada como via principal a Avenida Comendador Alfredo Maffei, visto que, o volume de veículos / hora da mesma, são notavelmente superiores em relação à via secundária, a Rua 13 de maio, conforme dados presentes na Tabela 4.

Desta forma, obtém-se o volume de origem da via principal na somatória dos veículos (em UCP) envolvidos nos movimentos 1, 2, 3 e 4, onde:

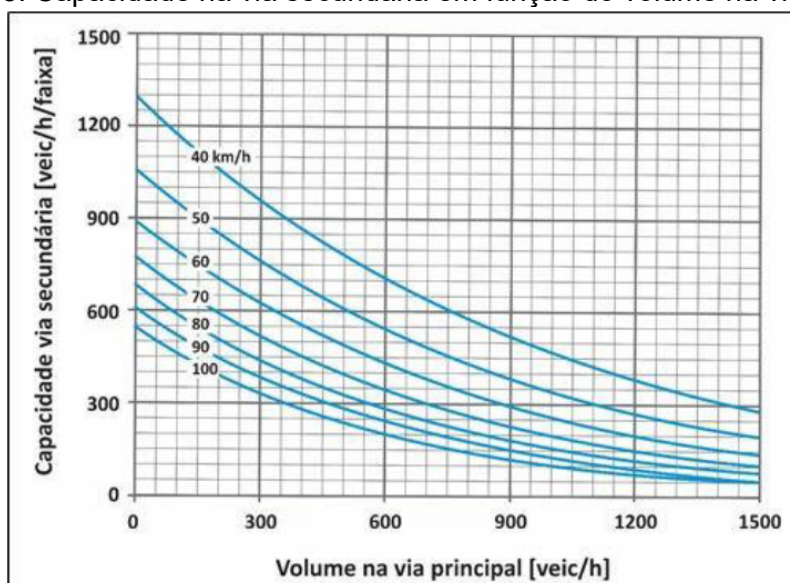
- Volume de origem da via principal: $164 + 293 + 33 + 421 = 911$ UCP/h

Na via secundária, considerada como a Rua 13 de maio, obtém-se o volume de origem na somatória dos veículos (em UCP) envolvidos nos movimentos 5, 6 e 7, onde:

- Volume de origem da via secundária: $56 + 2 + 119 = 177$ UCP/h

A partir desses resultados e da velocidade da via principal, que conforme dados da época era de 60km/h, determina-se a capacidade da via secundária utilizando o gráfico da Figura 13. Sabendo ambas as vias possuem uma faixa de tráfego apenas, obtém-se o resultado de 290 veículos / hora / faixa.

Figura 13: Capacidade na via secundária em função do volume na via principal



Fonte: DNIT (2005)

Após determinada a capacidade da via secundária, deve-se calcular a relação volume /capacidade da via secundária. Desta forma, o resultado será o quociente de $177 / 290 = 0,61$.

Na tabela 5, apresenta-se um resumo constando a avaliação da interseção em questão e os resultados obtidos. Verifica-se que, o nível de serviço que a via apresenta é D, classificado como ruim (Tabela 6), validando assim a ideia de transtornos, perigos e desconfortos para os veículos na via.

Tabela 5: Resumo da avaliação da interseção

Movimentos da via principal	1 + 2 + 3 + 4	4 movimentos
Movimentos da via secundária	5 + 6 + 7	3 movimentos
Volume da via principal	Av. Com. Alfredo Maffei	911 UCP / h
Volume da via secundária	R. 13 de maio	177 UCP / h
Velocidade na via principal	Av. Com. Alfredo Maffei	60 km / h
Capacidade da via secundária	Em função da via principal	290 veic / h / faixa
Relação Volume / Capacidade		0,61
Nível de serviço	D	

Fonte: Autor (2021)

Tabela 6: Níveis de serviço

Nível de Serviço	Relação Volume / Capacidade	Condição do fluxo
A	0,00 à 0,20	Ótima
B	0,21 à 0,40	Boa
C	0,41 à 0,60	Regular
D	0,61 à 0,80	Ruim
E	0,81 à 1,00	Péssima
F	Maior que 1,00	Inaceitável

Fonte: adaptado de DNIT (2005)

4.2 TAXA DE FLUXO

Segundo Ribeiro (2021), a Taxa de Fluxo (v) mede quantos veículos estão atravessando aquela seção da via em um determinado período (normalmente veículos / hora) e é calculada como quatro vezes o fluxo registrado no período de 15 minutos mais carregados, assim como dada pela fórmula $v = 4 \times V_{15\text{min}}$, onde:

- v = taxa de fluxo (veículos / hora)
- $V_{15\text{min}}$ = fluxo registrado em 15 minutos

Ainda, conforme o mesmo autor, trata-se de um conceito muito importante pois, à medida que a taxa de fluxo cresce e se aproxima da capacidade, os níveis de serviço tendem a cair e os congestionamentos tendem a se formar.

Para este estudo, a contagem de veículos realizada na interseção das vias Avenida Comendador Alfredo Maffei e Rua 13 de maio teve duração de 1 hora, que fora dividida em 4 períodos de 15 minutos, aos quais foram nomeados de V1, V2, V3 e V4 para este tópico de estudo. Com base nisso, os valores encontrados para os mesmos, foram:

- V1 = 250 UCP
- V2 = 294 UCP
- V3 = 271 UCP
- V4 = 273 UCP

Com isso, o fluxo registrado no período de 15 minutos mais carregado foi de 294 UCP, então: $v = 4 \times 294 = 1.176$ UCP.

4.3 FATOR HORÁRIO PICO

De acordo com Ribeiro (2021), o volume de veículos que passa por uma seção de uma via não é uniforme no tempo. A comparação de contagens de quatro períodos consecutivos de quinze minutos, mostra que são diferentes entre si e essa variação leva ao estabelecimento do Fator Horário de Pico - FHP, que mede justamente esta flutuação e mostra o grau de uniformidade do fluxo. O FHP varia, teoricamente, entre 0,25 (fluxo totalmente concentrado em um dos períodos de 15 minutos) e 1,00 (fluxo completamente uniforme e é dado pela fórmula $FHP = V_{60\text{min}} / v$, onde:

- FHP = Fator Horário de Pico
- V60 min= Fluxo registrado em 60 minutos (no horário de pico)

Com isso, o fluxo registrado no período de 60 minutos em horário de pico foi de 1.088 UCP, então: $FHP = 1.088 / 1.176 = 0,93$. Com esse resultado, entende-se que o fluxo registrado está distribuído ao longo da hora.

4.4 MELHORIAS PROPOSTAS

Com base nos valores obtidos na caracterização do nível de serviço da interseção, verificamos que são necessárias intervenções para melhoria desta. Assim, foram propostos estudos para tentativa de melhoria no nível de serviço.

4.4.1 RÓTULA MODERNA

Com base no nível de serviço calculado da interseção, foi proposto um estudo para inserção de rótula moderna como tentativa de melhoria no nível de serviço, diminuindo assim os possíveis congestionamentos, lentidões e desconforto aos usuários da via.

Para isto, o estudo utilizou como base o método proposto pelo DNIT no Manual de Projeto de Interseções onde, para cada um dos ramos, os principais dados a serem considerados são os volumes de tráfego em UCP que chegam e saem da rotatória, assim como o volume de tráfego em UCP antes de cada entrada.

4.4.1.1 VOLUMES DE TRÁFEGO

Os volumes de tráfego que chegam à rotatória foram representados pela letra “Z” juntamente com o número do ramo de origem, enquanto os volumes que saem da rotatória foram identificados pela letra “S”, juntamente com o ramo de destino. Os volumes de tráfego na rotatória antes de cada entrada foram representados pela letra “K” e o número do ramo em frente a esse volume, demonstrado assim na figura 14.

De acordo com Ribeiro (2021), o valor de “K” pode ser identificado de duas formas: a primeira baseia-se na contagem de origem / destino de acordo com a

quantidade de ramos, ou seja, soma-se todas os movimentos possíveis que passam pelo “K” daquele ramo; e a segunda é por meio da contagem direta no Ponto de Contagem que, à partir do fluxo obtido no “K” (UCP / h), determina-se a Capacidade Teórica (Gi) de cada entrada, ou seja qual a quantidade de fluxo máximo que aquela entrada suporta teoricamente. Para este estudo, foi escolhido o primeiro método.

Na figura 14, indicam-se os devidos ramos, volumes de entradas, de saídas e de antes de acessar a rotatória, assim como a indicação de uma desapropriação, visto que, não há no local, espaço suficiente para movimentação dos veículos que utilizam o local definido como K2.

Os volumes de tráfego na rotatória antes de cada entrada “K” são calculados pelas expressões abaixo identificadas, onde “O” significa origem e “D” destino de cada movimento, juntamente com o número de seu respectivo ramo, obtendo-se assim, os seguintes resultados:

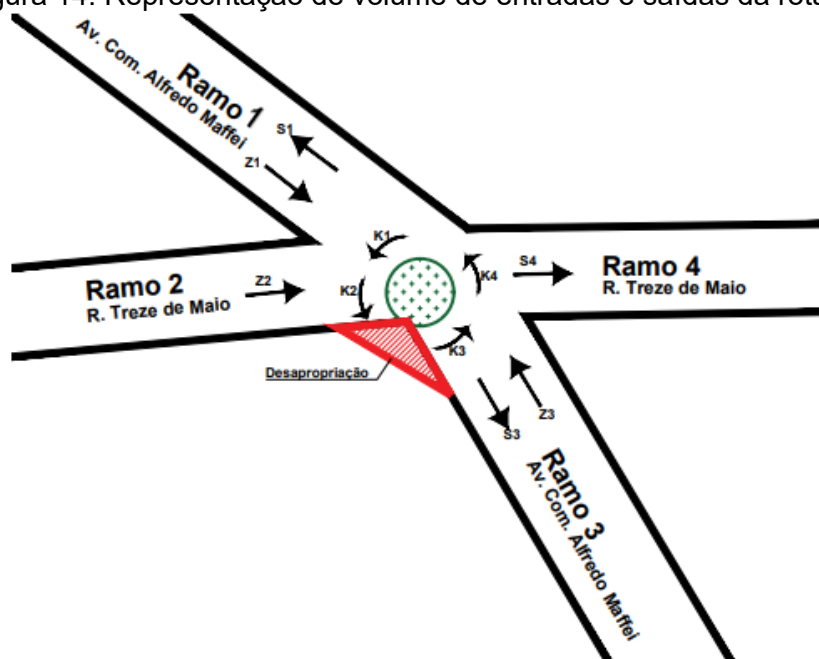
$$K1 = O3D3 = 0,0 \text{ UCP / h}$$

$$K2 = O3D3 + O1D1 + O1D3 + O1D4 = 0 + 0 + 293 + 164 = 457 \text{ UCP / h}$$

$$K3 = O1D1 + O1D4 + O2D1 + O2D4 = 0 + 164 + 2 + 119 = 285 \text{ UCP / h}$$

$$K4 = O1D1 + O2D1 + O3D1 + O3D3 = 0 + 2 + 421 + 0 = 423 \text{ UCP / h}$$

Figura 14: Representação de volume de entradas e saídas da rotatória



Fonte: Autor (2021)

4.4.1.2 CAPACIDADE TEÓRICA

A partir dos resultados obtidos, em “K”, determina-se a capacidade teórica (G_i) de cada entrada, cruzando seus dados com os da figura 15 e obtendo assim os resultados abaixo descritos. Para este cálculo, foi estipulado que a rotatória e os acessos devem possuir uma faixa de tráfego em seus ramos.

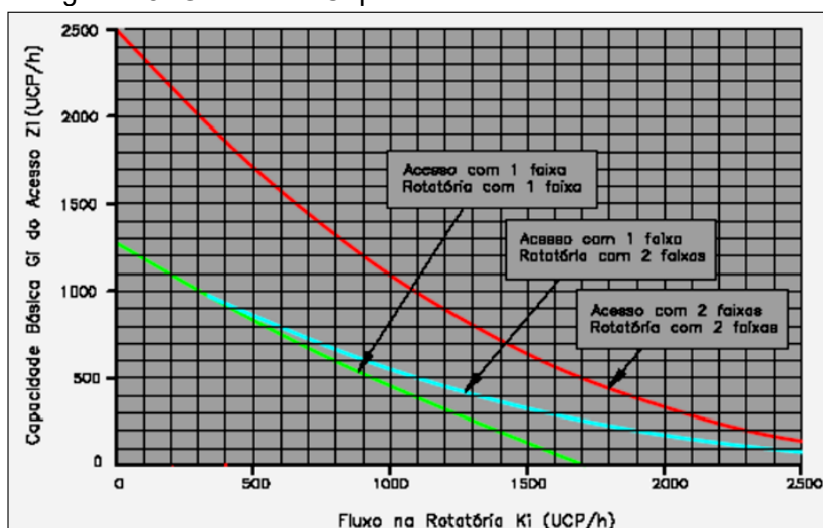
$$G_1 = 1280 \text{ UCP / h}$$

$$G_2 = 860 \text{ UCP / h}$$

$$G_3 = 1015 \text{ UCP / h}$$

$$G_4 = 895 \text{ UCP / h}$$

Figura 15: Gráfico da Capacidade das entradas na rotatória



Fonte: DNIT (2005)

4.4.1.3 CAPACIDADE REAL

Posteriormente aos resultados obtidos para a capacidade teórica, faz-se necessário o cálculo da capacidade real (C_i). Segundo Ribeiro (2021) para calcular a capacidade real, considera-se o fator de pedestre (f_i), que leva em conta a redução de capacidade causada pela interferência dos pedestres que atravessam as vias de acesso. Para cada entrada, determina-se o fator de pedestres em função do número de pedestres por hora (F_g / h). Esse fator de redução é determinado segundo o número de faixas de tráfego da pista da rotatória pelos gráficos da Figura 16, conforme demonstrado abaixo:

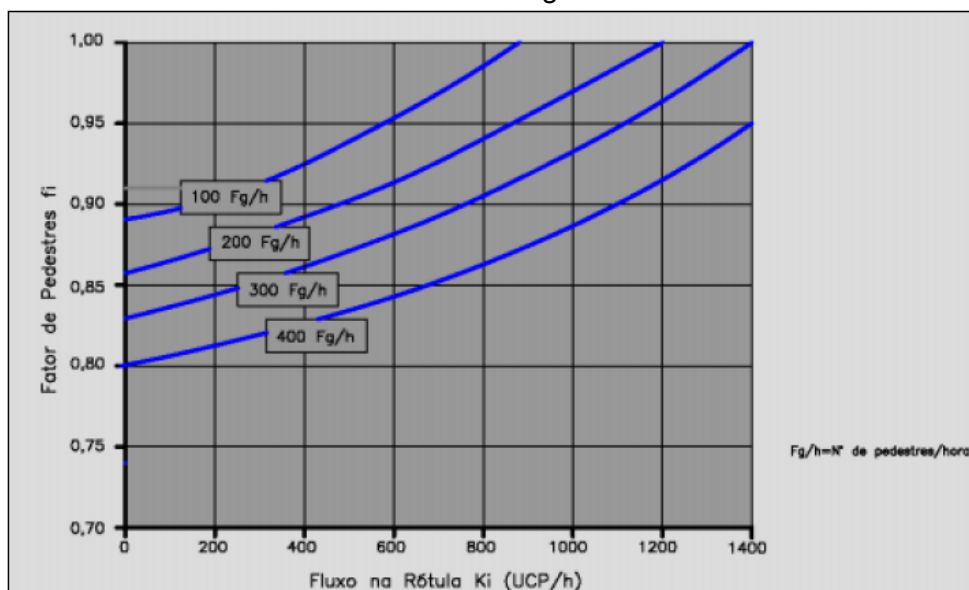
$$C1 = G1 \times f1 = 1280 \times 1 = 1280 \text{ UCP / h}$$

$$C2 = G2 \times f2 = 860 \times 1 = 860 \text{ UCP / h}$$

$$C3 = G3 \times f3 = 1015 \times 1 = 1015 \text{ UCP / h}$$

$$C4 = G4 \times f4 = 895 \times 1 = 895 \text{ UCP / h}$$

Figura 16: Fator de redução (fi) para considerar a influência da travessia de pedestres de uma entrada com uma faixa de tráfego a uma rótula com uma faixa de tráfego



Fonte: DNIT (2005)

4.4.1.4 CAPACIDADE RESIDUAL

Em seguida, faz-se necessário o cálculo da capacidade residual (R_i), que representa a quantidade de veículos que ainda poderão ser inseridos na faixa de aproximação daquele devido ramo até que chegue no limite da capacidade teórica (G_i), o qual é resultado da diferença entre a capacidade real (C_i) e o volume de tráfego da entrada (Z_i), indicado na tabela 7. Resultando assim:

$$R1 = C1 - Z1 = 1280 - 457 = 823 \text{ UCP / h}$$

$$R2 = C2 - Z2 = 860 - 177 = 683 \text{ UCP / h}$$

$$R3 = C3 - Z3 = 1015 - 454 = 561 \text{ UCP / h}$$

$$R4 = C4 - Z4 = 895 - 0 = 895 \text{ UCP / h}$$

Tabela 7: Volume de tráfego que chega à rotatória

Ramo	Movimentos	Carros de passeio	Motos	Caminhões / Ônibus	Total UCP (Zi)
1	1 + 2	399 x 1,0	80 x 0,5	9 x 2,0	457
2	6 + 7 + 5	149 x 1,0	47 x 0,5	2 x 2,0	177
3	3 + 4	405 x 1,0	85 x 0,5	3 x 2,0	454
4	-	0 x 1,0	0 x 0,5	0 x 2,0	0

Fonte: Autor (2021)

4.4.1.5 TEMPO MÉDIO DE ESPERA E NÍVEL DE SERVIÇO

Por fim, baseado nos valores demonstrados com relação à capacidade real e cruzados com o gráfico presente na figura 17, obter-se-á o tempo médio de espera (TME) que, posteriormente, se cruzado com o gráfico presente na tabela 8, indicará o nível de serviço, para cada entrada, conforme cálculos demonstrados abaixo:

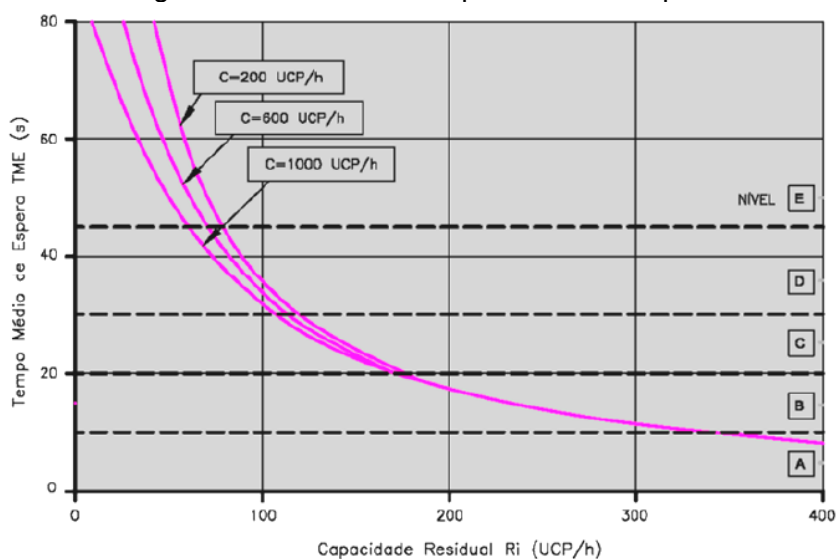
Ramo 1 = TME de 9 segundos = Nível de serviço A

Ramo 2 = TME de 9 segundos = Nível de serviço A

Ramo 3 = TME de 9 segundos = Nível de serviço A

Ramo 4 = TME de 9 segundos = Nível de serviço A

Figura 17: Gráfico do tempo médio de espera



Fonte: DNIT (2005)

Tabela 8: Níveis de serviço em função do tempo de espera

Nível de Serviço	TME (seg)	Condição do fluxo
A	≤ 10	Ótima
B	≤ 20	Boa
C	≤ 30	Regular
D	≤ 40	Ruim
E	> 45	Péssima
F	$R_i < 0$	Inaceitável

Fonte: DNIT (2005)

Na tabela 9, apresenta-se um resumo constando a avaliação da capacidade da rótula moderna na interseção em questão e os resultados obtidos. Verifica-se que, o nível de serviço que a todas apresentam é A classificado como ótimo (Tabela 8), apresentando uma melhoria em relação aos transtornos, perigos e desconfortos para os veículos na via, elevando o nível de serviço de D (ruim) para A (ótimo).

Tabela 9: Nível de serviço em função do tempo médio de espera

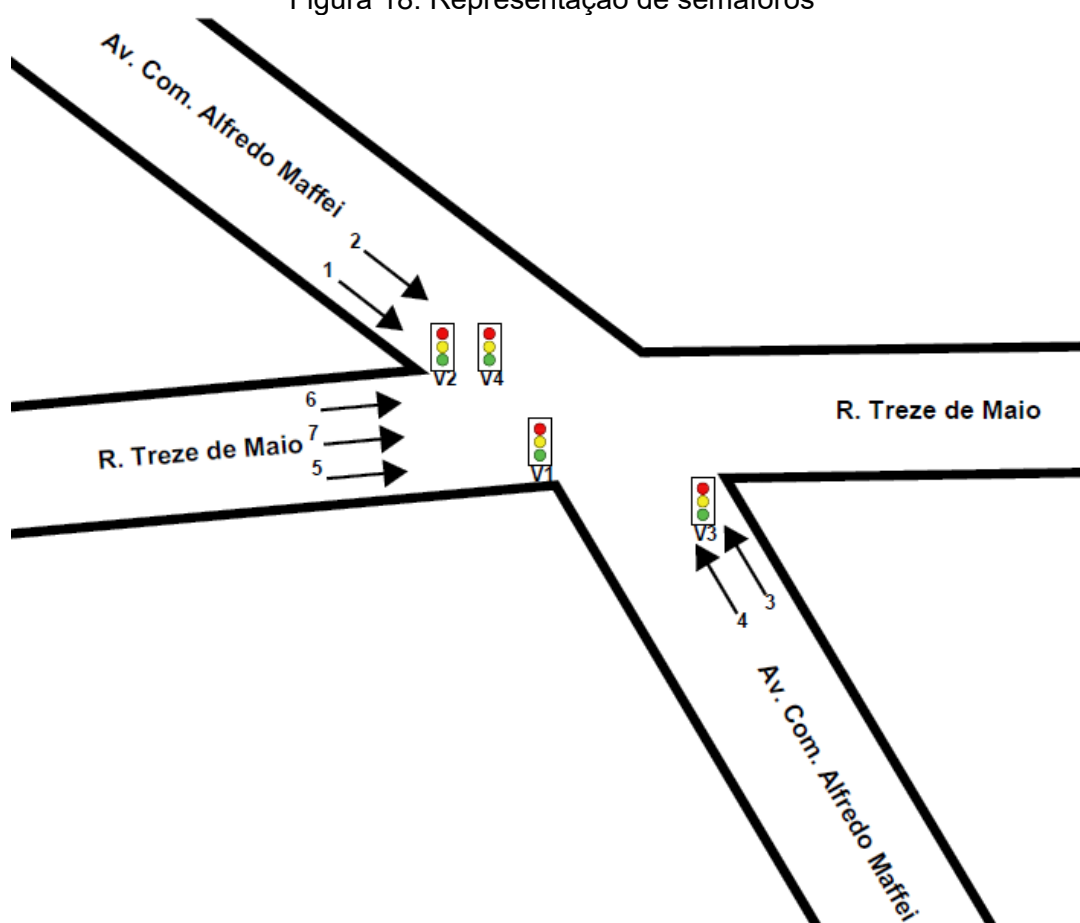
Ramo	1	2	3	4
Volume antes da entrada – K_i (UCP / h)	0	457	285	423
Capacidade teórica – G_i (UCP / h)	1280	860	1015	895
Capacidade real – C_i (UCP / h)	1280	860	1015	895
Volume na entrada – Z_i (UCP / h)	457	177	454	0
Capacidade residual – R_i (UCP / h)	823	683	561	895
Tempo médio de espera – TME (seg)	9			
Nível de serviço	A			

Fonte: Autor (2021)

4.4.2 SEMÁFOROS

Com base no nível de serviço da interseção, foi proposta outra alternativa, que consiste na inserção de semáforos como tentativa de melhoria no nível de serviço, diminuindo assim os possíveis congestionamentos, lentidões e desconforto aos usuários da via, conforme ilustrado na figura 18.

Figura 18: Representação de semáforos

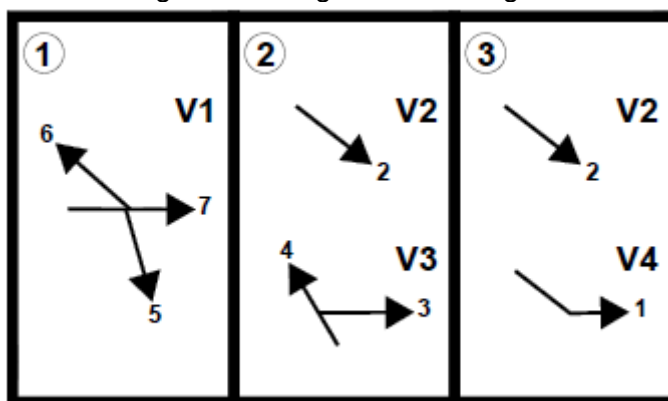


Fonte: Autor (2021)

4.4.2.1 ESTÁGIOS

Para isto, os movimentos foram organizados em estágios, que segundo Ribeiro (2021) são a denominação para designar cada uma das diferentes configurações de movimentos no cruzamento semaforizado. A representação do diagrama de estágios foi ilustrada na figura 19.

Figura 19: Diagrama de estágios

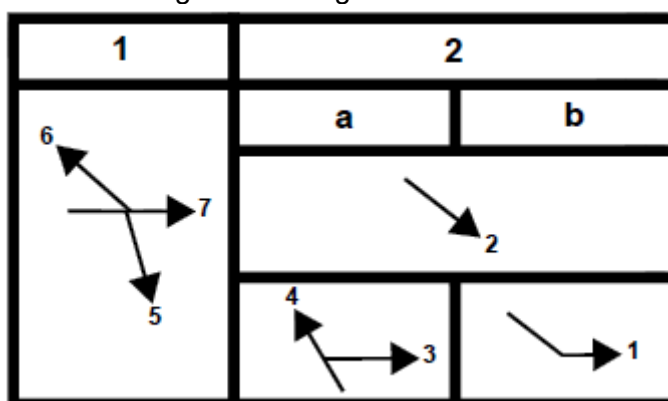


Fonte: Autor (2021)

4.4.2.2 FASES

Posteriormente, os movimentos foram organizados também em fases, que segundo Ribeiro (2021) são a denominação para designar cada uma das diferentes configurações de movimentos onde pelo menos um dos fluxos continua em movimento, ainda que um ou mais fluxos sejam interrompidos para permitir o movimento de outro ou outros fluxos que estavam interrompidos. A representação do diagrama de estágios foi ilustrada na figura 20.

Figura 20: Diagrama de fases



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 20, a circulação de pedestres não representa uma problemática, visto que o seu fluxo é considerado baixo, não sendo assim, necessário o emprego

de uma fase específica apenas para os pedestres. Entretanto, como as saídas do cruzamento não oferecem programação sem a passagem de veículos, a circulação de pedestres é autorizada, porém não protegida. Estes devem avaliar os períodos adequados entre a passagem constante de automóveis para atravessar as vias.

4.4.2.3 PERÍODO DE FASEAMENTO DOS SEMÁFOROS

Para que a sinalização semaforográfica do local seja conduzida à níveis aceitáveis de utilização, é necessário um estudo sobre o período dos faseamentos dos semáforos adotados como intervenção para melhoria na interseção em estudo.

4.4.2.4 TEMPO DE AMARELO

O tempo de amarelo (T_a) é o período que o semáforo se mantém na cor amarela. Seu valor é estipulado segundo as velocidades da via, uma vez que a mesma não possui a presença de rampa, como o caso do local em estudo.

Com base nos dados presentes na tabela 9, as vias em estudo possuem, na via principal a velocidade máxima de 60 km / h, e na via secundária a velocidade máxima de 40km / h, obtendo-se assim o resultado de que o tempo de amarelo à ser utilizado respectivamente, é de 4 e 3 segundos.

Tabela 10: Tempo de amarelo

Velocidade da via (km / h)	Tempo de amarelo arredondado
40	3
50	4
60	4
70	5
80	5

Fonte: adaptado de DNIT (2005)

4.4.2.5 TEMPO DE VERMELHO DE SEGURANÇA

O tempo de vermelho de segurança (T_{vs}) é o período necessário para que o veículo que cruzou a retenção, saia da zona de conflito, havendo iniciado a travessia do cruzamento no final do amarelo.

Seu cálculo é realizado com base na equação $T_{vs} = ((L + C) / V) - t_f$, onde:

- L = largura do cruzamento (m);
- C = comprimento do veículo (m);
- V = velocidade do veículo (m / s);
- t_f = tempo de partida do veículo (s)

Sendo assim, para as vias objeto deste estudo, considerando os modelos padrões, utilizaremos o valor de 6 m de comprimento para os veículos, tempo de partida de 1,2 segundos e as velocidades e larguras de acordo com cada via, resultando assim num cálculo que ficará da seguinte forma:

- Para a Av. Com. Alfredo Maffei: $T_{vs} = ((30 + 6) / 16,67) - 1,2 = 0,95 \rightarrow 1$ segundo
- Para a Rua 13 de Maio: $T_{vs} = ((20 + 6) / 11,11) - 1,2 = 1,14 \rightarrow 2$ segundos

4.4.2.6 TEMPO PERDIDO

O tempo perdido (T_p) é o período de tempo que ocorre durante os entreverdes, no qual os veículos não recebem o direito de passagem. Seu cálculo é realizado por meio da equação $T_p = T_a \times n^\circ \text{ de estágios} + TVS$.

Desta forma, o cálculo para a interseção em estudo fica da seguinte maneira:

- Para a Av. Com. Alfredo Maffei: $T_p = 4 \times 1 + 1 = 5$ segundos
- Para a Rua 13 de Maio: $T_p = 3 \times 1 + 2 = 5$ segundos

Como existem dois semáforos na Av. Com. Alfredo Maffei, o T_p da via é duplicado, indicando assim o valor de 10 segundos. Logo, o T_p geral da interseção é de 15 segundos.

4.4.2.7 FLUXO DE SATURAÇÃO

O fluxo de saturação (FS) é o máximo fluxo que um grupo semaforico pode apresentar e foram definidos conforme abaixo:

- FS da Av. Com. Alfredo Maffei sentido centro: 488 veículos x 2 faixas = 976 veículos
- FS da Av. Com. Alfredo Maffei sentido bairro: 493 veículos x 2 faixas = 986 veículos
- FS da Rua 13 de maio: 198 veículos x 2 faixas = 396 veículos

4.4.2.8 TAXA DE OCUPAÇÃO

A taxa de ocupação (Y), é a parcela do fluxo (indicado na tabela 2) que deseja passar pela via se comparado ao fluxo de saturação. Seu cálculo é realizado por meio da equação $Y = F / FS$.

Logo, o cálculo para a interseção em estudo fica da seguinte maneira:

$$Y1 = F1 / FS1 = 173 / 976 = 0,17$$

$$Y2 = F2 / FS2 = 315 / 976 = 0,33$$

$$Y3 = F3 / FS3 = 37 / 986 = 0,04$$

$$Y4 = F4 / FS4 = 456 / 986 = 0,46$$

$$Y5 = F5 / FS5 = 61 / 396 = 0,15$$

$$Y6 = F6 / FS6 = 2 / 396 = 0,01$$

$$Y7 = F7 / FS7 = 135 / 396 = 0,34$$

Para a taxa de ocupação foi avaliado o menor Y em cada estágio da programação. Assim $\Sigma Y = Y6 + Y3 + Y1 = 0,01 + 0,04 + 0,17 = 0,22$.

4.4.2.9 ENTREVERDES

Entreverde é o período entre o final do verde de um estágio e o início de verde do estágio posterior. Seu cálculo é realizado por meio da equação: $\text{Entreverde} = T_a + T_{vs}$. Logo, o cálculo para a interseção em estudo fica da seguinte maneira:

- Para a Av. Com. Alfredo Maffei: $\text{entreverde} = 4 + 1 = 5$ segundos

- Para a Rua 13 de Maio: $\text{entreverde} = 3 + 2 = 5$ segundos

4.4.2.10 TEMPO DE CICLO ÓTIMO

O tempo de ciclo ótimo (TC_{ótimo}) foi idealizado por meio do modelo de Webster que, por meio de pesquisa, verificou que as folgas quando incorporadas ao

modelo tornam a expressão da forma que segue, sendo aplicável na prática:

$$TC\acute{o}timo = ((1,5 \times T_p) + 5) / 1 - \Sigma Y_i$$

Logo, o cáculo para a interseção em estudo fica da seguinte maneira:

$$TC\acute{o}timo = ((1,5 \times 15) + 5) / 1 - 0,22 = 35,26 \text{ segundos}$$

4.4.2.11 TEMPO DE VERDE

O tempo de verde (T_{verde}), também foi idealizado por meio do modelo de Webster, este indica o tempo que o semáforo ficará verde para um grupo específico.

Seu cáculo é realizado por meio da equação: $T_{verde} = ((TC\acute{o}timo - T_p) \times Y_i) / \Sigma Y_i$.

Logo, o cáculo para a interseção em estudo fica da seguinte maneira:

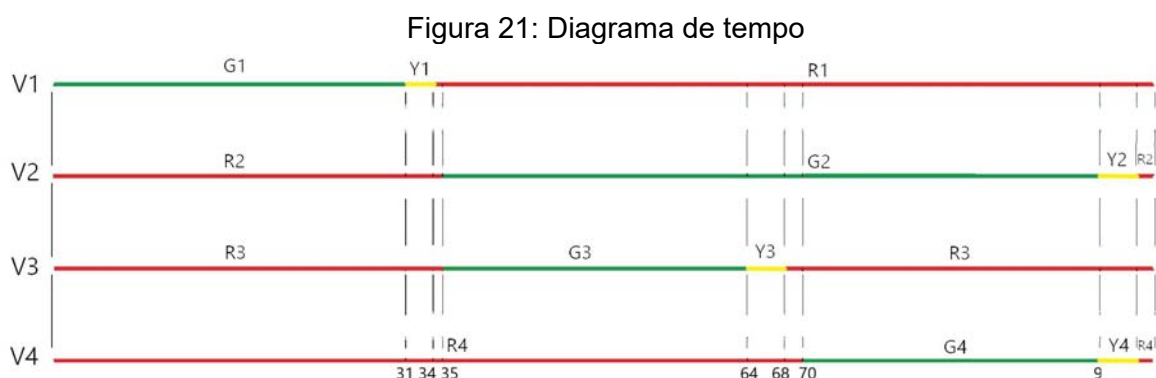
$$T_{verde1} = ((35,26 - 15) \times 0,34) / 0,22 = 31,32 \text{ segundos} \rightarrow 31 \text{ segundos}$$

$$T_{verde2} = ((35,26 - 15) \times 0,31) / 0,22 = 28,55 \text{ segundos} \rightarrow 29 \text{ segundos}$$

$$T_{verde3} = ((35,26 - 15) \times 0,22) / 0,22 = 20,26 \text{ segundos} \rightarrow 20 \text{ segundos}$$

Enfim, com base nos cculos acima evidenciados, a figura 21 ilustra o diagrama do tempo calculado, que demonstra quais e por quanto tempo ficarão acesas cada luz nos grupos focais, ou seja, nas diferentes fases do tempo.

Para melhor entendimento utilizaremos as letras G, R e Y, utilizadas para designar os períodos de verde, vermelho e amarelo respectivamente, que correspondem às letras iniciais das palavras em Inglês com o mesmo significado (*green, red e yellow*).



Fonte: Autor (2021)

4.4.2.12 CONDIÇÃO DE FLUXO

Para validação da proposta anteriormente especificada, utilizaremos a condição de fluxo por meio da capacidade semaforica. Para isso, utiliza-se a equação $C = C_i \times N \times F$, onde:

C= Capacidade total de passagem em veículos por hora;

C_i = Número máximo de veículos que podem passar por hora por faixa;

N= Número total de faixas da via analisada;

F= Fator verde efetivo.

Desta forma, o cálculo para a interseção em estudo fica da seguinte maneira:

$$C = 1700 \times 2 \times 0,90 = 3.060 \text{ veic / h}$$

Com base no resultado acima descrito, verifica-se a relação de volume / capacidade para validação da condição de fluxo, assim temos:

$$\text{Fase 1} = 198 / 3060 = 0,06$$

$$\text{Fase 2} = 981 / 3060 = 0,32$$

Por fim, cruzando os resultados da relação com as informações da tabela 11, e a avaliação da capacidade da via com relação aos semáforos na interseção em questão e os resultados obtidos, verifica-se que, o nível de serviço dos movimentos constantes na fase 1 apresentaram condição A (ótima) e as constantes na fase 2, apresentaram condição B (boa), apresentando assim uma proposta de melhoria com relação aos transtornos, perigos e desconfortos para os veículos na via.

Tabela 11: Condição do fluxo em função da capacidade semaforica

Nível de Serviço	TME (seg.)	Condição do fluxo
A	0,00 – 0,20	Ótima
B	0,20 – 0,40	Boa
C	0,40 – 0,60	Regular
D	0,60 – 0,80	Ruim
E	0,80 – 1,00	Péssima
F	Maior que 1,00	Inaceitável

Fonte: adaptado de DNIT (2005)

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O objetivo deste estudo foi avaliar o nível de serviço de interseção na cidade de São Carlos por meio do Manual de Projetos de Interseções do DNIT, e propor soluções para melhoria do nível de serviço do objeto de estudo.

Com base em todos os resultados demonstrados neste estudo e na análise da interseção das vias Avenida Comendador Alfredo Maffei e Rua 13 de maio por meio dos métodos propostos pelo Projeto de Interseções do DNIT, constata-se a necessidade de melhoria da atual configuração da mesma, visando a fluidez do tráfego e conseqüentemente a melhoria da qualidade de vida e segurança dos usuários.

Demonstra-se também, que a utilização de profissionais capacitados atuando nas áreas de planejamento urbano são de extrema importância, visto que resultam em melhoria para os usuários e população.

Foi possível notar por meio da coleta de dados do estudo de caso, que o fluxo de veículos durante o final do expediente comercial é extremamente denso, resultando assim na elevação dos congestionamentos, aumento nos tempos de viagem, crescimento nos índices de acidentes de trânsito, assim como outros impactos que acabam por comprometer a qualidade de vida e segurança da população.

Aproveito ainda para informar que, no momento da coleta destes resultados, a cidade de São Carlos encontrava-se em período de isolamento social que fora implementado como medida restritiva de circulação devido ao estado de calamidade pública decretado em virtude da pandemia instalada pelo Coronavírus (SARS-CoV-2), e desta forma, frisa-se que o fluxo identificado poderá possuir variações, quando retornar às normalidades.

Assim como citado anteriormente, os resultados e análises demonstrados constataam que há a necessidade de melhoria da atual configuração da interseção, uma vez que o nível de serviço identificado foi tipo “D”, ou seja, de condição ruim.

Para isso, foi realizado um estudo acerca da proposta de melhoria para a implantação de uma rótula moderna no local objeto da análise (conforme resultados apresentados no item 4.4.1 deste estudo), onde foi possível verificar a melhoria no nível de serviço para o nível de excelência “A” em ambas as vias.

No entanto, nesta proposta faz-se necessário uma análise mais aprofundada do espaço geométrico para a implantação desta, visto que na interseção há a necessidade de maior demanda de espaço para a execução de curvas, e por consequência, uma possível necessidade de desapropriação em um dos trechos do local. Importante frisar que quando há a necessidade de desapropriação de um local, existem também situações de caráter político por traz voltados à alçadas e determinações para aprovação das devidas implementações, burocratizando assim, os resultados obtidos em estudos técnicos de forma que estes possam sequer serem aplicados sem as devidas.

Outra proposta apresentada para melhorias da atual configuração da interseção, foi a implantação de semáforos no local (conforme resultados apresentados no item 4.4.2 deste estudo), onde foi possível identificar a melhoria do nível de serviços, entretanto em uma das vias para o nível de excelência “A” e em outra, “B”.

Verifica-se que ambas medidas de melhoria são claramente propostas interessantes para a solução do objetivo proposto por este estudo, entretanto em uma delas possuímos nível de excelência em ambas as vias, demonstrando assim uma total segurança e qualidade de vida, mas também, há a necessidade de desapropriação de um trecho no local, que demanda custos maiores e exigibilidade de trabalhos mais complexos. Na segunda proposta, os níveis de serviço também têm uma extrema melhoria, mas não aos mesmos níveis de excelência em todas as vias conforme a primeira, porém com um menor custo envolvido, assim como necessidades mais simples de execução.

Diante do exposto, entende-se assim que o objetivo deste, foi atingido. Foram explanadas possíveis soluções para o caso, mas esse assunto deve ser explorado em estudos futuros, que demonstre, mais aprofundado na decisão de qual a melhor solução para elevar a capacidade e nível de serviços, considerando o custo e a qualidade da operação

Sabe-se que a quantidade de veículos tende a continuar aumentando no decorrer dos anos, e partindo dessa premissa e também dos resultados alcançados com este estudo, recomenda-se a realização de outros estudos e soluções para este tipo de abordagem, a fim de melhorar o trânsito na região de estudo.

Recomenda-se ainda, a expansão do estudo para demais cruzamentos da cidade, especificamente na interseção entre as vias Av. Dr. Tancredo de Almeida Neves e Av. José Pereira Lopes, e na ala de acesso de junção da via Av. Francisco Pereira Lopes à via Av. Comendador Alfredo Maffei, proporcionando uma melhoria do tráfego através de readequações da sinalização, o que contribuiria para um aperfeiçoamento da mobilidade urbana na cidade de São Carlos / SP.

REFERÊNCIAS

ALBANO, J. F. **Noções sobre Interseções**. Disponível em: < http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/420_14-intersecoes_apresentacao.pdf >. Acesso em: mai. 2021.

ANDRADE, G. R. **Capacidade e Relação Fluxo-Velocidade em Autoestradas e Rodovias de Pista Dupla Paulistas**. 2012. 154 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos – 2012.

AKISHINO, P. **Estudos de Tráfego**. Paraná: UFPR, [S.D.]. 102 p. Apostila.

AKISHINO, P. **Introdução à Engenharia de Tráfego**. Paraná: UFPR, 2018. 9 p. Apostila.

BRASIL, Código de Trânsito Brasileiro. **Lei n. 9.503**, de 23 de setembro de 1997. Disponível em: < <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1997/lei-9503-23-setembro-1997-372348-publicacaooriginal-1-pl.html> >. Acesso em: 30 mar. 2021.

BRASIL. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Secretaria de Logísticas e Transportes. **Normas para projeto de interseções**. 2.ed - Porto Alegre, 1991. 170p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de projeto de interseções**. 2.ed. - Rio de Janeiro, 2005. 528 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de estudos de tráfego**. 1.ed. - Rio de Janeiro, 2006. 384 p.

CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM. Prefeitura de Cachoeiro de Itapemirim. **EIV – Estudo de Impacto de Vizinhança: Condomínio Manhattan Residence – Anexo II**. 1.ed – Cachoeira de Itapemirim, [S.D.]. 5 p.

CONFEA, **Resolução n. 218**, de 29 de junho de 1973. Discrimina atividades das diferentes modalidades profissionais da Engenharia, Arquitetura e Agronomia. Disponível em: < https://normativos.confea.org.br/ementas/visualiza.asp?idEmenta=266&idTiposEmentas=5&Numero=218&AnoIni=1933&AnoFim=2021&PalavraChave=&buscarem=cont_eudo&vigente=> >. Acesso em: 16 mai. 2021.

COSTA, J. P. B. **Mini-Rotatórias**: Contribuição na redução de conflitos em interseções urbanas. 2010. 158 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –

Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco – 2010.

DEMARCHI, S. H.; SETTI, J. R. A. **Análise de Capacidade e Nível de Serviço de Segmentos Básicos de Rodovias utilizando o HCM 2000**. Disponível em: < http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/412_aula_3_-_introd_operacao_rodoviaria.pdf >. Acesso em: mai. 2021.

FHWA, **Roundabout's: An Informational Guide**. 1. ed. Virginia: Kansas Department of Transportation, 2000. 284 p.

ITE - **Institute of Transportation Engineers**. Disponível em: < <https://www.ite.org/> >. Acesso em: mai. 2021.

Institute of Transportation Engineers Staff. **Traffic Safety Toolbox: A Primer on Traffic Safety**, 1. Ed. Washington: ITE – Institute of Transportation Engineers, 1999. 317 p.

KANSAS Department of Transportation, **Kansas roundabout guide: a supplement to FHWA's roundabouts**. 1. ed. Kansas: Kansas Department of Transportation, 2003. 239 p.

MOREIRA, M. E. P.; NETO, W. A. P. Proposição de um método de levantamento e análise de dados para um diagnóstico de um corredor viário urbano. In: Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano Regional, Integrado e Sustentável (PLURIS), 2., 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. p. 1-12. Disponível em: < <http://redpgv.coppe.ufrj.br/index.php/es/produccion/articulos-cientificos/2006-1/263-moreira-neto-pluris2006/file> >. Acesso em: 30 mar. 2021.

OGDEN, K. W. **Safer Roads – A Guide to Road Safety Engineering**. 1. ed. Aldershot: Ashgate Publishing Company, 2002. 536 p.

PADILLO, A. R.; SILVEIRA, C. A.; TORRES, T. B. **Sistemas de Transporte**. 1. ed. Cachoeira do Sul: UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, 2020. 160 p.

PEREIRA, D. M. et al. **Sistema de transportes: TT 056 – Sistemas de transportes**. Paraná: UFPR / Departamento de transportes, 2013. 194 p. Apostila.

RECH, D.; ALBANO, J. F. Divulgação da importância do transporte para o ensino fundamental. In: Semana de Engenharia de Produção e Transportes, 3., 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. Disponível em: < http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/44_Divulgacao%20da%20importancia%20do%20transp%20para%20o%20ensino%20fundamental.pdf >. Acesso em: 30 mar. 2021.

RIBEIRO, E. **Engenharia de tráfego**: Capacidade em interseções com sinalização de Prioridade - PARE, 2021. 27 f. Notas de Aula. Arquivo digital.

RIBEIRO, E. **Engenharia de tráfego**: Capacidade em Rótulas Modernas, 2021. 24 f. Notas de Aula. Arquivo digital.

RIBEIRO, E. **Engenharia de tráfego**: Capacidade Viária, 2021. 20 f. Notas de Aula. Arquivo digital.

RIBEIRO, E. **Engenharia de tráfego**: Semáforos, 2021. 20 f. Notas de Aula. Arquivo digital.

RIO DE JANEIRO. Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro. Rede Ambiente Participativo. **EIV – Estudo de Impacto de Vizinhança: Operação urbana consorciada da região do porto do Rio**. 1.ed – Rio de Janeiro, [S.D.]. 459 p.

SANCHES, B. F. A. **Análise do nível de serviço de uma interseção de risco na cidade de Birigui**. 2018. 76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Centro Universitário Central Paulista, São Carlos, 2018.

SONCIN, V. **Avaliação de interseção de risco na área urbana de São Carlos**. 2020. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Universitário Central Paulista, São Carlos, 2020.

TRANSPORTATION Research Board. **Highway Capacity Manual**. 5. ed. Washington: Transportation Research Board, 2010. 1650 p.

VASCONCELLOS, E. A. **Transporte e meio ambiente: conceitos e informações para análise de impactos**. 1. ed. São Paulo: Annablume Editora, 2006. 199 p.

VIEIRA, H. **Engenharia de Tráfego**. Disponível em: <
[http://www.repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/9374/Engenharia de Trafego1.pdf?sequence=1](http://www.repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/9374/Engenharia_de_Trafego1.pdf?sequence=1)>. Acesso em: mai. 2021.

WADDEL, K. **Evolution of Roundabout Technology: A History – Based Literature Review**. 1. ed. [S.l.: s.n.], 2000.