



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**Estudo de viabilidade de implantação de travessia de pedestres em diagonal.**

**Estudo de caso: cruzamento da Av. Presidente Vargas com a Rua Carlos**

**Gomes em Belém-PA**

**Marivana Figueredo de Almeida**

**BELÉM –PA**

**JUNHO/2021**

**MARIVANA FIGUEREDO DE ALMEIDA**

**Estudo de viabilidade de implantação de travessia de pedestres em diagonal.  
Estudo de caso: cruzamento da Av. Presidente Vargas com a Rua Carlos  
Gomes em Belém-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar.**

**BELÉM –PA  
JUNHO/2021**

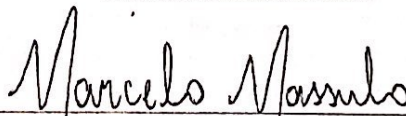
MARIVANA FIGUEREDO DE ALMEIDA

**Estudo de viabilidade de implantação de travessia de pedestres em diagonal. Estudo de caso: cruzamento da Av. Presidente Vargas com a Rua Carlos Gomes em Belém-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Belém, 16 de junho de 2021

BANCA EXAMINADORA

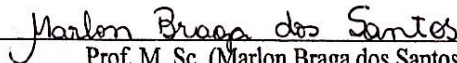


Prof. Dr. (Marcelo Figueredo Massulo Aguiar)  
Orientador

MAISA SALES GAMA  
TOBIAS:16754034220

Assinado de forma digital por  
MAISA SALES GAMA  
TOBIAS:16754034220  
Dados: 2021.06.23 16:53:22 +01'00'

Prof.ª Dr.ª. (Maísa Sales Gama Tobias)  
Examinador



Prof. M. Sc. (Marlon Braga dos Santos)  
Examinador

Aprovado, com conceito EXC, em  
16 de junho de 2021

Dedico este trabalho a Deus e aos meus pais,  
que nunca deixaram de acreditar em mim.  
Gratidão.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me guiado e me protegido durante toda minha trajetória, por ter me concedido força e saúde para alcançar meus objetivos, pela benção de pais incríveis e por me oportunizar cursar uma Universidade Federal.

Ao meu querido e amável pai, Mário, que está mais próximo de Deus agora, e que durante todos os anos da minha graduação foi um fiel companheiro e mesmo sem muitos recursos, me deu tudo que podia e tudo que eu precisava pra ser quem sou. Obrigada por ter sido e ser meu anjo da guarda.

À minha mãe, Valdirene, que tanto amo, por me apoiar em todas as minhas decisões, por sempre me incentivar a estudar e alcançar voos maiores. Obrigada por cuidar de mim e por ter me tornado uma mulher forte e sonhadora.

Às minhas tias, aos meus avós e ao meu irmão, Eliel, por acreditarem em mim e terem me dado forças sempre que precisei.

Ao Arthur Miranda e a sua mãe, Marialda, verdadeiros presentes de Deus que ganhei durante a graduação, que torcem e me apoiam incansavelmente.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Figueiredo Massulo, por aceitar me orientar, pela grande atenção dedicada, que se tornou essencial para a conclusão deste trabalho, por entender minhas limitações e por ter me inspirado sempre que necessário. Obrigada por todos os ensinamentos que contribuíram muito para minha formação acadêmica e profissional.

À inúmeras pessoas da faculdade, aos meus professores, aos PET de Engenharia Civil, aos meus colegas e líderes de estágios, a Enactus UFPA, às minhas sócias do EAA.COM, a todos que contribuíram e contribuem para minha formação profissional. À essas pessoas, dedico meus sinceros agradecimentos.

Marivana Almeida

## **Estudo de viabilidade de implantação de travessia de pedestres em diagonal. Estudo de caso: cruzamento da Av. Presidente Vargas com a Rua Carlos Gomes em Belém-PA**

Marivana Figueredo de Almeida

### **RESUMO**

A Política Nacional de Mobilidade Urbana, Lei Federal 12.587/2012, estabelece como uma de suas diretrizes a prioridade do transporte não motorizado sobre o transporte motorizado. Acontece que essa prioridade nem sempre é observada no dia-a-dia das cidades brasileiras. Sendo assim, o objetivo desse trabalho é investigar a viabilidade da implantação de uma travessia de pedestres em X no cruzamento da Av. Presidente Vargas com a Rua Carlos Gomes, no centro de Belém, medida que favoreceria a segurança e fluidez do tráfego de transeuntes no local. Para tanto, foram realizadas contagens dos fluxos de pedestres e de veículos no cruzamento, além da medição das dimensões das vias. O dimensionamento da programação semafórica foi feito segundo as recomendações do Manual do DENATRAN e a sinalização da travessia em X norteou-se nas preconizações da CET-SP. Os principais resultados foram: Constatação de que o semáforo atual não foi dimensionado segundo o Manual do DENATRAN, pois não apresenta o vermelho geral. Fluxo elevado de pessoas, da ordem de cerca de 800 pedestre/hora em uma travessia, que justifica implantação de semáforo de pedestres. Aumento no tempo de ciclo, passando de 105 s para 116 s, aumento de 7% no tempo permitido aos pedestres, redução de 20,35% nos tempos de verde da P. Vargas e de 3% para a C. Gomes. Para o cenário 1 analisado, verificou-se que a redução das faixas de travessia tem um impacto pequeno no tempo perdido para travessia de pedestre e para o cenário 2, foi feita uma programação que prioriza a o pedestre e que é realizável, com 21,9% de redução no tempo de verde para a Presidente Vargas e 4,8% de redução no tempo de verde para a Carlos Gomes. Por fim, recomenda-se a implantação da travessia em X na confluência da Presidente Vargas x Carlos Gomes, devidamente amparada em ações de educação para o trânsito.

**Palavras-chave:** Travessia em X; Transporte a pé; Política Nacional de Mobilidade Urbana; Programação semafórica.

**Feasibility study for the implementation of diagonal pedestrian crossing. Case study:  
intersection of Avenida Presidente Vargas with Rua Carlos Gomes in Belém-PA**

Marivana Figueredo de Almeida

**ABSTRACT**

The National Urban Mobility Policy, Federal Law 12587/2012, establishes as one of its guidelines the priority of non-motorized transport over motorized transport. It turns out that this priority is not always observed in the daily life of Brazilian cities. Therefore, the objective of this work is to investigate the feasibility of implementing an X-shaped pedestrian crossing at the intersection of Avenida Presidente Vargas and Rua Carlos Gomes, in the center of Belém, a measure that would favor the safety and fluidity of the traffic of pedestrians in the city. local. To this end, counts of pedestrian and vehicle flows at the intersection were carried out, in addition to measuring the dimensions of the roads. The dimensioning of the traffic light programming was done according to the recommendations of the DENATRAN Manual and the crossing signaling in X was guided by the recommendations of CET-SP. The main results were: Verification that the current traffic light was not dimensioned according to the DENATRAN Manual, as it does not have the general red. High flow of people, on the order of around 800 pedestrians/hour in a crossing, which justifies the implementation of pedestrian traffic lights. Increased cycle time, from 105 s to 116 s, 7% increase in time allowed for pedestrians, 20.35% reduction in P. Vargas' green time and 3% for C. Gomes. For scenario 1 analyzed, it was found that the reduction of crossing lanes has a small impact on the time lost for pedestrian crossing and for scenario 2, a schedule was made that prioritizes the pedestrian and is achievable, with 21.9 % reduction in time to green for Presidente Vargas and 4.8% reduction in time to green for Carlos Gomes. Finally, it is recommended to implement the crossing in X at the confluence of Presidente Vargas x Carlos Gomes, duly supported by traffic education actions.

**Keywords:** Crossing in X; Transport on foot; National Urban Mobility Policy; Semaphore programming.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Exemplo de botoeira e de sinalização educativa para uso da botoeira.....                                     | 20 |
| Figura 2 – Tipos de semáforos.....  | 21 |
| Figura 3 – Movimentos convergentes.....   | 21 |
| Figura 4 – Movimentos divergentes.....  | 22 |
| Figura 5 – Movimentos interceptantes.....   | 22 |
| Figura 6 – Movimentos não-interceptantes.....   | 22 |
| Figura 7 – Distâncias percorridas pelo veículo junto à aproximação.....   | 26 |
| Figura 8 – Sinalização em X foi instalada na esquina mais famosa da cidade: Ipiranga com a São João.....                | 30 |
| Figura 9 – Sinalização educativa de código ED-77.....   | 31 |
| Figura 10 – Fotos do Cruzamento da Av. Presidente Vargas com a Rua Carlos Gomes.....                                    | 32 |
| Figura 11 – Vista superior do cruzamento Av. Presidente Vargas x Rua Carlos Gomes.....                                  | 33 |
| Figura 12 – Aproximações presentes na interseção.....   | 34 |
| Figura 13 – Fluxograma das etapas do trabalho.....  | 34 |
| Figura 14 – Interface do aplicativo CONTRÁFEGO.....   | 35 |
| Figura 15 – Movimentos de veículos permitidos no cruzamento.....  | 37 |
| Figura 16 – Etapas do dimensionamento.....  | 39 |
| Figura 17 – Desenho com medidas físicas do cruzamento.....  | 42 |
| Figura 18 – Diagrama de estágios do cruzamento.....   | 42 |
| Figura 19 – Diagrama de intervalos luminosos do cruzamento.....   | 43 |
| Figura 20 – Programação semafórica para inclusão da travessia em diagonal.....  | 50 |
| Figura 21 – Planta Baixa do Projeto tipo de sinalização do cruzamento Av. Presidente Vargas com a Rua Carlos Gomes..... | 53 |
| Figura 22 – Projeto tipo ampliado somente na área de desenho.....   | 54 |
| Figura 23 – Cenário com o aumento das calçadas nas esquinas da interseção.....  | 57 |
| Figura 24 – Diagrama de intervalos luminosos do Cenário 1.....  | 58 |
| Figura 25 – Diagrama de intervalos luminosos Cenário 2.....   | 59 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Gráfico 1 – Histograma de fluxo..... | 45 |
|--------------------------------------|----|

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Critérios para a análise de implantação semafórica destinadas às travessias exclusivas de pedestres ..... | 19 |
| Tabela 2 – Fator de equivalência para diferentes tipos de veículos .....   | 24 |
| Tabela 3 – Valores de Fluxo de Saturação para Larguras de Vias Inferiores a 5,5 m .....                              | 24 |
| Tabela 4 – Data e horários das contagens.....  | 36 |
| Tabela 5 – Planilha de contagem direcional e classificatória de veículos, movimento (1) .....                        | 38 |
| Tabela 6 – Determinação do volume da hora pico.....  | 45 |
| Tabela 7 – Fluxo de Veículos da Av. Presidente Vargas e da Rua Carlos Gomes.....                                     | 46 |
| Tabela 8 – Fluxo de Saturação dos movimentos.....  | 46 |
| Tabela 9 –Taxa de ocupação de cada aproximação.....  | 46 |
| Tabela 10 – Possibilidades de travessias atuais x possibilidades de travessias da proposta do trabalho.....          | 52 |
| Tabela 11 – Resumo de quantitativos de projeto.....  | 53 |
| Tabela 12 – Volume de pedestre no cruzamento da Presidente Vargas com a Carlos Gomes.....                            | 56 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO - *American Association Standard Highway and Transportation Officials*

ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos

CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito

CTB - Código de Trânsito Brasileiro

DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito

FHWA - *Federal Highway Administration*

HCM - *Highway Capacity Manual*

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PA – Pará

PNMU – Política Nacional de Mobilidade Urbana

UCP - Unidade de Carros de Passeio

S - Segundos

TRB - *Transportation Research Board*

WRI - *World Resources Institute*

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....   | 13 |
| 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....  | 13 |
| 1.2. OBJETIVOS .....   | 14 |
| 1.2.1. Objetivo geral .....  | 14 |
| 1.2.2. Objetivos específicos .....   | 14 |
| 1.3. JUSTIFICATIVA .....   | 14 |
| 1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO .....   | 15 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....   | 16 |
| 2.1. MODO DE TRANSPORTE A PÉ .....   | 16 |
| 2.1.1. A Lei da Política de Mobilidade Urbana – PNMU e transporte a pé .....                 | 17 |
| 2.2. SEMÁFORO PARA PEDESTRES .....   | 18 |
| 2.2.1. Critérios para implantação do Semáforo para Pedestres .....                           | 18 |
| 2.2.2. Acionamento do semáforo de pedestres por Botoeira .....                               | 19 |
| 2.2.3. Interface dos tempos semaforicos de pedestre x tempos semaforicos veiculares .....    | 20 |
| 2.3. INTERSEÇÕES.....  | 21 |
| 2.4. ELEMENTOS DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA.....  | 23 |
| 2.4.1. Volume de Tráfego veicular e Volume de tráfego veicular equivalente .....             | 23 |
| 2.4.2. Fluxo de Saturação (FS) .....   | 24 |
| 2.4.2.1. Método para estimativa do Fluxo de Saturação de Webster .....                       | 24 |
| 2.4.3. Taxa de ocupação .....  | 25 |
| 2.4.4. Estágio .....   | 25 |
| 2.4.5. Tempo perdido.....  | 25 |
| 2.4.6. Entreverdes .....   | 26 |
| 2.4.6.1. Entreverdes para pedestres .....  | 26 |
| 2.4.7. Tempo de ciclo ótimo de Webster .....   | 27 |
| 2.4.8. Tempo de verde efetivo e tempo de verde real.....                                     | 28 |
| 2.5. TRAVESSIA EM DIAGONAL .....   | 29 |
| 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E MÉTODO .....  | 32 |
| 3.1. ESTUDO DE CASO: INTERSEÇÃO DA AVENIDA PRESIDENTE VARGAS COM<br>A RUA CARLOS GOMES ..... | 32 |
| 3.2. MÉTODO .....  | 34 |
| 3.2.1. COLETA DE DADOS .....   | 35 |
| 3.2.1.1. Aplicativo de contagem de tráfego- CONTRÁFEGO .....                                 | 35 |
| 3.2.1.2. Medição das larguras e declividades longitudinais das vias e calçadas.....          | 36 |

|   |    |
|---|----|
| 3.2.1.3. Medição dos tempos semafóricos vigentes.....                               | 36 |
| 3.2.1.4. Contagem do fluxo veicular.....  | 36 |
| 3.2.2. Dimensionamento Semafórico.....  | 38 |
| 3.2.3. Análise Dos Cenários Alternativos.....                                       | 41 |
| 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....  | 42 |
| 4.1. DADOS COLETADO <i>IN LOCO</i> .....  | 42 |
| 4.1.1. Larguras e declividades longitudinais das vias e calçadas.....               | 42 |
| 4.1.2. Tempos semafóricos e funcionamento atual dos semáforos vigentes.....         | 42 |
| 4.1.3. Contagem do fluxo veicular direcional e classificatória.....                 | 44 |
| 4.2. DIMENSIONAMENTO SEMAFÓRICO.....  | 46 |
| 4.2.1. Determinação do fluxo de saturação pelo método da estimativa de Webster..... | 46 |
| 4.2.2. Cálculo da taxa de ocupação.....   | 46 |
| 4.2.3. Cálculo do tempo perdido total.....  | 47 |
| 4.2.4. Cálculo do tempo de ciclo ótimo.....   | 49 |
| 4.2.5. Cálculo do tempo de verde efetivo e tempo de verde real.....                 | 49 |
| 4.2.6. Programação semafórica.....  | 50 |
| 4.2.7. Proposta de Projeto de Sinalização.....                                      | 52 |
| 4.2.8. Verificação da viabilidade de inclusão da travessia em diagonal.....         | 55 |
| 4.3. ANÁLISE DOS CENÁRIOS ALTERNATIVOS.....   | 57 |
| 4.3.1. Cenário 1.....   | 57 |
| 4.3.2. Cenário 2.....   | 59 |
| 5. CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....                                 | 60 |
| 5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....  | 62 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 63 |
| ANEXO A.....  | 66 |
| APÊNDICE A.....   | 68 |
| APÊNDICE B.....   | 71 |
| APÊNDICE C.....   | 74 |
| APÊNDICE D.....   | 79 |

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O crescimento urbano sem planejamento que o Brasil vem enfrentando, tem gerado grande deficiência nas questões de mobilidade urbana e acessibilidade, um dos fatores, é alta aquisição de automóveis. Pesquisas destacam que as grandes metrópoles do país priorizam e organizam-se em torno do uso de transporte individual motorizado, inclusive porque o Governo Federal tem diligentemente subsidiado o setor (IPEA, 2010). Em Belém, capital do Pará, não é diferente, segundo dados do IBGE, a frota de veículos cresceu aproximadamente 15% entre 2015 e 2020 (IBGE, 2021).

Com o aumento da frota automobilística, as cidades tiveram seus espaços urbanos reconfigurados, sobrando cada vez menos espaço para o ato de caminhar. A Política Nacional de Mobilidade Urbana - PNMU (Lei Federal nº 12.587/2012) trata do assunto com a devida notoriedade ao definir que os transportes não motorizados têm prioridade sobre os modos motorizados, estabelecendo como princípio do plano diretor de mobilidade das cidades, a segurança nos deslocamentos dos pedestres e a equidade no uso do espaço públicos de circulação, estabelecendo como diretriz a integração entre os modos e a preferência dos modos ativos sobre os motorizados.

A Engenharia de Tráfego tem significativa ação na busca por cidades que propiciem a mobilidade a pé, com a construção de calçadas com bons níveis de serviço, construção de rampas e faixas de pedestres elevadas, instalação de botoeiras sonoras nas travessias e, também, de diversos outros elementos urbanos que condicionem uma melhor trafegabilidade e segurança aos pedestres e motoristas, a fim de garantir os princípios da acessibilidade universal, que é conferida como requisito básico na promoção da igualdade de direitos segundo a PMNU.

Para solucionar as dificuldades encontradas no crescimento do número de automóveis nas ruas, diversas novas propostas de Engenharia de Tráfego surgem anualmente, cada uma se propondo a resolver um determinado problema cotidiano. Uma dessas propostas é a travessia em diagonal, também chamada travessia em X, *Barnes Dance* ou *Scramble crossing*, popularizada pelo Engenheiro de Tráfego Henry Barnes no século 20.

A travessia em diagonal é configurada por um cruzamento onde o tráfego de carros é interrompido em todos os sentidos para que os pedestres possam cruzar em todas as direções, incluindo a diagonal. Esse tipo de travessia é motivo de muita discussão na Engenharia de Tráfego, pois apesar de ser um motivo de alegria e incentivo para a caminhada do pedestre, os

motoristas são antagônicos à esta travessia, devido ao seu impacto no tempo de espera para veículos.

Neste trabalho será apresentado um estudo de caso realizado no cruzamento da Avenida Presidente Vargas com a Rua Carlos Gomes, no qual foi feita a análise da viabilidade técnica de implantação de uma travessia em diagonal. O projeto semaforico incluindo a travessia em diagonal busca propor melhorias na fluidez e segurança de veículos e pedestres, à luz do Manual Brasileiro de Sinalização Semaforica do DENATRAN, da Política Nacional de Mobilidade Urbana e de outras regulamentações voltadas para a Engenharia de Tráfego.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo Geral

Estudar a viabilidade técnica da implantação de uma travessia em X na confluência da Avenida Presidente Vargas com a Rua Carlos Gomes no bairro da Campina em Belém-PA.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar o reconhecimento das condições de operação da sinalização semaforica vigente;
- Realizar contagem classificatória e direcional do fluxo veicular nos horários de pico;
- Fazer o levantamento de larguras e declividades das vias;
- Propor o projeto de sinalização da travessia em X com dimensionamento dos tempos semaforicos para veículos e pedestres;
- Propor eventual medida mitigatória para os impactos no tráfego de veículos.

## 1.3. JUSTIFICATIVA

As interseções têm papel fundamental no funcionamento do transporte e da mobilidade urbana, pois constituem locais onde duas ou mais vias se interceptam e por serem, muitas vezes, espaços de conflito entre ciclistas, pedestres e veículos. Portanto, é essencial que as interseções sejam projetadas de forma acessível, segura e intuitiva.

As travessias são elementos importantes das interseções. Travessias curtas diminuem a exposição do pedestre no decorrer do seu deslocamento, conferindo assim, mais segurança, posto que cada metro a mais de travessia de pedestres está associado a um aumento de 6% no número de atropelamentos (WRI, 2016). Destarte, interseções que permitam travessias diretas e nas quais o tráfego de pedestre é priorizado, são mais seguras.

Face aos fatores supracitados, e buscando promover um fluxo de pedestres compatível com a Política Nacional de Mobilidade Urbana, escolheu-se o estudo de caso de implantação da travessia em diagonal, pois se trata de um conceito ainda pouco difundido no Brasil e, sem nenhuma aplicação em Belém e, após buscas em acervos bibliográficos, não se encontrou estudos de caso e aplicação da modalidade de travessia para a cidade.

Posto que as travessias em X são indicadas para locais com alto fluxo de pedestres, o cruzamento escolhido foi o da Avenida Presidente Vargas com a Rua Carlos Gomes, pois se trata de um local como uma zona de influência diversificada, localizado no centro comercial, o local é o principal acesso para o Teatro da Paz e Bar do Parque, pontos turísticos que ficam situados na Praça da República, local onde as famílias e grupos sociais se reúnem aos domingos para lazer e apreciação da feira regional, junto à isso, a Av. Presidente Vargas (via principal) é um importante corredor de ônibus da capital e tem alta visibilidade turística, devido ao fato de receber anualmente a maior manifestação religiosa do Brasil, o Círio de Nazaré.

#### 1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Além do presente capítulo de introdução, no segundo capítulo, de revisão bibliográfica, apresenta-se a importância do transporte a pé para a construção de cidades mais humanizadas e que apliquem os princípios da Política Nacional de Mobilidade Urbana, sobre o semáforo destinado ao pedestre, seu funcionamento e critérios de implantação, sobre os elementos da programação semaforica destacando o método de dimensionamento do Manual Brasileiro de Sinalização do DENATRAN, sobre as interseções semaforicas, bem como sobre a travessia em diagonal. O terceiro capítulo contempla a caracterização da área de estudo e o método utilizado para a execução do trabalho.

No quarto capítulo constam os resultados obtidos de cada etapa dos procedimentos de cálculo do método exposto no terceiro capítulo e a proposta de projeto semaforico para a interseção. Ainda no quarto capítulo, apresentam-se análises de cenários alternativos primeiramente, modificando as medidas geométricas da via, aumentando a área das calçadas na medidas das faixas de estacionamento, não modificando com isso, a área útil de tráfego dos veículos e diminuindo a faixa de pedestre; no segundo cenário apresentado, é feito um dimensionamento semaforico para o cruzamento à luz do Manual do Denatran de 2014, considerando um ciclo ótimo de 105 segundos, que é igual ao ciclo existente no cruzamento, para assim verificar se há mudança nos tempos existentes e um maior tempo de verde para travessia do pedestre. No sexto capítulo, são apresentadas as conclusões acerca da programação semaforica atual e da programação dimensionada, são propostos novos estudos a partir do

trabalho e, são sugeridas medidas mitigatórias para os impactos no tráfego de veículos que podem ser causadas pela implantação da travessia.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos e definições referentes ao conteúdo do trabalho, serão abordados o modo de transporte pé e sua essencialidade diante do cumprimento da Política Nacional de Mobilidade Urbana, o semáforo para pedestres e os critérios exigidos para sua implantação, os elementos da programação semafórica e os principais conceitos e equações referentes ao dimensionamento semafórico. Conceitua-se também a travessia em X, referenciando case de implantação da travessia no Brasil e em outros locais do mundo.

### **2.1. MODO DE TRANSPORTE A PÉ**

A Engenharia de Tráfego é um ramo da engenharia responsável não somente pelo planejamento e projeto geométrico das vias, como, também, é responsável pela integração com outros meios de transporte. Surgiu nos anos 50, devido ao aumento da indústria automobilística e do significativo desenvolvimento da urbanização e da industrialização dos polos urbanos. Ela visa garantir o movimento racional de bens, veículos e pessoas, ou seja, fazer com que esse movimento aconteça com eficiência, comodidade e segurança (PIGNATARO, 1973).

Vieira (1999) confere à Engenharia de Tráfego um termo mais moderno “Engenharia da Mobilidade”, baseando-o em três fatores: engenharia veicular, engenharia viária e fatores humanos. Portanto, a Engenharia de Tráfego não depende somente de fatores físicos, visto a presença do humano (condutor e pedestre) e sua relação com o ambiente. Dessa forma, torna-se um recurso importante na racionalização e consequente otimização do trânsito, promovendo o avanço na qualidade de vida urbana, gerando maior fluidez, segurança e comodidade para os usuários das vias.

Face a necessidade de atender a demanda e a dada importância do fator humano no sistema do tráfego urbano, alguns órgãos e leis buscam regulamentar e orientar sobre um planejamento e gerenciamento da mobilidade urbana voltados para as pessoas, para a humanização de um ato tão primário, que é a locomoção.

De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro - CTB (1997), o pedestre é prioridade no sistema de transporte, contudo, no Brasil, os deslocamentos não motorizados são muitas vezes negligenciados no sistema de mobilidade. Isto é um erro, pois os deslocamentos de pessoas iniciam ou terminam na maioria das vezes por meio do transporte a pé, seja em uma

viagem curta até o ponto de ônibus ou carro, seja em uma locomoção mais distante para atingir-se um serviço de transporte (IPEA, 2015).

Segundo a Associação Nacional de Transporte Público - ANTP (2018), em média, mais de 40% das viagens nas regiões urbanas são feitas a pé, sendo este, um sinônimo de insegurança e estresse gerados pela falta de infraestrutura de calçadas, semáforos, faixas de travessia, dentre outros. Percebe-se, portanto, que o transporte a pé ainda é altamente marginalizado no debate e na proposição de políticas de transporte, trânsito e mobilidade.

O transporte a pé não é somente uma forma de conectar as pessoas a todos os outros meios de transporte, como também, é uma maneira eficiente de se locomover em trajetos curtos, não gera poluentes, é econômico, possibilita a interação com a cidade e, o mais importante, é saudável. Incentivos para caminhada (e outras formas não motorizadas de deslocamento) estão associados diretamente ao aumento de atividades físicas e a saúde das pessoas (Woodcock et al. 2009).

O problema da utilização intensiva do padrão de mobilidade de transporte individual motorizado, reside nas consequências provocadas pelo seu excesso. Segundo o Ministério da Saúde - MS (BRASIL, 2020), em 2019, ocorreram cerca de 32 mil mortes provocadas por acidentes de transporte terrestre no Brasil. Além do inerente aumento nos congestionamentos, do consumo de energia, dos ruídos e das emissões dos Gases de Efeito Estufa -GEE's.

### **2.1.1. A Lei da Política de Mobilidade Urbana – PNMU e transporte a pé**

As leis de mobilidade são passos importantes para a construção de cidades mais humanas e com qualidade de vida. A PNMU (Lei Federal nº 12.587/2012), foi quem estabeleceu princípios, diretrizes nacionais, instrumentos e orientações para todos os entes federativos no que concerne à política de mobilidade urbana nas cidades. Dentre os avanços, a lei instituiu a elaboração de planos diretores de mobilidade urbana para cidades com populações superiores a 20 mil habitantes até abril de 2023, do contrário, ficam impedidas de receber recursos federais destinados à mobilidade urbana.

O conceito de mobilidade urbana sustentável e temas relacionados, estão sendo cada vez mais frequentes no estudo do planejamento de cidades e na bibliografia acadêmica. Segundo STEG e GIFFORD (2005), o conceito da mobilidade está associado ao equilíbrio entre fatores ambientais, econômicos e sociais, tanto na atualidade como nas futuras ações no ambiente urbano.

No Brasil, o conceito está sendo incorporado aos poucos nas discussões dos Planos Diretores de Transporte e Mobilidade. Para a Lei de Mobilidade (BRASIL, 2012), mobilidade

urbana é a “condição em que se realizam os deslocamentos de pessoas e cargas no espaço urbano”, já acessibilidade é definida como “facilidade disponibilizada às pessoas que possibilite a todos, autonomia nos deslocamentos desejados, respeitando a legislação em vigor”.

Nesse contexto, é importante destacar a relação da mobilidade e seu impacto no cotidiano da sociedade urbana. A PNMU (BRASIL, 2012), discute o assunto diretamente ao definir como modos de transportes urbanos os motorizados e os não motorizados, fundamentando-se na acessibilidade universal, na segurança nos deslocamentos dos indivíduos e na equidade no uso do espaço público de circulação. E, principalmente, a Lei destaca que os planejamentos de mobilidade devem dar ênfase aos transportes não motorizados no que tange infraestrutura urbana.

## 2.2. SEMÁFORO PARA PEDESTRES

Com a finalidade de otimizar e condicionar o deslocamento dos pedestres nas vias e interseções viárias, sistematizar o tráfego e impedir acidentes, o semáforo surgiu como um importante dispositivo de controle de tráfego. Contudo, a implantação equivocada ou incorreta do dispositivo, pode provocar diversos impactos danosos ao trânsito das cidades (DENATRAN, 2014).

O DENATRAN elaborou o “Manual Brasileiro de Sinais de Trânsito” em 2014, com base em suas atribuições legais concedidas pela CTB, sendo o volume V voltado exclusivamente para a sinalização semafórica. Os semáforos são um subsistema de sinais de trânsito, projetados com o objetivo de transmitir informações sobre preferências de passagem de veículos e pedestres em conflitos de ação ou notificar os usuários sobre situações perigosas. É formado por indicações luminosas que se alternam com o tempo, indicando a liberação ou não liberação do tráfego, podendo também informar situações especiais da via (DENATRAN, 2014).

### 2.2.1. Critérios para implantação do Semáforo para Pedestres

A decisão pela implantação de um semáforo deve ser assentada em critérios técnicos que visem aumentar a segurança e/ou fluidez do tráfego. Na literatura existem alguns métodos que orientam o estudo de implantação de interseções semafóricas. O método brasileiro está presente no Manual de Sinalização de Trânsito Volume V – Sinalização Semafórica (DENATRAN, 2014).

O Manual Brasileiro de Sinalização semafórica (DENATRAN, 2014), além de apresentar os critérios para implantação dos semáforos, orienta para os processos de obtenção dos dados elementares para a verificação da necessidade de implantação ou remoção de

semáforos. Destaca-se que a análise deve ser feita considerando características específicas do local de implantação e seu entorno, considerando para isso, elementos como o fluxo, volume de pedestres, fluxo de saturação das vias, as especificidades da via e dos veículos que a trafegam e dados precedentes de acidentes.

Seguindo tais pressupostos, em 1984, o Manual do DENATRAN estabelece os critérios de implantação de sinalização semafórica em cruzamentos de vias. Quanto às travessias exclusivas de pedestres, o órgão ressalta a necessidade de instalação de semáforos em locais com um número grande de pedestres que desejam atravessar a via, estabelecendo assim, volumes mínimos para as 8h de maior fluxo, conforme Tabela 1.

**Tabela 1 - Critérios para a análise de implantação semafórica destinadas às travessias exclusivas de pedestres**

| <b>Aspectos da via</b>  | <b>Volume de veículos nos dois sentidos da via (veículo/hora)</b> | <b>Volume total de pedestres cruzando a via em ambos os sentidos (pedestre/hora)</b> |
|---|---|--|
| Mão dupla sem canteiro central ou com canteiro de largura inferior ou igual a 1 m | 600   | 250  |
| Com canteiro central de largura maior que 1 m                                     | 1.000   | 250  |

Fonte: DENATRAN (1984)

Outro fator importante, é a taxa de acidentes de trânsito. Sendo este, um fator que pode justificar a implantação semafórica. O acidente de trânsito com pedestres é um grande problema de segurança viária em todo o mundo, principalmente em países em desenvolvimento ZHANG (2005). Os acidentes com pedestres (atropelamentos) são geralmente de níveis severos, com vítimas, fatais ou não, logo devem ser evitados ao máximo devido ao seu alto impacto econômico, hospitalar e, sobretudo, social. Um acidente com vítima fatal, por exemplo, tem um custo médio para a sociedade de 665 mil reais, já o acidente sem vítimas gera um custo médio de 23 mil reais (IPEA, 2020).

### **2.2.2. Acionamento do semáforo de pedestres por Botoeira**

As botoeiras, também chamadas de semáforo semi-atuado, são dispositivos com finalidade de detectar a solicitação de pedestres em determinado local. Devem ser implantados acompanhados de sinalização educativa e informativo sobre o mecanismo de acionamento, conforme indicado na Figura 1.

**Figura 1 - Exemplo de botoeira e de sinalização educativa para uso da botoeira.**



Fonte: DENATRAN (2014)

Quando o dispositivo é acionado, ele registra em sua programação o pedido de travessia e assim, fecha o sinal para os veículos, liberando a travessia dos pedestres com segurança. Em Belém, existem alguns semáforos semi-atuados instalados, como por exemplo no cruzamento da travessa Padre Eutíquio com a Avenida Conselheira Furtado. Botoeira instalada nesta interseção possui dispositivo sonoro para auxiliar na travessia de pessoas com deficiência visual. As botoeiras sonoras configuram um importante avanço para a acessibilidade universal no trânsito atendem à resolução N° 704 de 10 de outubro de 2017 do CONTRAN.




### **2.2.3. Interface dos tempos semafóricos de pedestre x tempos semafóricos veiculares**

A Resolução N° 160/04 do CONTRAN (Anexo II do CTB) estabelece as regulamentações e advertências que guiam a sinalização semafórica, dentre estas, está disposto o semáforo, chamado também de grupo focal, que podem ser veicular, veicular direcional, de pedestres, de ciclistas, etc. Dar-se-á ênfase para o veicular e o de pedestres.

O semáforo veicular, dispõe de três indicações luminosas, sendo elas: vermelha, amarela e verde, arranjas nestas ordem, da esquerda para a direita quando horizontal e de cima para baixo quando vertical. Este tipo de semáforo pode ser também, composto de dois focos vermelhos, um amarelo e um verde, ordenados verticalmente conforme indicado na Figura 2.

O grupo focal para pedestres é composto por foco vermelho e verde, com os símbolos orientando ao pedestre que pare ou prossiga, dispostos nesta ordem, de cima para baixo, conforme ilustrado na Figura 2.

**Figura 2 - Tipos de Semáforos**

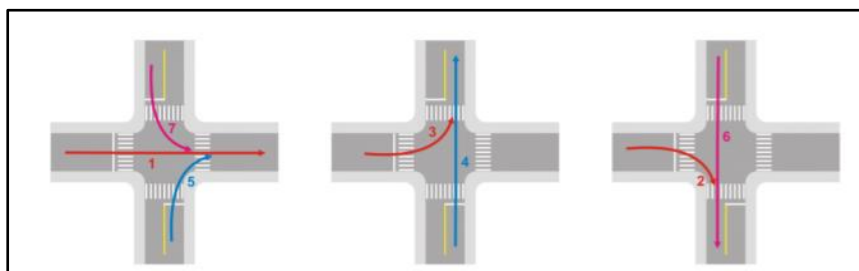
| TIPO DO SEMÁFORO | POSIÇÃO VERTICAL   | POSIÇÃO HORIZONTAL  |
|------------------|--|---|
| Veicular         |  <p>Observação: O grupo focal pode ser configurado com vermelho 300mm e amarelo/verde 200mm</p> |  <p>Observação: Só utilizar quando projetado sobre a via</p> |
| Pedestre         |   |   |

Fonte: DENATRAN (2014)

### 2.3. INTERSEÇÕES

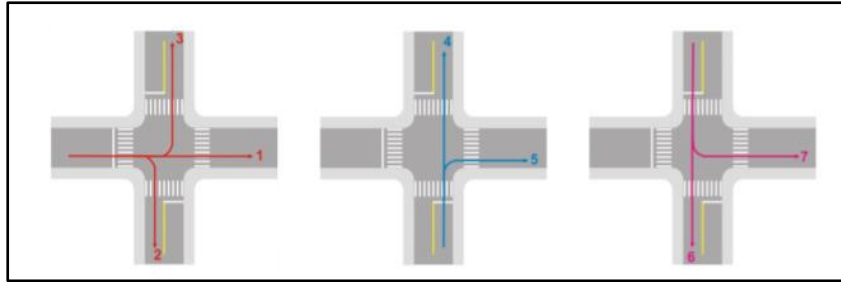
A interseção é um importante elemento no tráfego urbano, pois é onde geralmente acontece uma maior interação entre motoristas, ciclistas e pedestres. AASHTO (2001) define a interseção como uma área geral, onde há o cruzamento de duas ou mais vias. Para auxiliar no estudo das interações das trajetórias dos usuários nas interseções, o Manual Brasileiro de Sinalização Semafórica (DENATRAN, 2014) faz uma classificação dos movimentos em uma interseção como:

- a) convergentes: movimentos que têm origem em diferentes aproximações e possuem mesmo destino (Figura 3);
- b) divergentes: movimentos que têm origem na mesma aproximação e possuem destinos diferentes (Figura 4);
- c) interceptantes: movimentos que têm origem em aproximações diferentes e que se cruzam em algum ponto da área de conflito (Figura 5);
- d) não-interceptantes: aqueles cujas trajetórias não se encontram em nenhum ponto da área de conflito (Figura 6).

**Figura 3 – Movimentos convergentes.**

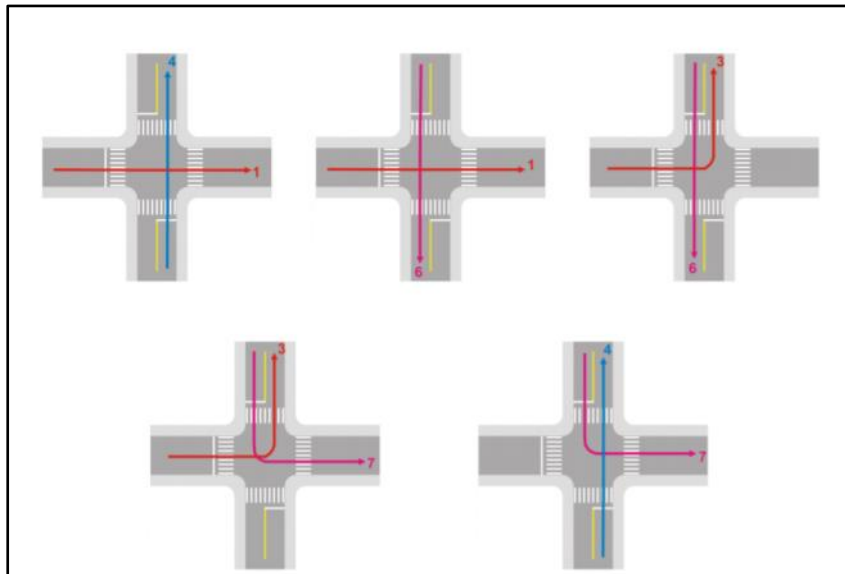
Fonte: DENATRAN (2014).

**Figura 4 – Movimentos divergentes.**



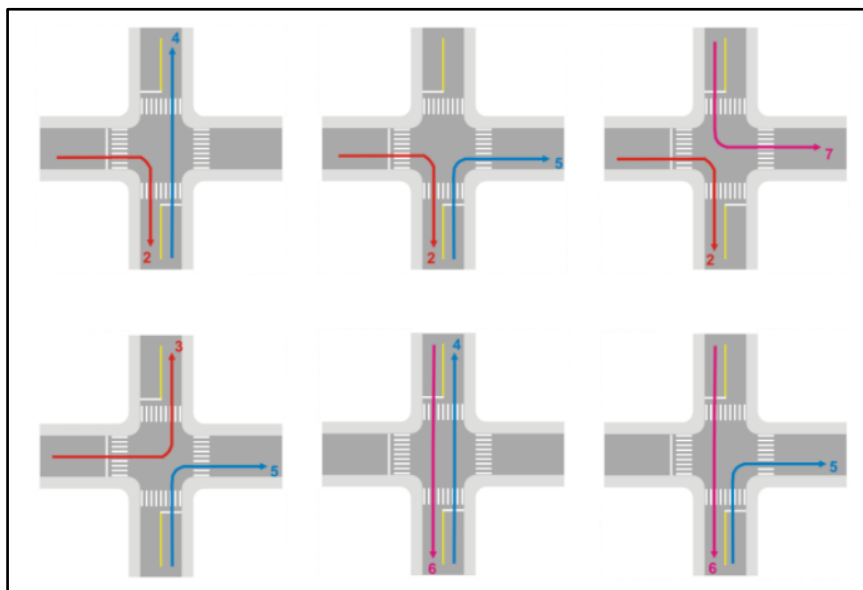
Fonte: DENATRAN (2014).

**Figura 5 – Movimentos interceptantes.**



Fonte: DENATRAN (2014).

**Figura 6 – Movimentos não-interceptantes.**



Fonte: DENATRAN (2014).

## 2.4. ELEMENTOS DA PROGRAMAÇÃO SEMAFÓRICA

A presente seção aborda os principais elementos envolvidos na programação semafórica. Para cada elemento apresentam-se o conceito, a forma de determinação e a equação para aplicação, quando assim for necessário. No Manual de Sinalização Semafórica (DENATRAN, 2014) são apresentados detalhes sobre a obtenção dos dados que são necessários para verificar a necessidade de implantação ou mesmo remoção da sinalização semafórica.

A determinação da implementação de um semáforo deve ser precedida de estudos específicos de cada local, que levem em conta o volume de veículos, a composição do tráfego, volume de pedestres e a capacidade (ou fluxo de saturação) das vias

### 2.4.1. Volume de Tráfego veicular e Volume de tráfego veicular equivalente

Denomina-se volume ou fluxo de tráfego o número de veículos que passa por uma dada seção de via durante o período de realização de uma contagem. Na programação semafórica, o volume de tráfego de veículos é determinado por sentido de circulação do tráfego, e é geralmente formado por diferentes tipos de veículos.

Para dimensionamento da programação semafórica, é importante analisar a variação temporal do volume de tráfego da via, para assim, determinar o melhor período para efetuar a pesquisa. Logo, recomenda-se que as contagens sejam feitas ao longo de um dia útil típico. O manual orienta que as contagens sejam realizadas a cada 15 minutos e devem apresentar o número de veículos de cada movimento. O volume de tráfego é expresso em (veíc/hora) e é calculado de acordo com a Equação 1.

$$Volume = \frac{n^{\circ} \text{ de veículos}}{tempo} \quad (1)$$

O volume de tráfego equivalente, é o volume de tráfego veicular expresso em unidades de carros de passeio (UCP), contudo, para que esse valor seja calculado de forma proporcional ao desempenho de cada tipo de veículo, o DENATRAN (2014) instituiu um fator de equivalência para diferentes tipos de veículos, tendo como referência o automóvel, para o qual se adota fator de equivalência = 1,0 UCP (unidade de carro de passeio). Na Tabela 2, são apresentados os fatores de equivalência para cada tipo de veículo, para que assim, seja obtido o volume de tráfego equivalente de cada via de acordo com as características do tráfego.

**Tabela 2 - Fator de equivalência para diferentes tipos de veículos**

| <b>Tipo</b>        | <b>Fator de equivalência</b> |
|--------------------|------------------------------|
| Automóvel          | 1,00                         |
| Moto               | 0,33                         |
| Ônibus             | 2,00                         |
| Caminhão (2 eixos) | 2,00                         |
| Caminhão (3 eixos) | 3,00                         |

Fonte: DENATRAN (2014)

#### 2.4.2. Fluxo de Saturação (FS)

O Fluxo de Saturação (FS) corresponde à capacidade máxima da via. Representa quantos veículos conseguem trafegar na via por um dado período de tempo, que assim como o volume de tráfego veicular, é expresso em veículos por hora (veíc/hora).

O Fluxo de Saturação sofre influência das condições da via, do tráfego (tipos de veículos), do volume de pedestres e do ambiente. Com relação às condições da via, os fatores mais importantes são a topografia, geometria, a largura e as quantidades de faixas e o estado de conservação do pavimento (STOKES, 1989). Existem alguns métodos para determinação do FS, de manuais como o HCM (TRB, 2000) e do DENATRAN (1984) e de autores famosos, como SHANTEAU (1988) e WEBSTER (1958). Para o presente trabalho, será utilizado o método proposto por Webster para determinação do fluxo.

##### 2.4.2.1 Método para estimativa do Fluxo de Saturação de Webster

O cálculo utilizado no método proposto por Webster tem como principal referência a largura da via, sendo válida apenas para vias com larguras entre 5,5 metros e 18,0 metros (Ver Equação 2). Para valores inferiores a 5,5 metros, o fluxo de saturação é representado pelos fluxos expostos na Tabela 3.

$$S = 525 \times L \quad (2)$$

em que,

S = fluxo de saturação em  $V_{equiv}/h$ ;

L = largura de aproximação em metros (m).

**Tabela 3 - Valores de Fluxo de Saturação para Larguras de Vias Inferiores a 5,5 m**

| <b>L (m)</b>     | 3,0  | 3,3  | 3,6  | 3,9  | 4,2  | 4,5  | 4,8  | 5,2  |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>S (Veq/h)</b> | 1850 | 1875 | 1900 | 1950 | 2075 | 2250 | 2475 | 2700 |

Fonte: WEBSTER (1958) apud CET, 1978, p. 68

### 2.4.3. Taxa de ocupação

A taxa de ocupação ( $y$ ) de um grupo de movimentos, é a relação entre seu fluxo ou volume de tráfego e o respectivo fluxo de saturação, expressos na mesma unidade. É calculada através da Equação 3 (DENATRAN, 2014).

$$y = \frac{F}{FS} \quad (3)$$

em que,

$y$  = taxa de ocupação;

$F$  = fluxo do grupo de movimentos, em veículos por hora, ou ucp por hora;

$FS$  = fluxo de saturação do grupo de movimentos, em veículos por hora ou ucp por hora.

### 2.4.4. Estágio

De acordo com o DENATRAN (2014), estágio é o intervalo de tempo no qual um ou mais grupos de movimentos recebem simultaneamente o direito de passagem, esse intervalo é compreendido entre o tempo de verde e o tempo de entreverdes que o segue.

### 2.4.5. Tempo perdido

O tempo perdido de um ciclo é, basicamente, a parte do ciclo que não é efetivamente utilizada pelos veículos. Na prática, essa perda varia entre 2 a 4 segundos em cada fase. As razões que levam a essa perda são: (i) há o tempo de percepção e reação dos motoristas quando o sinal verde acende; (ii) alguns motoristas não utilizam o sinal amarelo para cruzar a interseção e; (iii) em alguns cruzamentos ocorre o vermelho geral.

Tendo em vista a não medição em campo dos tempos pedidos no início e final de cada movimento, o tempo perdido pode ser configurado como o tempo de entreverdes (DENATRAN, 2014, p. 121). Podendo ser calculado pela Equação 4.

$$L = t_{ent,p} + t_{ent,i} \quad (4)$$

em que,

$L$  = tempo perdido total, em s;

$t_{ent,p}$  = tempo entreverdes pedestres, em s;

$t_{ent}$  = tempo de entreverdes do estágio, em s.

### 2.4.6. Entreverdes

O período entreverdes pode ser definido como um tempo de segurança, ele é previsto para evitar acidentes entre os usuários que estão perdendo seu direito de passagem e aqueles que vão passar a adquiri-lo no estágio subsequente, logo, o período entreverdes é o intervalo de

tempo compreendido entre o final do verde de um estágio e o início do verde do estágio subsequente, o mesmo é calculado através da Equação 5.

$$t_{ent} = t_{pr} + \left( \frac{v}{2 \times (a_{ad} \pm ig)} \right) + \left( \frac{d_2 + c}{v} \right) \quad (5)$$

em que,

$t_{ent}$  = tempo de entreverdes para o grupo focal de veículos; em segundos;

$t_{pr}$  = tempo de percepção e reação do condutor, em segundos;

$v$  = velocidade do veículo, em m/s;

$a_{ad}$  = máxima taxa de frenagem admissível em via plana, em m/s<sup>2</sup>;

$i$  = inclinação da via na aproximação, sendo “+” em rampas ascendentes e “-” em rampas descendentes (m/m);

$g$  = aceleração da gravidade (9,8 m/s<sup>2</sup>);

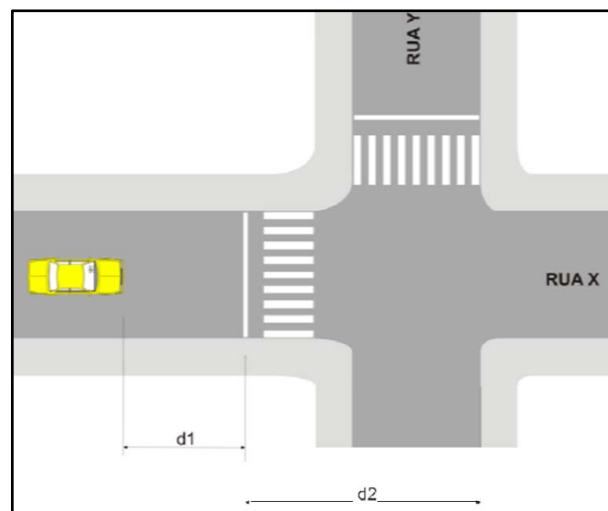
$d_2$  = extensão da trajetória do veículo entre a linha de retenção e o término da área de conflito, em metros;

$c$  = comprimento do veículo, em metros.

O DENATRAN (2014) orienta que seja adotado um  $t_{pr} = 1$  s,  $a_{ad} = 3$  m/s<sup>2</sup> e um  $c = 5$  m, quando o fluxo for predominantemente formado por automóveis.

A extensão  $d_2$  pode ser melhor entendida através da Figura 7.

**Figura 7 - Distâncias percorridas pelo veículo junto à aproximação**



Fonte: DENATRAN (2014)

Ao compor o tempo de entreverdes, no caso do semáforo veicular, o tempo de amarelo ( $t_{am}$ ) deve ser igual à soma das duas primeiras parcelas da Equação 5 e o tempo de vermelho geral ( $t_{vg}$ ) deve ser equivalente à última (DENATRAN, 2014).

DENATRAN (2014) recomenda que o tempo mínimo de amarelo seja avaliado de acordo com a velocidade máxima da via. Sendo assim:

- Para vias até 40 km/h o tempo de amarelo não deve ser menor que 3 s;
- Para vias com velocidade máxima de 50 km/h ou 60 km/h o tempo de amarelo não deve ser inferior a 4 s;
- Para vias com velocidade máxima  $\leq 70$  Km/h o tempo mínimo de amarelo deve ser de 5s.

#### 2.4.6.1. Entreverdes para pedestres

Conforme o DENATRAN (2014), o tempo de entreverdes para os pedestres é a soma do tempo de vermelho piscante (equivale ao tempo de amarelo do veicular), mais o tempo de vermelho geral, que deve ter duração mínima de 1 segundo. O entreverdes de pedestre pode ser calculado pela Equação 6.

$$t_{ent,p} = t_{pr} + \frac{L}{V_p} \quad (6)$$

em que,

$t_{ent,p}$  = tempo do intervalo de vermelho intermitente para o grupo focal de pedestres, em segundos;

$t_{pr}$  = tempo de percepção e reação do pedestre, em segundos;

L = extensão da travessia, em metros;

$V_p$  = velocidade do pedestre, em m/s.

O tempo de vermelho (ou vermelho intermitente) é um tempo estabelecido para que os pedestres que já iniciaram a travessia, a terminem sem que seja preciso acelerar a caminhada, é um tempo suficiente para a travessia total em segurança.

A Equação 6, tem um papel fundamental do dimensionamento de uma programação semafórica, pois quanto maior o tempo de vermelho piscante, que é a segunda parcela da equação, maior será o tempo destinado a travessia segura do pedestre.

#### 2.4.7. Tempo de ciclo ótimo de Webster

O tempo de ciclo é dado pelo tempo necessário para que um ciclo inteiro seja cumprido em uma interseção, ou seção de um uma via, ele é a junção dos tempos de todos os estágios programados para o controle do tráfego no local. Um tempo de ciclo muito alto, muitas vezes, impacta em um tempo de espera muito elevado, dessa forma, o Manual do DENATRAN (2014) recomenda que nas regiões comuns de controle do tráfego esse valor não supere 120 s. O método de Webster fornece a Equação 7 para que o tempo de ciclo ótimo seja calculado.

$$t_{co} = \frac{1,5 \times t_p + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i} \quad (7)$$

em que:

$t_{co}$  = tempo de ciclo ótimo, em segundos;

$T_p$  = tempo perdido total, em segundos;

$y_i$  = taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio  $i$ ;

$n$  = número de estágios.

#### 2.4.8. Tempo de verde efetivo e tempo de verde real

Segundo o Manual do DENATRAN (2014, p. 93), define-se o tempo de verde efetivo de um estágio como o “tempo de verde do estágio que seria efetivamente utilizado pelo fluxo do grupo de movimentos crítico, se este fosse descarregado com valor igual ao fluxo de saturação”. O tempo de verde de um semáforo não é totalmente utilizado para o escoamento de seus veículos, visto a ocorrência de perdas durante esse processo. Em vista disso, o tempo de verde efetivo ( $G_{ef}$ ) é definido como o tempo total em que realmente ocorre o fluxo máximo de veículos. Confere-se, portanto, que no caso da utilização do Método de Webster, o Tempo de verde efetivo é calculado pela Equação 8.

$$t_{v,efet,i} = (t_c - t_p) \times \left( \frac{y_i}{\sum_{i=1}^n y_i} \right) \quad (8)$$

em que,

$t_{v,ef,i}$  = tempo de verde efetivo do estágio  $i$ , em s;

$t_c$  = tempo de ciclo, em s;

$T_p$  = tempo perdido total, em s;

$y_i$  = taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio  $i$ ;

$n$  = número de estágios.

A Equação 9 relaciona o tempo de verde real ao tempo de verde efetivo.

$$t_{v,real} = t_{v,efet} - t_{ent} + t_{pin} + t_{pfn} \quad (9)$$

em que,

$t_{v,real}$  = tempo de verde real, em segundos;

$t_{v,efet}$  = tempo de verde efetivo, em segundos;

$t_{ent}$  = tempo de entreverdes, em segundos;

$t_{pin}$  = tempo perdido no início, em segundos;

$t_{pfn}$  = tempo perdido no final, em segundos.

Nos estágios para pedestre, o tempo de verde efetivo é igual ao tempo de verde real (DENATRAN, 2014, p. 94). E para o presente trabalho, tendo em vista que não foram feitas as

medições de tempo perdido no início e no fim, o tempo perdido foi assumido como igual ao entreverdes correspondente, logo, todos os verdes reais são equivalentes aos verdes efetivos.

Sendo, portanto, calculado o tempo de verde efetivo e real do ciclo, através da Equação 10, que relaciona a Equação 4 a Equação 7.

$$G_t = t_{co} - L \quad (10)$$

em que,

$G_t$  = tempo de verde efetivo do ciclo, em segundos;

$t_{co}$  = tempo de ciclo ótimo, em segundos;

$L$  = tempo perdido total, em segundos.

## 2.5. TRAVESSIA EM DIAGONAL

As travessias em diagonal, também conhecidas como Barnes Dance e travessia em X, são travessias cujo o maior diferencial é a permissão de que os pedestres cruzem a interseção em todas as direções. O sistema foi popularizado por Henry Barnes em Denver (capital do Colorado) e na cidade de Nova York como uma forma de tornar os cruzamentos mais amigáveis para os pedestres (JAFFE, 2012).

Nos últimos anos, a travessia em X ressurgiu em popularidade à medida que as cidades começaram a se preocupar em proporcionar mais infraestrutura aos pedestres. A travessia já é muito utilizada em algumas cidades Toronto, Tóquio, Londres e Washington DC (JAFFE, 2012). Tais travessias são indicadas para locais com grande volume de tráfego de pedestres no cruzamento, permitindo maior fluidez e eficiência no trânsito de pedestres, que não precisam mais esperar em cada esquina para cruzar em duas vias.

No Brasil, algumas cidades já aderiram à travessia de pedestres em diagonal. Em janeiro de 2015, foi inaugurada a faixa de pedestre em X na esquina mais famosa de São Paulo - Ipiranga com São João. Na época, o superintendente de planejamento da Companhia de Engenharia e Tráfego (CET), Ronaldo Tonobohn, justificou a implantação pelo alto fluxo de pedestres ali existente, além de que os pedestres já faziam tal movimentação em diagonal antes da implantação, o que tornava a esquina um lugar com risco iminente de acidentes. (SCHEIN, 2015). A Figura 8 mostra a travessia em X instalada em São Paulo.

**Figura 8 - Sinalização em X foi instalada na esquina mais famosa da cidade: Ipiranga com a São João.**



Fonte: SCHEIN, 2015

Os principais critérios para que um cruzamento receba a faixa diagonal são: existência da necessidade de travessia do cruzamento em “L”; volume representativo de pedestres; conflitos entre os motoristas e os pedestres gerados por desrespeito ao semáforo.

De acordo com a Companhia de Engenharia de Tráfego - CET (2016), o funcionamento ocorre normalmente da seguinte maneira: o sinal verde fica aceso por um período variável, geralmente situado entre 5 e 10 segundos; seguido do vermelho piscante, que indica aos pedestres que já iniciaram a travessia, que eles podem concluí-la sem interrupções; e, posteriormente, o vermelho contínuo.

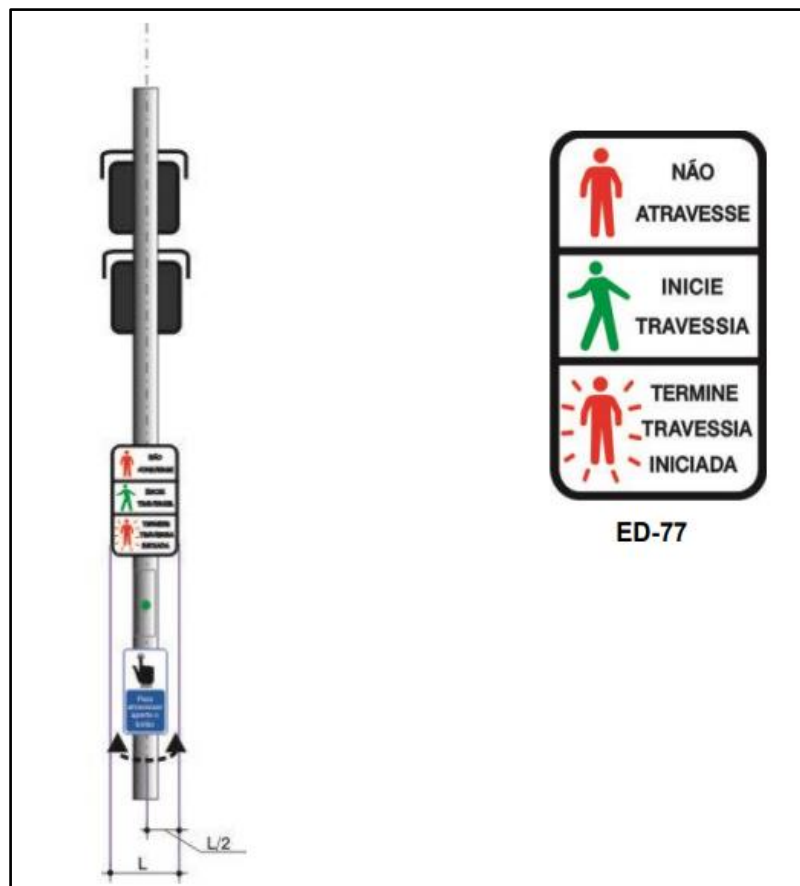
Bechtel et al. (2003) desenvolveram um estudo sobre os impactos da travessia em diagonal em um cruzamento em Chinatown em Oakland, Califórnia e encontraram uma redução de 50% nos conflitos entre pedestres e veículos. Kattan et al. (2009), avaliaram dois cruzamentos no centro de Calgary, Canadá, medindo o número de conflitos entre pedestres e veículos, constatando que com a implantação da travessia em diagonal, diminuíram significativamente os conflitos entre pedestres e veículos no cruzamento, contudo, foi constatado também, que houve um aumento no número de infrações veiculares.

Em outra interseção da cidade de São Paulo, entre as ruas Riachuelo e Cristóvão Colombo, a travessia em diagonal já funciona desde 2014. Em uma reportagem da revista Veja de São Paulo (2017), a grande maioria dos pedestres entrevistados, relataram aprovação em relação a travessia, em que antes levariam em média 23 segundos para concluir a travessia em L, agora com a travessia em diagonal, levam apenas 15 segundos, contudo, ainda há uma

desconfiança dos pedestres em relação ao tempo de vermelho piscante, que muitas vezes preferem fazer a travessia em L por receio da luz piscante, apesar da sinalização indicativa no local.

O tempo de vermelho piscante é estabelecido de acordo com a geometria da travessia e a quantidade de pedestres no cruzamento em questão. É regulamentado que a implantação da travessia em diagonal, seja acompanhada de placas de sinalização ED-77 (Figura 9), em determinadas situações, a placa é instalada junto a botoeira (CET, 2016). A placa educativa ED-77, esclarece ao pedestre que o tempo de vermelho intermitente é suficiente para efetuar a travessia total em segurança.

**Figura 9- Sinalização educativa de código ED-77**



### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E MÉTODO

#### 3.1. ESTUDO DE CASO: INTERSEÇÃO DA AVENIDA PRESIDENTE VARGAS COM A RUA CARLOS GOMES

Localizada no bairro da Campina, um bairro histórico de Belém do Pará, a Avenida Presidente Vargas se estabeleceu como uma das principais vias da cidade, possui em seu entorno grandes bancos, hotéis, comércios e pontos turísticos como a Praça da República, onde está situado o Theatro da Paz. A via foi palco para a primeira construção vertical de Belém (PENTEADO, 1968) e anualmente recebe uma das maiores manifestações religiosas católicas do Brasil, o Círio de Nazaré. A avenida possui mão única em todo seu percurso e, é um importante corredor de ônibus, recebendo linhas de praticamente todos os bairros da região metropolitana de Belém (BELÉM, 2017), é definida no plano diretor de Belém como uma via arterial principal, que segundo o Anexo I do CTB (1997), é “caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade”.

Nas imediações da Praça da República, a Av. Presidente Vargas possui um cruzamento com a Rua Carlos Gomes, que é uma via local, caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local e de áreas restritas (Anexo I do CTB, 1997). A interseção foi escolhida para estudo, pois apresenta grande movimentação de veículos e pedestres e, sobretudo, por ser parte de um corredor de ônibus muito importante para a mobilidade urbana da cidade. O cruzamento em questão, já é semaforizado. Vê-se na Figura 10, fotos da inserção estudada.

**Figura 10 - Fotos do Cruzamento da Av. Presidente Vargas com a Rua Carlos Gomes**



A Figura 11 apresenta a vista superior do cruzamento. A linha vermelha representa a extensão da Avenida Presidente Vargas, que se inicia na Av. Boulevard Castilhos França e termina na Avenida Gama Abreu. A linha azul representa a extensão da Rua Carlos Gomes, que tem seu início na Trav. Padre Eutíquio e seu término na Av. Assis de Vasconcelos.

**Figura 11 - Vista superior do cruzamento Av. Presidente Vargas x Rua Carlos Gomes**



**Fonte: Google Earth Pro**

A Av. Presidente Vargas, arterial principal, possui cerca de 980 metros de extensão (Google Earth, 2021), é uma via de mão única e conta com três faixas de fluxo veicular em toda sua extensão, a esquerda do fluxo, a via possui faixa de estacionamento de 2,30 metros, sendo que na proximidade da interseção o estacionamento é prioritário a taxistas cadastrados, fator decorrente da presença do Hotel Princesa Louçã, do Banco da Amazônia – BASA, do Bar do Parque e da Praça da República; a faixa lateral direita da via, é prioritária para ônibus que tem parada localizada a cerca de 15 metros de distância da linha de retenção.

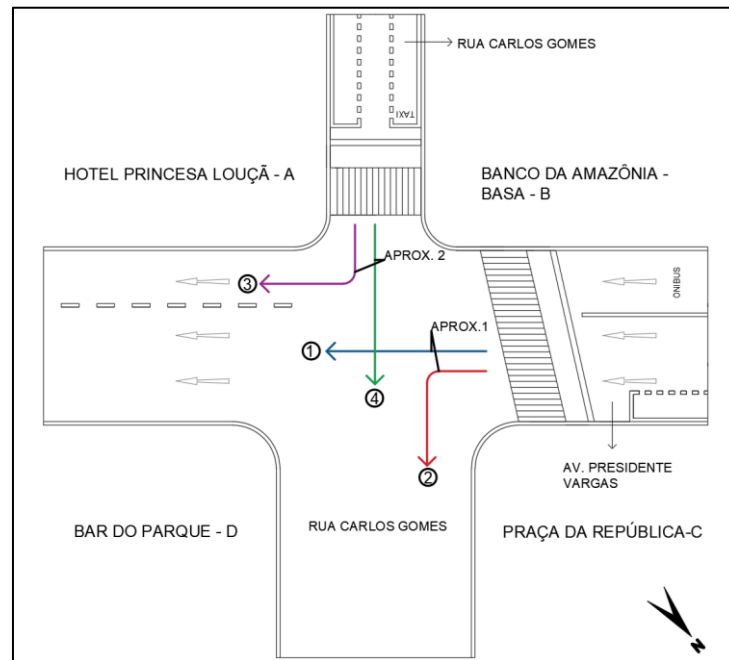
Já a rua Carlos Gomes, via local, de aproximadamente 560 metros (Google Earth, 2021), assim como a avenida Presidente Vargas, é também uma via de mão única em toda sua extensão, possui apenas uma faixa para o tráfego de veículos, tendo em suas duas laterais, faixas de estacionamentos de 2,30 metros, que próximo a faixa, são prioritários para taxistas cadastrados, além de contar com uma vaga destinada a deficientes físicos.

Apresenta-se na Figura 12, os movimentos permitidos na aproximação (1) da Avenida Presidente Vargas com a Rua Carlos Gomes e a aproximação (2) da Rua Carlos Gomes com a Av. Presidente Vargas, que são:

- Movimentos 1 e 2, divergentes entre si;
- Movimentos 3 e 4, divergentes entre si;

- Movimentos 1 e 3, convergentes entre si;
- Movimentos 1 e 4, interceptantes entre si e;
- Movimentos 2 e 3, não interceptantes entre si.

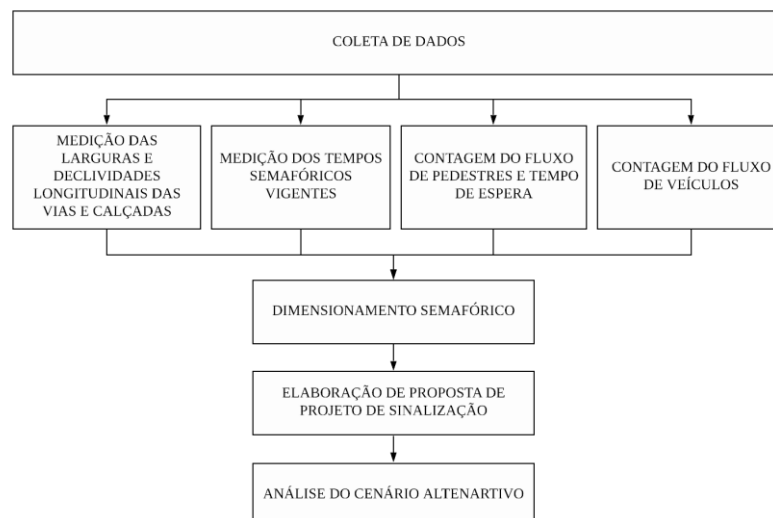
**Figura 12 - Aproximações presentes na interseção.**



### 3.2. MÉTODO

Para elaboração deste trabalho, baseou-se em conceitos e métodos apresentados no Manual Brasileiro de Sinalização Semafórica (DENATRAN, 2014), que envolvem medições *in loco* e estudos bibliográficos, a pesquisa ocorreu seguindo as etapas apresentadas no Fluxograma da Figura 13.

**Figura 13 - Fluxograma das etapas do trabalho**



### 3.2.1. Coleta de Dados

A etapa de coleta de dados é fundamental para a elaboração e para o estudo de um dimensionamento semafórico. Foram coletados em campo o volume classificatório de veículos, as larguras dos trechos próximos à interseção, os tempos semafóricos existentes, dentre outros. Destaca-se que não foi feita a verificação de necessidade da sinalização semafórica, haja vista que a interseção já possui semaforização e considerou-se que a verificação já havia sido efetuada pelo órgão competente. Para cálculo do fluxo de saturação da interseção, tempo ótimo de ciclo e repartição dos tempos de verde utilizou-se o modelo de Webster.

#### 3.2.1.1. Aplicativo de contagem de tráfego- CONTRÁFEGO

Para auxílio na coleta de dados do fluxo veicular e de pedestres, a autora da presente pesquisa, Marivana Almeida e o Engenheiro Arthur Miranda, desenvolveram um aplicativo de contagem volumétrica de tráfego de veículos e pedestres, denominado CONTRÁFEGO.

O Aplicativo CONTRÁFEGO foi desenvolvido através da ferramenta Flutter de desenvolvimento mobile da Google. Com a utilização do aplicativo, a contagem tornou-se mais rápida e de fácil execução, pois o mesmo possibilita uma contagem classificatória e direcional do fluxo, salvando em sua base de dados os volumes contados e, se melhor desenvolvido, o aplicativo pode gerar relatórios nos moldes propostos pelo Manual de sinalização semafórica do DENATRAN. Na Figura 14, mostram-se capturas de tela da interface do aplicativo.

**Figura 14 - Interface do aplicativo CONTRÁFEGO.**



Ressalta-se que o aplicativo foi desenvolvido apenas para a pesquisa do presente trabalho e que não está disponível em plataformas digitais para baixar.

### 3.2.1.2. Medição das larguras e declividades longitudinais das vias e calçadas

Primeiramente, foi feita a medição *in loco* das larguras e declividades longitudinais das vias e calçadas do cruzamento. Para tanto, foram necessários três pesquisadores. Para a medição das larguras das vias, foram utilizadas: trena de fibra de vidro de 50 metros, trena básica com freio manual de 5 metros e trena a laser com alcance de 50 metros (para medidas das vias, visto que o fluxo de carros era contínuo e não havia possibilidade de medir com as trenas manuais). Para aferição das declividades longitudinais de todas as aproximações, foram utilizadas as trenas e mangueira transparente, comumente utilizado na construção civil para aferição de nível.

### 3.2.1.3. Medição dos tempos semafóricos vigentes

Para aferição de todos tempos semafóricos vigentes da interseção (veiculares – verdes, amarelos, vermelhos, vermelho-geral; e de pedestres – verde, vermelho piscante e vermelho) foi utilizado cronômetro. Houve a preocupação de fazer a contagem em três dias diferentes, dois dias úteis e em um domingo, para assim verificar se a programação dos tempos semafóricos é diferente de acordo com o dia.

### 3.2.1.4. Contagem do fluxo veicular

Foi feita a contagem direcional e classificatória - Anexo C do DENATRAN (2014), de veículos dividindo a frota em moto, carro, ônibus (veículos pesados de 2 eixos) e caminhão (veículos pesados de 3 ou mais eixos), cada categoria seguindo os respectivos pesos de equivalência, conforme Tabela 2.

As pesquisas de fluxo veicular aconteceram nas datas e horários apresentados na Tabela 4. Foram selecionados para contagem, um dia útil típico, não sendo sem segunda e nem sexta, para representar a situação padrão das vias, de acordo com o recomendado pelo DENATRAN (2014), e um domingo, justifica-se tal escolha, pois é um dia de grande movimentação no entorno do cruzamento, visto que aos domingos ocorre feira de artesanato na Praça da República e também por ser um dia em que as famílias e grupos sociais vão à praça para lazer.

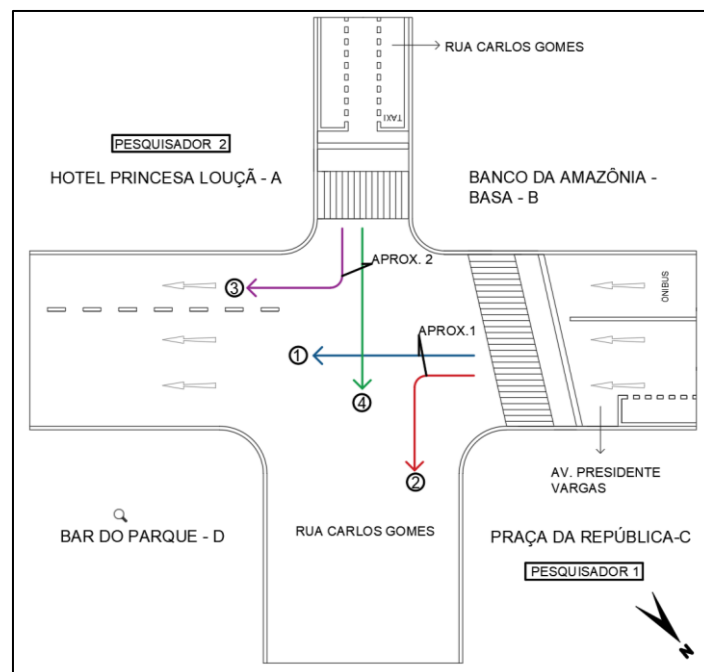
**Tabela 4 - Data e horários das contagens**

| Abril |               |                 |
|-------|---------------|-----------------|
| Data  | Dia da semana | Horário         |
| 22    | Quinta        | 17:00h - 18:30h |
| 25    | Domingo       | 11:00h - 12:30h |

A contagem veicular foi feita em horários de pico padrões, às 12h e 18h, horários considerados com maior fluxo veicular. Para melhor avaliar a variação dos fluxos ao longo do tempo, foram feitas contagens de uma hora e meia de duração.

Para realização das contagens, foram necessários dois pesquisadores, localizados cada um em esquinas opostas, para melhor visualização dos movimentos. Com o auxílio do aplicativo de contagem CONTRÁFEGO (item 3.2.1.1.), foi possível contabilizar todos os movimentos atuantes no cruzamento. A Figura 15, mostra todos os movimentos permitidos por faixa (a), sendo o Pesquisador 1 responsável por contabilizar os veículos que realizarem os movimentos 1 e 2; e o Pesquisador 2, os movimentos 3 e 4.

**Figura 15 - Movimentos de veículos permitidos no cruzamento**



Posteriormente a contagem *in loco*, os dados obtidos com o auxílio do aplicativo foram transferidos para uma planilha de cálculo, mostrada esquematicamente na Tabela 5, elaborada de acordo com o modelo de coleta de dados para pesquisa direcional e classificatória, presente no Manual de Sinalização DENATRAN (2014), que pode ser consultada no Anexo A. A tabela é estruturada para contagens em ciclos de 15 minutos e conta com um total de quatro categorias de veículos, sendo eles: motos, automóveis, ônibus (2 eixos) e caminhões (3 ou mais eixos).

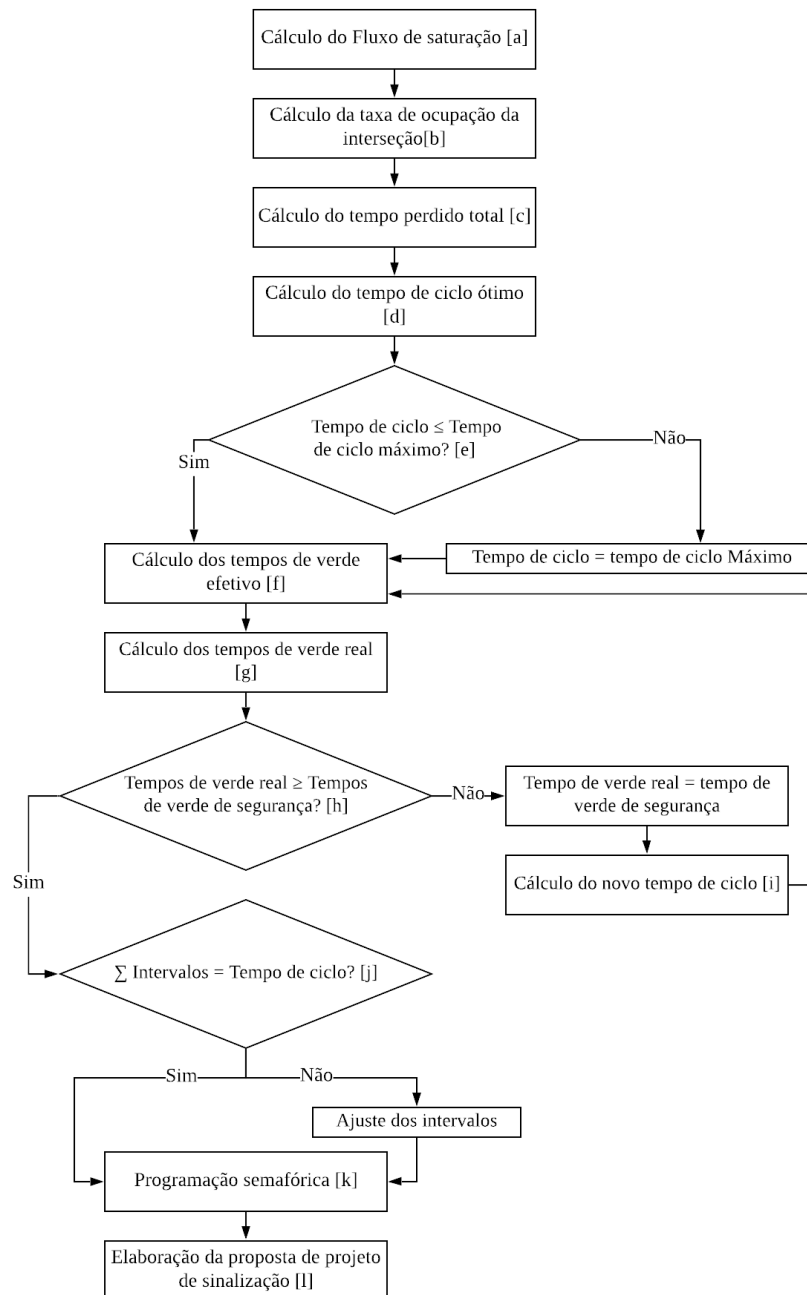
**Tabela 5 - Planilha de contagem direcional e classificatória de veículos, movimento (1)**

| <b>Dados de tráfego da aproximação 1 - Av. Presidente Vargas - Movimento direto (1)</b> |              |                   |                   |                   |              |
|---|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| <b>Quinta (22/04/2021)</b>  |              |                   |                   |                   |              |
| <b>Hora</b>   | <b>Motos</b> | <b>Automóveis</b> | <b>VP 2 eixos</b> | <b>VP 3 eixos</b> | <b>Total</b> |
| 17:00 - 17:15   |              |                   |                   |                   |              |
| 17:15 - 17:30   |              |                   |                   |                   |              |
| 17:30 - 17:45   |              |                   |                   |                   |              |
| 17:45 - 18:00   |              |                   |                   |                   |              |
| 18:00 - 18:15   |              |                   |                   |                   |              |
| 18:15 - 18:30   |              |                   |                   |                   |              |
| <b>Total</b>  |              |                   |                   |                   |              |

### 3.2.2. Dimensionamento Semafórico

Em sequência a coleta e tratamento dos dados obtidos em pesquisa de campo, foi possível dar início ao dimensionamento semafórico para o cruzamento estudado. Para o dimensionamento do plano semafórico, seguiu-se os procedimentos apresentados nos capítulos 6 do Manual Brasileiro de Sinalização Semafórica do DENATRAN (2014) e também se fez uso do método de Webster. Todos os cálculos necessários ao dimensionamento foram feitos em planilha de *Excel* e seguiram as etapas expostas no fluxograma da Figura 16.

**Figura 16- Etapas do dimensionamento**



Fonte: Adaptado de DENATRAN (2014)

[a] Cálculo do Fluxo de saturação: O cálculo do fluxo de saturação realizado de acordo com a Equação 2.

[b] Cálculo da Taxa de ocupação da interseção: foi feito o cálculo da taxa de ocupação de cada grupo de movimentos, sendo eles: o grupo 1, com os movimentos 1 e 2; e o grupo 2, com os movimentos 3 e 4, para isso, foi utilizada a Equação 3.

[c] Cálculo do tempo perdido total: foi utilizada a Equação 7, com a ressalva de que não foram medidos *in loco* os tempos perdidos no início e no fim do estágio. Logo, assumiu-se como tempo perdido o valor do tempo de entreverdes, conforme sugerido por DENATRAN (2014);

[d] Cálculo do tempo de ciclo: utilizou-se a Equação 6.

[e] Tempo de ciclo  $\leq$  tempo de ciclo máximo?: verificação da condição de que o tempo de ciclo deve ser igual ou inferior ao tempo de ciclo máximo, que é de 120 segundos. Quando essa possibilidade não acontecer, deve ser utilizado um tempo de ciclo igual ao tempo de ciclo máximo.

[e] Cálculo dos tempos de verde efetivo: foi feito para cada estágio utilizando-se a Equação 8.

[g] Cálculo dos tempos de verde real: o tempo perdido por estágio foi assumido como igual ao entreverdes correspondente, desse modo, o verde real é igual ao verde efetivo, não sendo necessário a aplicação do cálculo.

[h] Tempos de verde real  $\geq$  tempos de verde de segurança? verificação da condição de que os tempos de verde atribuídos a cada grupo de movimentos, definidos a partir dos tempos de verde de cada estágio, devem ser iguais ou superiores aos respectivos tempos de verde de segurança. Quando isso não ocorre, o tempo do estágio que redundou na insuficiência do verde para algum grupo de movimentos tem que ser aumentado para que o referido grupo passe a dispor de um verde igual ao seu tempo de verde de segurança.

O DENATRAN (2014), afirma que o tempo de verde de segurança para os veículos normalmente varia de 10 a 20 segundos. No presente trabalho adotou-se como referência 20 segundos de tempo de verde de segurança para as aproximações 1 e 2.

[i] Cálculo do novo tempo de ciclo: o tempo de ciclo deve ser recalculado quando o tempo de verde para certo grupo de movimentos resultar inferior ao correspondente verde de segurança, através de métodos específicos para atender o(s) novo(s) tempo(s) de verde imposto(s).

[j]  $\sum$  Intervalos = tempo de ciclo?: verificação da condição de que a soma de todos os intervalos luminosos de um ciclo deve ser igual ao tempo de ciclo. Devido à questão dos arredondamentos nos cálculos intermediários, com isso, há possibilidade de tal condição não ser cumprida. Caso isso não ocorra, o(s) tempo(s) de algum(ns) intervalo(s) deve(m) ser ajustado com a finalidade de coincidir sua soma com o tempo de ciclo, garantindo-se a não alteração dos tempos de entreverdes.

[k] Programação semafórica: os passos anteriores resultaram na programação semafórica pretendida, que será apresentada em forma de diagrama de intervalos luminosos.

[l] Elaboração de proposta de projeto de sinalização, ao final do dimensionamento, foi elaborado um projeto tipo de sinalização semafórica para a interseção, contendo as placas de

regulamentação e os as demarcações de faixas e sinalização horizontal na aproximação da interseção.

### **3.2.3. Análise de cenários alternativos**

Considerando a geometria da interseção, em que Av. Presidente Vargas possui uma faixa destinada a estacionamento e a Rua Carlos Gomes possui duas faixas laterais destinadas a estacionamento, o primeiro cenário alternativo proposto assume um aumento na extensão das calçadas em todas as esquinas da interseção, tal aumento é equivalente a largura das faixas de estacionamento, não impactando na largura útil para o fluxo de veículos. Busca-se com esta análise, verificar se o aumento das calçadas nas esquinas gera um impacto significativo na programação semafórica do cruzamento, principalmente para o pedestre, visando a diminuição dos riscos de acidentes nos intervalos de travessia.

O segundo cenário alternativo proposto, faz análise de um dimensionamento para o fluxo obtido, considerando um valor de ciclo ótimo de 105 s, que é o mesmo ciclo vigente atualmente, verificando as diferenças nos tempos semafóricos obtidos para o cenário 2, com os tempos semafóricos existentes na interseção, afim de confirmar se a programação atual está de acordo com o recomendado pelo Manual do DENATRAN de 2014.

Considerando que os cálculos foram realizados no Excel, isto é, uma vez programada a rotina de cálculo, basta inserir valores nas células para que seja feito o dimensionamento e posteriormente, desenhado o diagrama de estágios. As simulações seguiram na seguinte ordem: A) dimensionamento do semáforo, considerando a diminuição da extensão das vias próximo somente da faixa de pedestre, não impactando nas larguras úteis das faixas principais, o aumento nas larguras das calçadas será proporcional à largura das faixas de estacionamento após a linha de retenção.

B) dimensionamento do semáforo, utilizando um tempo de ciclo ótimo de 105 segundos, valor equivalente ao ciclo total da programação semafórica atual, para assim, analisar as diferenças dos tempos obtidos no cenário com os tempos em vigência na interseção.

## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

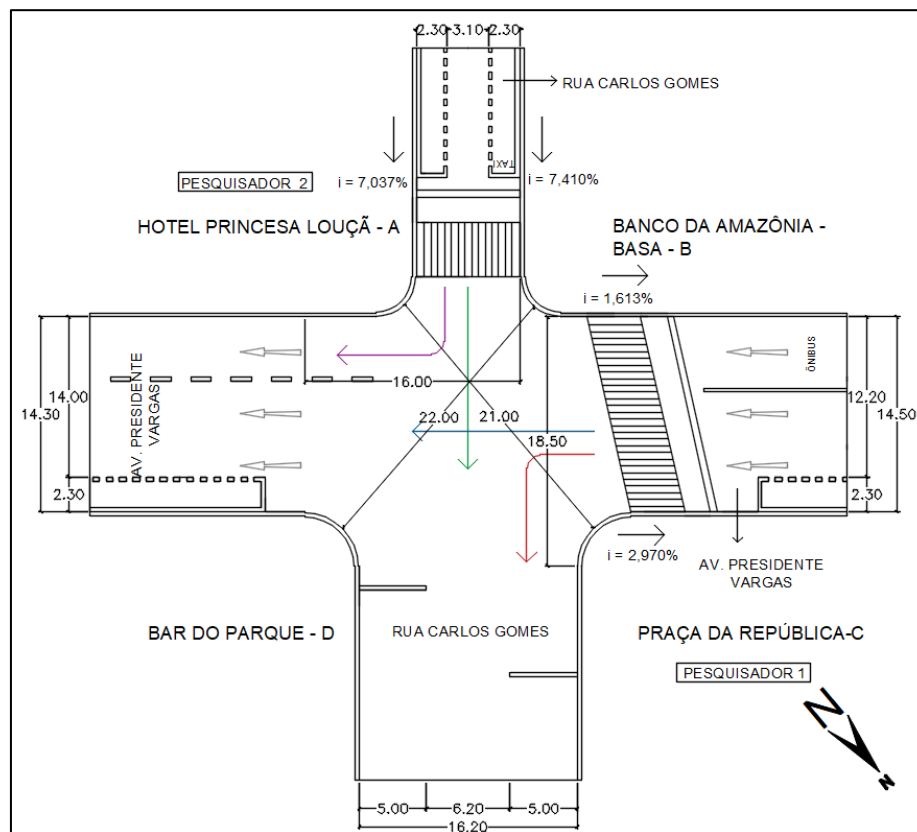
No presente capítulo serão apresentados todos os resultados de cálculo pertinentes ao dimensionamento semaforico, serão também apresentados os parâmetros e argumentos utilizados para realização dos cálculos e a discussão dos cenários alternativos propostos. A fim de otimizar o entendimento dos cálculos feitos, as equações apresentadas no capítulo 2, serão exibidas aqui novamente.

### 4.1. DADOS COLETADO IN LOCO

#### 4.1.1. Larguras e declividades longitudinais das vias e calçadas

A Figura 17 ilustra as medidas obtidas *in loco* para a interseção da Avenida Presidente Vargas com a Rua Carlos Gomes.

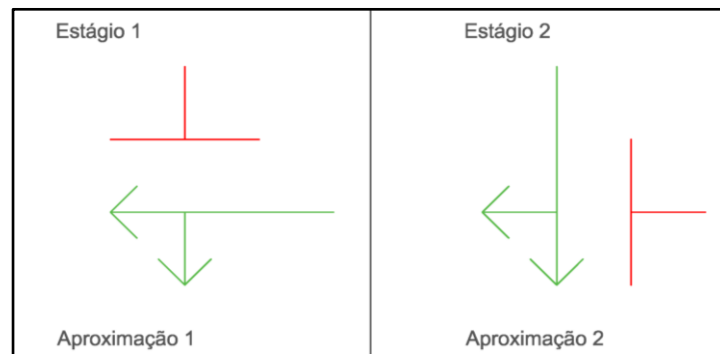
**Figura 17 - Desenho com medidas físicas do cruzamento**



#### 4.1.2. Tempos semaforicos e funcionamento atual dos semáforos vigentes

Atualmente, o cruzamento estudado conta com 2 estágios semaforicos para veículos e possui apenas duas aproximações, cada aproximação contempla 2 movimentos, a Figura 18 representa o diagrama de estágios do cruzamento.

**Figura 18 - Diagrama de estágios do cruzamento**



Foram medidos também, os tempos semafóricos dos estágios que se dividem em quatro fases:

- Fase 1 = Av. Presidente Vargas -Veicular
- Fase 2 = Rua Carlos Gomes – Veicular
- Fase 1 = Rua Carlos Gomes - Basa x Hotel – Pedestre
- Fase 2 =Av. Presidente Vargas Basa x Praça - Pedestre

A Figura 19 exp o diagrama de intervalos luminosos do cruzamento, com o tempo de ciclo de 105 segundos. Nota-se que, que as cores de verde, amarelo e vermelho são diferentes para os dois estágios, dessa forma, há indícios que o dimensionamento semafórico atual foi feito tendo em vista os diferentes fluxos existentes nas duas aproximações do cruzamento, sendo, portanto, condizentes com a realidade, a Presidente Vargas tem maior tempo de verde, pois  preferencial.

**Figura 19 - Diagrama de intervalos luminosos do cruzamento.**

|                                  |                       |    |           |
|----------------------------------|-----------------------|----|-----------|
| Fase 1 - P. Vargas - Veicular    | G=63s                 | 5s | R=37s     |
| Fase 2 - C. Gomes - Veicular     | R=68s                 |    | G=33s     |
| Fase 3 - BASA x Hotel - Pedestre | G=63s                 | 5s | R=37s     |
| Fase 4 - BASA x Praça - Pedestre | R=68s                 |    | G=33s     |
|                                  | Estágio 1             |    | Estágio 2 |
|                                  | 68 s                  |    | 37 s      |
|                                  | Tempo de ciclo = 105s |    |           |
| Legenda:                         |                       |    |           |
| Amarelo ( Y )                    |                       |    |           |
| Verde ( G )                      |                       |    |           |
| Vermelho ( R )                   |                       |    |           |
| Vermelho Piscante ( RP )         |                       |    |           |

Para a programo de intervalos luminosos vigente, nota-se que:

- O tempo de verde da Presidente Vargas é equivalente a 60% do tempo de ciclo total;
- A Carlos Gomes, tem um tempo de verde de 33 segundos, que configura 31,4 % do tempo de ciclo total.

- O tempo de amarelo para a Avenida Presidente Vargas é de 5s, enquanto para a Rua Carlos Gomes é de 4s.
- O tempo de verde para pedestre na travessia da Presidente Vargas é equivalente a 31,43%, enquanto o tempo de verde para a travessia da Carlos Gomes é de 60% do tempo de ciclo total;
- Durante as medições, foi verificado que a programação atual não possui tempo de vermelho geral.
- O tempo de vermelho intermitente do semáforo de pedestre para a travessia da Presidente Vargas é de 5s e o para a travessia da Carlos Gomes é de 4s, correspondendo aos tempos de amarelos dos semáforos veiculares das duas aproximações. Identifica-se, portanto, a partir dessa informação, que a programação semafórica não deve ter sido dimensionada à luz do manual mais recente de sinalização semafórica do DENATRAN (2014).

Tendo em vista a não ocorrência de tempo vermelho geral, a existência de um tempo de vermelho piscante dos semáforos de pedestres muito rápidos, acreditasse que a atual programação semafórica existente pode não ter sido feita a luz do Manual do DENATRAN de 2014.

#### **4.1.3. Contagem do fluxo veicular direcional e classificatória**

Durante as contagens, verificou-se o alto tráfego de ônibus na Avenida Presidente Vargas, a Rua Carlos Gomes por outro lado, tem um tráfego quase que exclusivo de automóveis e motos.

Finalizadas as contagens, com dados completos disponível no Apêndice A e B, foi possível verificar qual o horário de maior volume de tráfego equivalente na interseção estudada.

A verificação foi feita da seguinte forma:

- 1) primeiramente, obteve-se o volume de tráfego equivalente das aproximações, na unidade ucp, através da multiplicação do tipo de veículo por seu respectivo fator de equivalência, de acordo com a Tabela 2. Em seguida, foi feita a análises dos volumes de veículos medidos através da soma da quantidade de veículos por hora, para assim, determinar o volume da hora-pico (representado na Tabela 6), seguindo as orientações presentes no manual do DENATRAN (2014). Observa-se que foi considerado para o dimensionamento, os valores obtidos na coleta do dia 22 de abril (quinta-feira), por ser um dia útil, com valores mais compatíveis coma realidade diária da interseção.

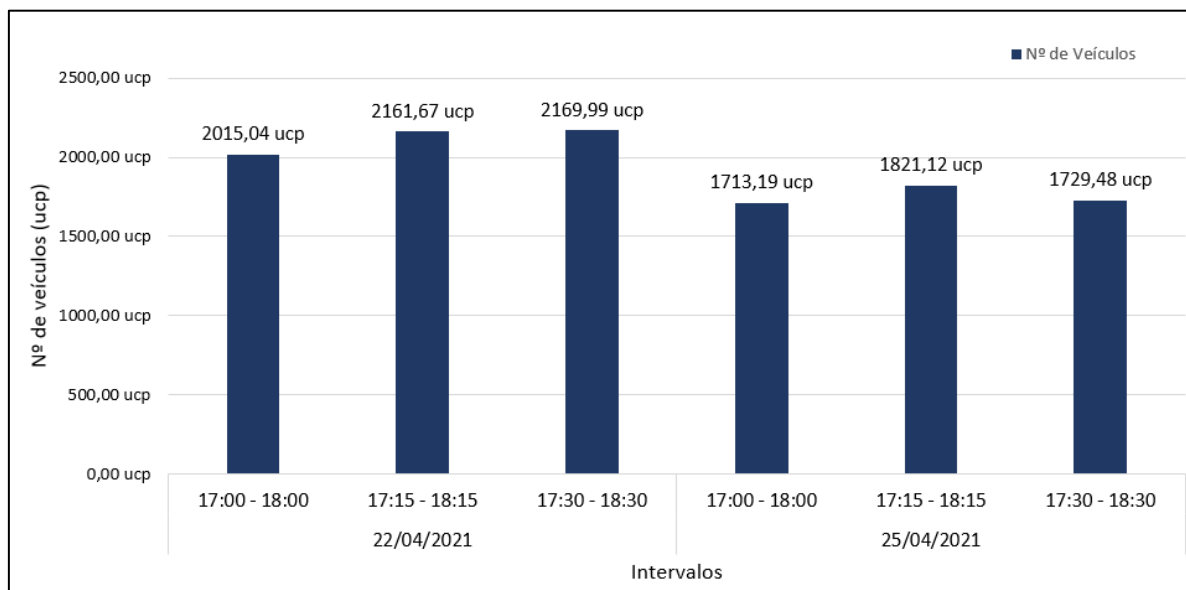
**Tabela 6 – Determinação do volume da hora pico**

| Determinação do fluxo da hora-pico - Dia 22/06/2021 (Quinta- Feira) |                           |   |  |                           |                  |
|---|---------------------------|---|--|---------------------------|------------------|
| Tipo de Movimento   | Movimento                 | Conversão à esquerda - Av. Pres. Vargas | Conversão à direita - Rua Carlos Gomes | Movimento                 | Volumes por hora |
|   | direto - Av. Pres. Vargas |   |  | direto - Rua Carlos Gomes |                  |
| Horário da  | Nº médio de               | Nº médio de                             | Nº médio de                            | Nº médio de               | Nº médio de      |
| 17:00-18:00   | 1588,79                   | 75,25                                   | 283,41                                 | 67,59                     | 2015,04          |
| 17:15-18:15   | 1709,78                   | 80,58                                   | 299,4                                  | 71,91                     | 2161,67          |
| 17:30-18:30   | 1719,80                   | 82,24                                   | 297,39                                 | 70,56                     | 2169,99*         |

\*maior volume veicular medido

A partir da análise, obteve-se a hora-pico do intervalo de 17:00 – 18:30, é no horário das 17:30 às 18:30, com um volume médio de 2169,99 ucp.

Foram feitos os procedimentos apresentados para as duas contagens realizadas. O histograma do Gráfico 1 representa os fluxos obtidos de cada contagem, destacando o horário de maior movimento de cada uma.

**Gráfico 1 - Histograma de fluxo**

Ao analisar o Gráfico 1, observa-se que:

- No período de pico da tarde, o menor fluxo ocorre das 17:00h às 18:00h e, o maior, das 17:30h às 18:30h, com pouca diferença em relação ao horário de 17:15 às 18:15.
  - Aos domingos, no horário de pico do meio do dia, o maior fluxo veicular é das 11:15 às 12:15 e o horário de menor fluxo é das 11:30 às 12:30;
- 2) em seguida, determinou-se o fluxo de veículos (ucp/hora) de cada aproximação da interseção, apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7 – Fluxo de Veículos da Av. Presidente Vargas e da Rua Carlos Gomes**

| <b>Dia 22/04/2021 – Hora-Pico de 17:30 - 18:30</b> |                                |
|--|--------------------------------|
| <b>Via</b>   | <b>Fluxo de veículos (v/h)</b> |
| <b>Avenida Presidente Vargas</b>                   | 1802,04                        |
| <b>Rua Carlos Gomes</b>                            | 367,95                         |

#### 4.2. DIMENSIONAMENTO SEMAFÓRICO

##### 4.2.1. Determinação do fluxo de saturação pelo método da estimativa de Webster

O fluxo de saturação foi obtido pelo método de estimativa proposto por Webster, para tal, foi utilizada a Equação 2.

$$S = 525 \times L \quad (2)$$

Sabendo que, tanto a Avenida Presidente Vargas quando a Rua Carlos Gomes possui faixa de estacionamento, as larguras (L) utilizadas para cálculo do fluxo de saturação foram somente as das faixas de tráfego, de acordo com o apresentado na Tabela 8. Tendo em vista que a largura da Rua Carlos Gomes é inferior a 5,5 m, foi assumido o fluxo de saturação para a largura de 3,0 metros, presente na Tabela 3.

**Tabela 8 - Fluxo de Saturação dos movimentos**

| <b>Aproximação</b>        | <b>Largura</b> | <b>FS</b>     |
|---------------------------|----------------|---------------|
| Avenida Presidente Vargas | 12,20          | 6405,00 ucp/h |
| Rua Carlos Gomes          | 3,10           | 1850,00 ucp/h |

##### 4.2.2. Cálculo da taxa de ocupação

Para determinação da taxa de ocupação da interseção foi utilizada a Equação 3.

$$y = \frac{F}{FS} \quad (3)$$

Em que, dividiu-se o fluxo de veículos obtido *in loco*, pelo fluxo de saturação calculado através da Equação 2. A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos para cada aproximações do cruzamento.

**Tabela 9 - Taxa de ocupação de cada aproximação.**

| <b>Aproximação</b>        | <b>Fluxo de veículos -F</b> | <b>Fluxo de Saturação- FS</b> | <b>Taxa de ocupação - y</b> |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Avenida Presidente Vargas | 1802,04                     | 6405,00                       | 0,28135                     |
| Rua Carlos Gomes          | 367,95                      | 1850,00                       | 0,19889                     |

Em que, o valor da taxa de ocupação para a interseção é de:

$$y = 0,4802$$

Nota-se que a aproximação com maior taxa de ocupação, é a da Av. Presidente Vargas, o que se justifica, pois a mesma é a via prioritária. Obtidos os valores de  $y_{pv}$  e  $y_{cg}$  e o  $\Sigma y$ , é possível calcular o tempo de ciclo ótimo e os valores de verde efetivo.

### 4.2.3. Cálculo do tempo perdido total

O cálculo do tempo perdido total foi feito utilizando-se a Equação 4.

$$L = t_{ent,p} + t_{ent,i} \quad (4)$$

Para cálculo do tempo perdido total, foi necessário o cálculo dos tempos de entreverdes para os pedestres (Equação 6), para o estágio da Avenida Presidente Vargas (Equação 5) e para a Rua Carlos Gomes (Equação 5).

Tendo em vista que a programação semafórica elaborada é para a condição de que seja implantada a travessia em diagonal no cruzamento da Av. Presidente Vargas com a Rua Carlos Gomes, para o cálculo do entreverdes de pedestres, foi considerada a maior diagonal existente (diagonal crítica), que é do Basa para o Bar do Parque e vice-versa, com 22 metros de extensão (de acordo com a Figura 17). Para o cálculo do entreverdes para pedestres, foram considerados os valores de referência abaixo apresentados e aplicados na Equação 6.

Dado que:  $t_{verde} = 5$  s (assumido);  $t_{pr} = 1$  s (padrão);  $L = 22$  metros (largura da diagonal maior);  $V_p = 1,2$  m/s (velocidade padrão de caminhada do pedestre);  $t_{v,geral} = 1$  s (tempo de vermelho geral para pedestres).

$$t_{ent,p} = t_{pr} + \frac{L}{V_p} \quad (6)$$

$$t_{ent,p} = 1 + \frac{22}{1,2} = 19,33 \text{ s}$$

$$t_{total,ped} = t_{ent,p} + t_{verde,p} + t_{v,geral} = 19,33 + 5 + 1 = 25,33$$

$$t_{total} = 26 \text{ segundos}$$

Para cálculo do entreverdes da Avenida Presidente Vargas, utilizou-se a Equação 5, aplicando as medidas físicas do cruzamento, apresentadas na Figura 17.

Dado que:  $t_{pr} = 1$  s (padrão);  $v = 13,89$  m/s (velocidade máxima da via de 50 km/h para m/s);  $a_{ad} = 3$  m/s<sup>2</sup> (máxima taxa de frenagem admitida em via plana);  $i = -2,292\%$  (média das duas inclinações encontradas na via, declive);  $g = 9,8$  m/s<sup>2</sup> (aceleração da gravidade);  $d_2 = 16$  m (extensão da trajetória do veículo entre a linha de retenção e o término da área de conflito) e;  $c = 5$  m (comprimento do automóvel);

$$t_{ent,pv} = t_{pr} + \left( \frac{v}{2 \times (a_{ad} \pm ig)} \right) + \left( \frac{d_2 + c}{v} \right) \quad (5)$$

$$t_{ent,pv} = 1 + \left( \frac{13,89}{2 \times (3,0 - 2,292\% \times 9,8)} \right) + \left( \frac{16+5}{13,89} \right) =$$

$$t_{ent,pv} = 1 + 2,40 + 1,512$$

Sabendo que o tempo de amarelo é a soma das duas primeiras parcelas e o tempo de vermelho geral é a última parcela da Equação 5, tem-se que:

$$t_{am} = 3,40 = 4 \text{ segundos (mínimo para vias de } 50 \frac{km}{h} \text{)}$$

$$t_{verm,g} = 1,512 \therefore 2 \text{ segundos}$$

$$t_{ent,pv} = 6 \text{ segundos}$$

Para cálculo do entreverdes da Rua Carlos Gomes, utilizou-se a Equação 5, aplicando os dados apresentados no desenho com medidas físicas do cruzamento (Figura 17).

Dado que:  $t_{pr} = 1$  s (padrão);  $v = 11,11$  m/s (velocidade máxima da via de 40 km/h para m/s);  $a_{ad} = 3$  m/s<sup>2</sup> (máxima taxa de frenagem admitida em via plana);  $i = 7,224\%$  (média das duas inclinações encontradas na via, aactive);  $g = 9,8$  m/s<sup>2</sup> (aceleração da gravidade);  $d_2 = 18,5$  m (extensão da trajetória do veículo entre a linha de retenção e o término da área de conflito) e;  $c = 5$  m (comprimento do automóvel);

$$t_{ent,cg} = t_{pr} + \left( \frac{v}{2 \times (a_{ad} \pm ig)} \right) + \left( \frac{d_2 + c}{v} \right) \quad (5)$$

$$t_{ent,cg} = 1 + \left( \frac{11,11}{2 \times (3,0 + 7,224\% \times 9,8)} \right) + \left( \frac{18,5+5}{11,1} \right) =$$

$$t_{ent,cg} = 1 + 1,66 + 2,11$$

Sabendo que o tempo de amarelo é a soma das duas primeiras parcelas e o tempo de vermelho geral é a última parcela da Equação 5, tem-se que:

$$t_{am} = 2,66 = 3 \text{ segundos (mínimo para vias de } 40 \frac{km}{h} \text{)}$$

$$t_{verm,g} = 2,11 \therefore 2 \text{ segundos}$$

$$t_{ent,cg} = 5 \text{ segundos}$$

Com os valores de entreverdes calculados, segue o cálculo do tempo perdido total com aplicação na Equação 4.

$$L = t_{ent,p} + t_{ent,pv} + t_{ent,cg} \quad (4)$$

$$L = 26 \text{ s} + 6 \text{ s} + 5 \text{ s} = 37 \text{ s}$$

Sendo assim, o tempo perdido total é de 37 segundos.

#### 4.2.4. Cálculo do tempo de ciclo ótimo

O tempo de ciclo ótimo foi calculado através da Equação 7.

Dado que:  $t_p = 37$  s (tempo pedido total);  $\Sigma y = 0,4802$ ;

$$t_{co} = \frac{1,5 \times t_p + 5}{1 - \Sigma_{i=1}^n y_i} \quad (7)$$

$$t_{co} = \frac{1,5 \times 37 + 5}{1 - 0,4802}$$

$$t_{co} = 116,40 \text{ segundos} = 116 \text{ segundos}$$

Seguindo orientações de arredondamento, presente no Manual do DENATRAN (2014), assume-se o tempo de ciclo ótimo como 116 segundos.

#### 4.2.5. Cálculo do tempo de verde efetivo e tempo de verde real

Obtidos os valores de tempo perdido ( $t_p$ ), o tempo de ciclo ótimo ( $t_{co}$ ) e os valores de taxa de ocupação, o tempo de verde total foi calculado pela Equação 10 e o tempo de verde efetivo para cada aproximação foi calculado utilizando a Equação 8.

Dado que:  $t_{co} = 116$  s e  $L = 37$ s;

$$G_t = t_{co} - L \quad (10)$$

$$G_t = 116 - 37$$

$$G_t = 79 \text{ segundos}$$

O tempo de verde efetivo da Avenida Presidente Vargas e da Carlos Gomes, como supracitado, foram calculados através da Equação 8.

Dado que:  $y_{pv} = 0,28135$ ;  $y_{cg} = 0,19889$ ;  $\Sigma y = 0,4802$ ;  $t_c = 116$  s; e  $t_p = 37$  s.

$$t_{v,efet,pv} = (t_c - t_p) \times \left( \frac{y_i}{\Sigma_{i=1}^n y_i} \right) \quad (8)$$

$$t_{v,efet,pv} = (116 - 37) \times \left( \frac{0,28135}{0,4802} \right) =$$

$$t_{v,efet,pv} = 46,28 \text{ segundos} \therefore 46 \text{ segundos}$$

$$t_{v,efet,cg} = (t_c - t_p) \times \left( \frac{y_i}{\Sigma_{i=1}^n y_i} \right) \quad (8)$$

$$t_{v,efet,cg} = (116 - 37) \times \left( \frac{0,19889}{0,4802} \right) =$$

$$t_{v,efet,cg} = 32,72 \text{ segundos} \therefore 33 \text{ segundos}$$

Tendo em vista que não foram feitas as medições de tempo perdido de início e fim *in loco*, o tempo perdido foi assumido como igual ao entreverdes correspondente, assim sendo, todos os verdes reais são equivalentes aos verdes efetivos.

$$t_{v,real,pv} = 46 \text{ segundos}$$

$$t_{v,real,cg} = 33 \text{ segundos}$$

Definidos os tempos de verde real, verificou-se que estes atendiam a condição [h] do fluxograma da Figura 16, isto é, o tempo de verde real de cada aproximação é maior que seus respectivos tempos de segurança.

#### 4.2.6. Programação semafórica

A Figura 20 mostra o diagrama de fases obtido para o novo dimensionamento feito para o cruzamento da Av. Presidente Vargas com a Rua Carlos Gomes, considerando neste, a inclusão do estágio 3, no qual possui a configuração de todos os semáforos veiculares em vermelho e todos os semáforos para pedestres em aberto, possibilitando assim, a travessia em diagonal, do Basa para o Bar do Parque e do Hotel para a Praça ou ao contrário.

**Figura 20 - Programação semafórica para inclusão da travessia em diagonal.**

|                                  |  |             |                 |
|----------------------------------|--|-------------|-----------------|
| Fase 1 - P. Vargas - Veicular    | G=46s<br>4s  | R=36s       | R=25s           |
| Fase 2 - C. Gomes - Veicular     | R=50s  | G=33s<br>3s | R=25s           |
| Fase 3 - BASA x Hotel - Pedestre | G=43s<br>RP=7 s  | R=36s       | G=26s           |
| Fase 4 - BASA x Praça - Pedestre | R=50s  | G=50s       | RP=13s          |
| Fase 5 - Travessia em diagonal   | R=50s  | R=36s       | G=5s<br>RP =20s |
|                                  | Estágio 1  | Estágio 2   | Estágio 3       |
|                                  | 52 s   | 38 s        | 26 s            |
|                                  | Tempo de ciclo = 116 s   |             |                 |
| Legenda:                         | Observação: O vermelho geral dos Estágios 1 e 2 são de 2 s e o vermelho geral do Estágio 3 é de 1 s. |             |                 |
| Amarelo ( Y )                    |  |             |                 |
| Verde ( G )                      |  |             |                 |
| Vermelho ( R )                   |  |             |                 |
| Vermelho Piscante ( RP )         |  |             |                 |
| Vermelho Geral ( RG )            |  |             |                 |

Nota-se que, comparando o Diagrama de intervalos dimensionado com o Diagrama atualmente vigente no cruzamento (Figura 20):

- Houve um aumento de apenas 11 segundos no tempo de ciclo;
- O tempo de amarelo também sofreu mudança em todas as fases veiculares, reduzindo de 5 s para 4 s na fase 1 e de 4 s para 3 s na fase 2;
- Na fase 1, o tempo de verde foi reduzido de 63 segundos para 46 segundos, equivalendo agora, a 39,65% do ciclo total;
- Na fase 2, o tempo de verde permaneceu em 33 s, contudo, considerando o aumento de ciclo, a proporção do tempo de verde diminuiu, sendo agora 28,45% do tempo de ciclo;
- Na fase 3, o tempo de verde teve um aumento de 6 segundos sendo a proporção de 59,48% do tempo de ciclo total e, com o vermelho piscante aumentando de 4s para 7s segundos;

- A fase 4, o tempo de luz verde aumentou de 33 s para 50 s, sendo 43,96% do ciclo total e, o tempo de vermelho piscante aumentou de 4 s para 13s;
- A fase 5, incluída, ficou com um tempo de verde de 5 s e um tempo de vermelho piscante de 20 s, sendo este estágio, o tempo de vermelho geral para todos os veículos e o período onde todos os pedestres poderão atravessar as mesmo tempo;
- Para todas as fases, foi programado o tempo de vermelho geral que nos estágios 1 e 2, são de 2 s e no estágio 3, é de 1 s;

Verifica-se que para o dimensionamento, houve um aumento no tempo de verde e de vermelho piscante para o pedestre, além da redução no tempo de vermelho, reduzindo os tempos de espera, o aumento no tempo de verde para os pedestres, é decorrente da utilização da maior diagonal do cruzamento como referência, pois a mesma considera o pior cenário de travessia, em que o pedestre precisará de mais tempo para completar o objetivo. Para o pedestre, esse resultado é excelente, pois afeta diretamente na segurança dos mesmos, além da inclusão da travessia em diagonal, que disponibilizará uma redução no tempo de caminhada para aqueles que precisarem efetuar duas travessias na interseção.

Contudo, em relação aos motoristas, o resultado não foi muito favorável, em vista da diminuição do verde efetivo do sinal da Presidente Vargas e do aumento no tempo de vermelho para ambos, ocasionando um maior tempo de espera no cruzamento. As medições foram feitas em uma época atípica, de pandemia mundial instaurada pelo SARS-COV-2, pode ter influenciado nos resultados de fluxo veicular obtido para a interseção.

Sabendo que a programação vigente não possui tempos de vermelho geral e que os vermelhos intermitentes dos pedestres são equivalentes aos tempos de amarelo, chegou-se a conclusão que a programação atual não foi feita fundamentada no Manual do DENATRAN de 2014, apresentando com isso, a necessidade de atualização da programação.

É notório na programação alcançada que o pedestre ganhou tempo, pois agora, com a inclusão da fase 5, que é a travessia em diagonal, o pedestre passou ter disponível 12 possibilidades de travessia, na situação vigente, são disponíveis apenas quatro travessias seguras, vê-se na Tabela 10 as travessias possíveis atualmente e as travessias para a nova configuração proposta.

**Tabela 10 - Possibilidades de travessias atuais x possibilidades de travessias da proposta do trabalho**

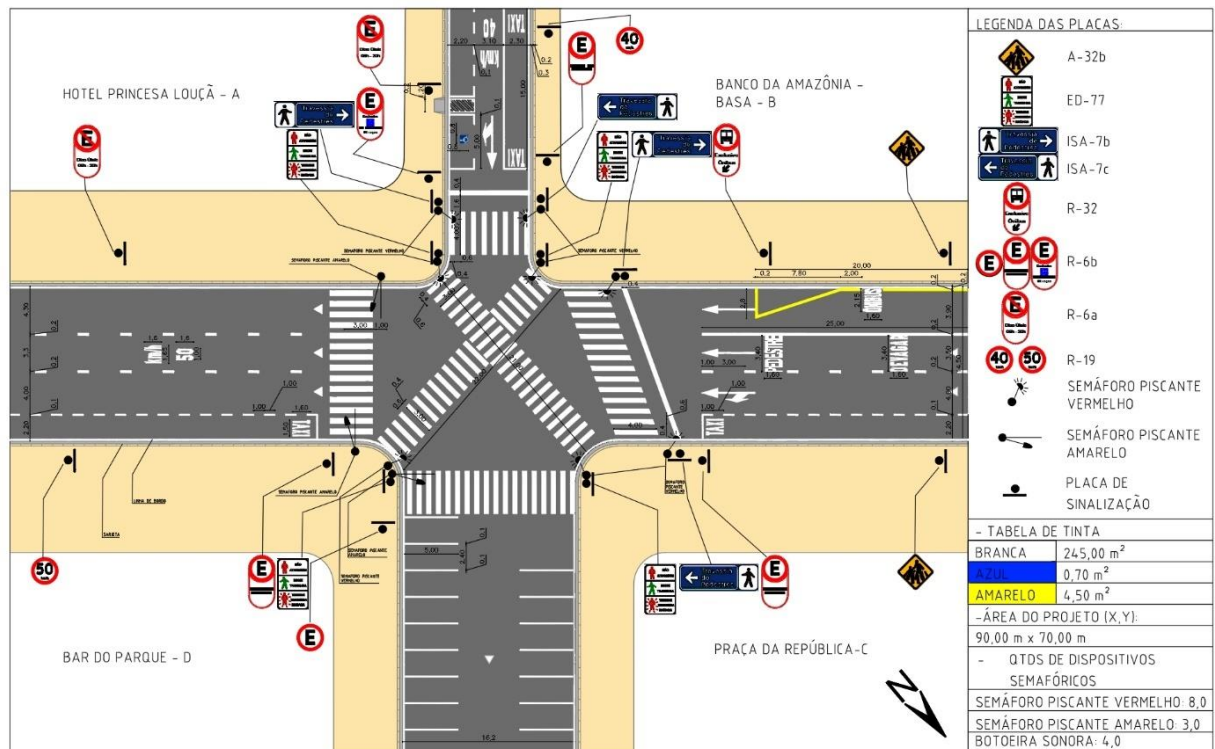
| <b>Possibilidade de travessias atuais</b> | <b>Possibilidade de travessias da proposta do trabalho</b> |
|---|--|
| Basa → Praça da República                 | Basa → Praça da República                                  |
| Praça da República → Basa                 | Praça da República → Basa                                  |
| Basa → Hotel Princesa Louçã               | Basa → Hotel Princesa Louçã                                |
| Hotel Princesa Louçã → Basa               | Hotel Princesa Louçã → Basa                                |
|   | Basa → Bar do Parque                                       |
|   | Bar do Parque → Basa                                       |
|   | Hotel Princesa Louçã → Praça da República                  |
|   | Praça da República → Hotel Princesa Louçã                  |
|   | Hotel Princesa Louçã → Bar do Parque                       |
|   | Bar do Parque → Hotel Princesa Louçã                       |
|   | Bar do Parque → Praça da República                         |
|   | Praça da República → Bar do Parque                         |

Face a proporcional redução do tempos semafóricos para veículos e considerando que o fluxo de pedestre é elevado somente em horários de picos e aos domingos, em detrimento da feira que ocorre na Praça, propõe-se que a travessia em X funcione obrigatoriamente somente aos domingo, nos dias úteis e aos sábados, sugere-se que a travessia funcione mediante acionamento da botoeira e, recomenda-se que sejam implantadas placas de sinalização vertical (ED-77) junto à botoeira, para informar ao pedestre a necessidade do acionamento para a possibilidade de travessia.

#### **4.2.7. Proposta de Projeto de Sinalização**

De posse dos da programação dos tempos semafóricos para os semáforos de veículos e de pedestre, propõem-se um projeto de sinalização para a interseção da Avenida Presidente Vargas e da Rua Carlos Gomes, que contará com a inclusão da travessia em diagonal e com a implantação de botoeiras sonoras, com todas as placas de sinalização vertical pertinentes às características físicas do cruzamento (Resolução N° 160/04 do CONTRAN, Anexo II do CTB). Segue na Figura 21 o projeto em toda a sua extensão e que posteriormente, será detalhado por trecho, para uma melhor visibilidade.

**Figura 21- Planta Baixa do Projeto tipo de sinalização do cruzamento Av. Presidente Vargas com a Rua Carlos Gomes**



Como é possível visualizar, é feita na parte de observações a legenda de todas as placas normativas que devem ser implantadas no cruzamento, muitas delas, atualmente inexistentes, na parte de observações, é apresentado também o levantamento da área quadra de tintas para a execução das demarcações no cruzamento e os quantitativos de dispositivos semafóricos. Para melhor visualização dos materiais presentes no projeto, fez-se a Tabela 10.

**Tabela 11 – Resumo de quantitativos de projeto**

| Resumo de área de tinta            |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| Descrição                          | Quantidade            |
| Tinta acrílica Branca              | 245,00 m <sup>2</sup> |
| Tinta acrílica Azul                | 0,70 m <sup>2</sup>   |
| Tinta acrílica Amarela             | 4,50 m <sup>2</sup>   |
| Resumo de Dispositivos semafóricos |                       |
| Decrição                           | Quantidade            |
| Semáforo piscante vermelho         | 8,00 un               |
| Semáforo piscante amarelo          | 3,00 un               |
| Botoeira sonora                    | 4,00 un               |

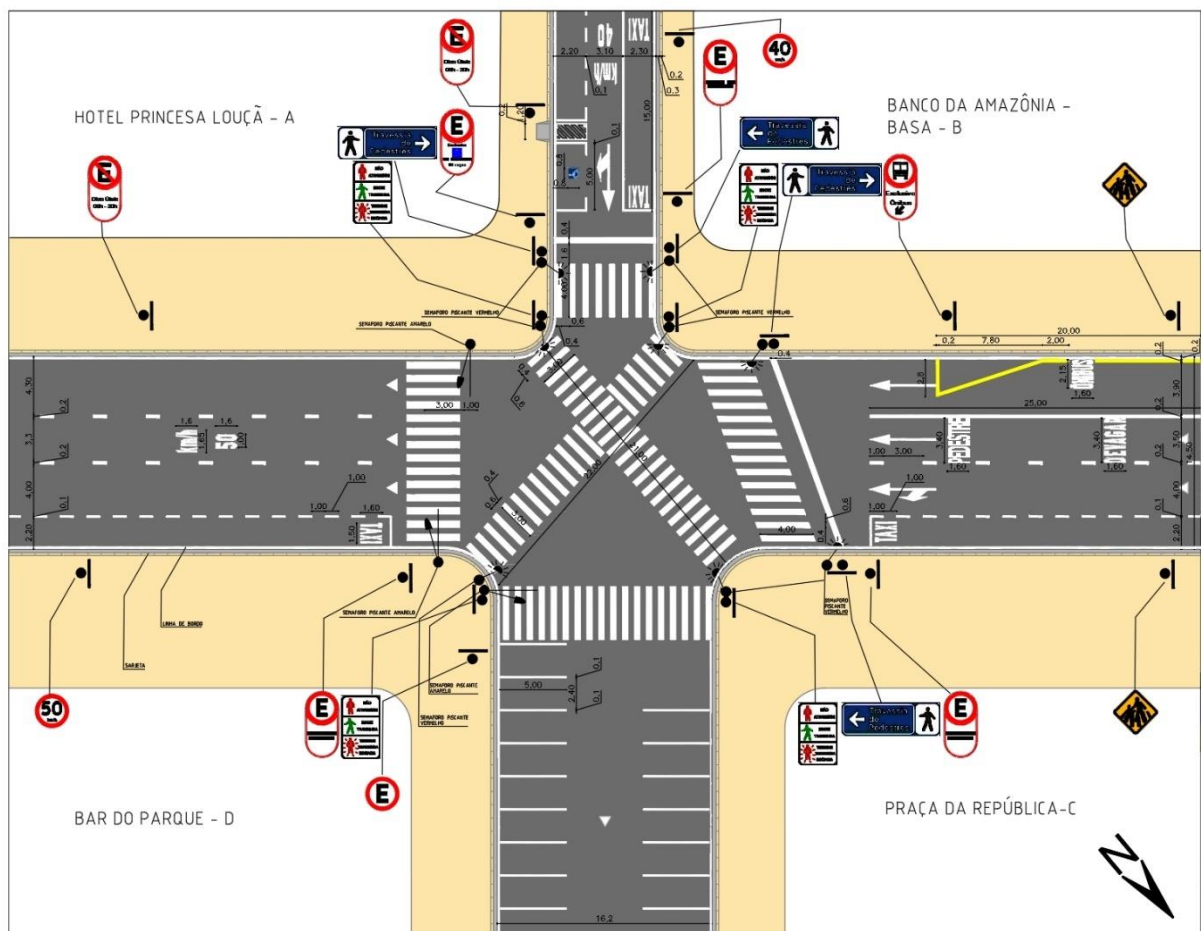
Evidencia-se que durante as visitas *in loco* para verificação das condições de trafegabilidade e levantamento das características locais, notou-se algumas instalações (ou

faltas delas) que não estão de acordo com as orientações do Manual do DENATRAN e que foram projetadas no projeto elaborado, os quais são:

- Não há demarcação amarela na via, informando as delimitações da parada de ônibus.
- Próximo à vaga destinada a deficientes não há a presença de rampa e nem de demarcação ao lado da vaga para não permitir estacionamento e possibilitar a passagem destes.
- As linhas de divisão de fluxo e a faixa de pedestre da via principal estão praticamente apagadas.
- As sarjetas estão com diversos problemas estruturais, como buracos, rachaduras, etc. Podendo oferecer riscos ao pedestre no momento da travessia.

Verifica-se na Figura 22, a ampliação somente do desenho técnico, excluindo a parte de legendas e resumo, para possibilitar uma visualização mais satisfatória do leitor.

**Figura 22 - Projeto tipo ampliado somente na área de desenho**



Nota-se que foram propostas em projeto, a instalação de mais 4 novos semáforos para pedestres, todos esses, acompanhado de botoeiras sonoras e de placas de regulamentação para as botoeiras e com configuração apropriada para a travessia em diagonal. Dessa forma, totalizando um total de 8 semáforos para pedestres e 3 semáforos para veículos do tipo Braço

Projetado, 1 para a aproximação da Rua Carlos Gomes e 2 para a aproximação da Avenida Presidente Vargas, por esta ter largura superior a 10,50 metros, atualmente, a interseção já é contemplada por esse quantitativo de semáforos veiculares.

#### **4.2.8. Verificação da viabilidade de inclusão da travessia em diagonal**

Para análise da necessidade de implantação considerando o fator pedestre, foram considerados os valores de referência apresentados na Tabela 1 do Manual do DENATRAN de 1984, em que, para que seja implantado o semáforo para pedestres no cruzamento, deve-se ter um fluxo acima de 250 pedestre/hora na via em ambos os sentidos. Dessa forma, foi efetuada a contagem de pedestres para todas as travessias existentes no cruzamento (ver Figura 12), inclusive as não semaforizadas, para dois dias da semana, dia 21 de abril (quarta-feira) e para o dia 25 de abril (domingo), dados das coletas disponíveis nos Apêndices C e D.

Foram considerados para a verificação, os valores obtidos para o domingo, pois é um dia com fluxo de pedestre bastante elevado, que precisa de atenção voltada para a segurança dos que trafegam pela área.

**Tabela 12 – Volume de pedestre no cruzamento da Presidente Vargas com a Carlos Gomes**

| <b>Período</b>        | <b>Sentido A-B</b>   | <b>Sentido B-A</b>  | <b>Total</b> |
|-----------------------|----------------------|---------------------|--------------|
| <b>10:00 -11:00h</b>  | 132                  | 124                 | 256*         |
| <b>10:15 - 11:15h</b> | 174                  | 124                 | 298*         |
| <b>10:30 - 11:30h</b> | 143                  | 109                 | 252          |
| <b>10:45 - 11:45h</b> | 139                  | 93                  | 232          |
| <b>11:00 - 12:00h</b> | 136                  | 101                 | 237          |
| <b>11:15 - 12:15h</b> | 134                  | 95                  | 229          |
| <b>11:30 - 12:30h</b> | 124                  | 101                 | 225          |
| <b>Período</b>        | <b>Sentido A - C</b> | <b>Sentido C -A</b> | <b>Total</b> |
| <b>10:00 -11:00h</b>  | 9                    | 13                  | 22           |
| <b>10:15 - 11:15h</b> | 4                    | 13                  | 17           |
| <b>10:30 - 11:30h</b> | 3                    | 22                  | 25           |
| <b>10:45 - 11:45h</b> | 2                    | 18                  | 20           |
| <b>11:00 - 12:00h</b> | 3                    | 23                  | 26           |
| <b>11:15 - 12:15h</b> | 5                    | 25                  | 30           |
| <b>11:30 - 12:30h</b> | 12                   | 15                  | 27           |
| <b>Período</b>        | <b>Sentido B - D</b> | <b>Sentido D -B</b> | <b>Total</b> |
| <b>10:00 -11:00h</b>  | 107                  | 108                 | 215          |
| <b>10:15 - 11:15h</b> | 115                  | 107                 | 222          |
| <b>10:30 - 11:30h</b> | 132                  | 104                 | 236          |
| <b>10:45 - 11:45h</b> | 139                  | 100                 | 239          |
| <b>11:00 - 12:00h</b> | 136                  | 99                  | 235          |
| <b>11:15 - 12:15h</b> | 130                  | 102                 | 232          |
| <b>11:30 - 12:30h</b> | 123                  | 94                  | 217          |
| <b>Período</b>        | <b>Sentido C-D</b>   | <b>Sentido D-C</b>  | <b>Total</b> |
| <b>10:00 -11:00h</b>  | 352                  | 359                 | 711*         |
| <b>10:15 - 11:15h</b> | 354                  | 454                 | 808*         |
| <b>10:30 - 11:30h</b> | 346                  | 369                 | 715*         |
| <b>10:45 - 11:45h</b> | 358                  | 369                 | 727*         |
| <b>11:00 - 12:00h</b> | 368                  | 359                 | 727*         |
| <b>11:15 - 12:15h</b> | 379                  | 366                 | 745*         |
| <b>11:30 - 12:30h</b> | 388                  | 372                 | 760*         |

\*Volumes acima do volume de referência.

Observa-se que há uma grande demanda de travessia do ponto de referência C (Bar do Parque) para o ponto D (Praça da República), afirmando a viabilidade de implantação da travessia em diagonal na interseção, pois essa travessia não possui semaforização, com a inclusão da modalidade de travessia em diagonal, há um o fechamento de todos os semáforos para veículos, possibilitando a travessia desses pedestres em segurança. Observa-se também, que são feitas travessias do ponto A (Hotel Princesa Louça) para o ponto C (Bar do Parque), uma travessia onde não possui semaforização também, em que os pedestres fazem tal travessia de maneira imprudente, conferindo assim, a necessidade da inclusão da travessia em diagonal.

Como já abordado no tópico de dimensionamento, houve uma redução de tempo de 60% de verde (programação atual) para 39,65% de verde (programação proposta) para o semáforo veicular da Presidente Vargas e, uma redução de 31,4% (programação atual) para 28,45% no tempo de verde para o semáforo veicular da rua Carlos Gomes, em relação aos respectivos tempos de ciclo totais.

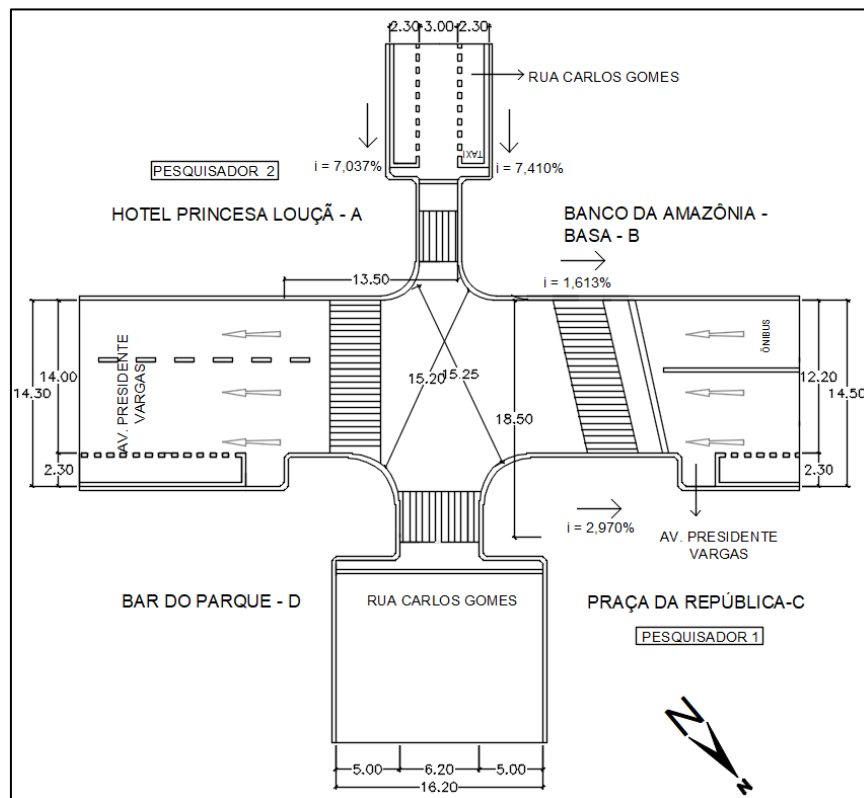
Verifica-se que não houve uma mudança significativa para o tempo de verde veicular na Carlos Gomes, já para a Presidente Vargas, a mudança foi representativa. Contudo, justifica-se a nova programação semaforica e a implantação da travessia em diagonal, pelo alto fluxo de pedestres existente na via e visando a adequação da programação à luz do Manual do DENATRAN (2014).

#### 4.3. ANÁLISE DOS CENÁRIOS ALTERNATIVOS

##### 4.3.1. Cenário 1

Primeiramente, foi feita uma simulação de dimensionamento do semáforo considerando a diminuição das faixas de pedestre, a área diminuída é equivalente a largura das vagas de estacionamento existentes atualmente, logo, não foi reduzida a área das faixas de fluxo veicular. Na Figura 23 é representado o cenário com o aumento das calçadas nas esquinas da interseção.

**Figura 23 - Cenário com o aumento das calçadas nas esquinas da interseção**



Tendo em vista a mudança da diagonal maior (de 22 metros para 15,25 metros), que vem sendo a utilizada para cálculo da programação semafórica no presente trabalho, foi feito o recálculo da programação e os novos valores obtidos estão representados na Figura 24.

**Figura 24 - Diagrama de intervalos luminosos do cenário 1**

|                                  |                       |             |             |
|----------------------------------|-----------------------|-------------|-------------|
| Fase 1 - P. Vargas - Veicular    | G=40s<br>4s           | R=31s       | R=19s       |
| Fase 2 - C. Gomes - Veicular     | R=44s                 | G=28s<br>3s | R=19s       |
| Fase 3 - BASA x Hotel - Pedestre | G=37s<br>7s           | R=31s       | G=20s       |
| Fase 4 - BASA x Praça - Pedestre | R=44s                 | G=39s       | 13s         |
| Fase 5 - Travessia em diagonal   | R=44s                 | R=31s       | G=5s<br>14s |
|                                  | Estágio 1             | Estágio 2   | Estágio 3   |
|                                  | 46 s                  | 33 s        | 20 s        |
|                                  | Templo de ciclo = 99s |             |             |
| Legenda:                         |                       |             |             |
| Amarelo ( Y )                    |                       |             |             |
| Verde ( G )                      |                       |             |             |
| Vermelho ( R )                   |                       |             |             |
| Vermelho Piscante ( RP )         |                       |             |             |

Ao comparar o cenário 1 com a programação propostas inicialmente, observa-se que:

- Houve uma redução de 17 segundos no tempo de ciclo;
- Na fase 1, o tempo de verde foi reduzido em 6 segundos, sendo, portanto, 40,40% do ciclo total;
- Na fase 2, o tempo de verde foi reduzido de 33 s para 28 s, se tornando o equivalente a 28,30% do ciclo total;
- Os tempos de amarelos permaneceram os mesmos nas duas programações;
- Na fase 3, o tempo de verde teve uma significativa redução de 69 s para 57 s, com permanência do vermelho intermitente em 7 s;
- Na fase 4, o tempo de verde reduziu em 11 segundos e o tempo de vermelho piscante permaneceu aumentou para 14 segundos;
- A fase 5, permaneceu com o tempo de verde em 5 s, contudo, houve uma diminuição no tempo de vermelho intermitente de 20 s para 14 s;
- Para ambos os dimensionamentos, os tempos de vermelho geral são os mesmos ao final de cada estágio, assim como observado na Figura 24.

Ao analisar os tempos semafóricos obtidos para o cenário 1, conclui-se a mudança causada pela redução das faixas de pedestre e aumento das calçadas, não é vantajoso, pois a redução no tempo perdido para a travessia de pedestre diminuiu de 26 s para 20 s, não sendo uma mudança tão significativa para tal mudança geométrica do local.

### 4.3.2. Cenário 2

Para o cenário 2, foi feito o dimensionamento dos tempos semafóricos utilizando um tempo de ciclo ótimo de 105 segundos, valor equivalente ao ciclo total da programação semafórica atual, para assim, analisar as diferenças dos tempos obtidos no cenário com os tempos em vigência na interseção.

Com a modificação no tempo de ciclo ótimo, houve uma diminuição do verde efetivo encontrado para a programação proposta de 79 s para 68 s considerando o cenário 1, alterando por consequência as repartições de verde efetivos, para as vias Presidente Vargas e Carlos Gomes.

**Figura 25 - Diagrama de intervalos luminosos Cenário 2**



Ao se realizar a comparação dos resultados obtidos para o cenário 2 com a programação semafórica em vigência no cruzamento, nota-se que:

- Na fase 1, o tempo de verde diminuiu de 63 s para 40 s, equivalendo agora, a 38,1% do ciclo total e o tempo de amarelo diminuiu de 5 s para 4 s;
- Na fase 2, o tempo de verde reduziu de 33 s para 28 s, significando 26,70% do ciclo total e o amarelo foi de 4 s para 3 s;
- Na fase 3, o tempo de verde permaneceu em 63 segundos e o tempo de vermelho intermitente aumentou de 5 s para 7s;
- Na fase 4, o tempo de verde aumentou de 33 s para 45 s e, o tempo de vermelho intermitente aumentou também de 4 s para 13 s;
- A fase 5, incluída na programação, ficou com um verde de 5 s e um vermelho intermitente de 20 s;
- Observa-se que para o cenário 2, há a inclusão dos tempos de vermelho geral a cada final de estágio, sendo para os estágios 1 e 2 o vermelho geral de 2 segundos e para o estágio 3, um vermelho geral de 1 s;

Ao verificar a programação obtida para o cenário 2 que foi feita à luz do Manual do DENATRAN (2014), confere-se que foram obtidos tempos semafóricos que priorizam o pedestre em relação a programação vigente atualmente, impactando em uma redução de 21,9% no tempo de verde veicular para a Presidente Vargas e em 4,8% no tempo de verde veicular para a Carlos Gomes.

## 5. CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho teve por objetivo estudar a viabilidade técnica da implantação de uma travessia em x na confluência das vias Presidente Vargas e Carlos Gomes, como também, dimensionar a nova a programação semafórica através da aplicação dos dados coletados em visita técnica no local. A análise foi feita por meio da comparação entre o dimensionamento atual e um novo dimensionamento realizado por instrumento do Manual Brasileiro de Sinalização Semafórica do DENATRAN e do método proposto por Webster.

Para a elaboração do dimensionamento, foram feitos dois tipos de coletas de dados: contagens direcionais e classificadas de tráfego, para a obtenção do volume de tráfego equivalente e coleta de dados geométricos das vias, para a estimativa do fluxo de saturação.

Dentre os principais resultados do trabalho, destacam-se:

- A avenida Presidente Vargas, possui um volume de tráfego considerável, por ser uma arterial principal, a via recebe demanda veicular de várias regiões da cidade, durante as medições *in loco*, no dia útil no período da tarde, foi conferido um volume de 1802 veículos por hora, enquanto para a Carlos Gomes, uma via local, o volume medido foi de cerca de 370 veículos por hora.
- Durante as contagens, foi possível verificar a distribuição classificatória de tráfego para as duas vias:
  - Para a Presidente Vargas, considerando a contagem do dia útil, verificou-se um volume de tráfego composto por: 79% de automóveis, 13% de veículos de dois eixos, cerca de 4% de motos e 4% de veículos de três eixos.
  - Para a Carlos Gomes, considerando a contagem do dia útil, foi contabilizado um volume composto por: 87% de automóveis, 10% de motos e cerca de 3% de veículos pesados;
- O fluxo de pedestre do cruzamento é alto, principalmente nos horários de pico dos dias úteis e no domingo, foi observado pessoas fazendo a travessia irregular, tanto na diagonal, quanto nas travessias da interseção que não possuem faixas, observou-se também, que durante

a semana, a travessia com maior movimentação de pessoas é a da Carlos Gomes, e para o final de semana, a travessia de maior fluxo é a da Presidente Vargas.

- Fundamentando-se no fator pedestres para implantação do semáforo de pedestre à luz do Manual do DENATRAN (1984), os volumes encontrados para os dias úteis e para domingo, justificam a implantação da travessia em diagonal e dos semáforos para pedestres (Tabela 12). Logo que, os valores de referência para implantação são de 250 pedestres/hora em ambos os sentidos. É importante ressaltar, que as medições ocorreram em um período de pandemia causada pelo SARS-COV-2, então acredita-se que os valores de referência reais para o fluxo de pedestre são ainda maiores, visto que na época, algumas pessoas permanecem em trabalho remoto, apesar de que, nos dias em que foram feitas as contagens, as normas de restrições já estavam mais brandas, com escolas, shoppings, academias, etc. Logo, não tendo nenhuma restrição muito severa em vigência na cidade.
- Apesar do aumento no tempo de ciclo de 105 segundos para 116 segundos, nota-se que houve uma diminuição nos tempos de verde dos semáforos veiculares, pois o semáforo da Avenida Presidente Vargas reduziu de 63 segundos para 46 segundos, enquanto o da Rua Carlos Gomes permaneceu em 33 segundos. Apesar dessa diminuição, os valores se mostram adequados ao tráfego do cruzamento, pois observou-se *in loco* a ocorrência de verde ocioso nas duas aproximações.
- Com a inclusão da travessia em diagonal, o tempo de verde do semáforo de pedestres da Carlos Gomes aumentou de 63 segundos para 69 segundos, o da travessia da Presidente Vargas aumentou de 33 segundos para 50 segundos.
- O tempo de verde para a travessia em X, ficou de 5 segundos, que equivale ao tempo de verde geral para todas as travessias de pedestres. Considerando que o tempo de vermelho intermitente é de 20 segundos, o tempo de verde encontra-se dentro do satisfatório para o pedestre dar início à travessia e finalizá-la com tranquilidade.

Portanto, frente ao apresentado, conclui-se que a implantação da travessia em diagonal é viável e tem grande potencial de funcionamento no local estudado. A partir da aferição dos tempos semaforicos vigentes, acredita-se que o mesmo pode não ter sido dimensionado de acordo com o Manual do DENATRAN de 2014, se implantado o dimensionamento proposto, será priorizado a segurança, principalmente pela inclusão dos tempos de vermelhos gerais no período de mudança dos estágios.

Sugere-se como medida mitigatória caso o tráfego de veículos se torne saturado, que a travessia em diagonal funcione obrigatoriamente somente aos domingos, dia de grande de

movimento de pedestres que frequentam a Praça da República. Nos demais dias o sistema funcionaria somente mediante o acionamento das botoeiras que foram inseridas em projeto.

A implantação da travessia não consiste apenas na marcação de pintura de faixas de pedestres nas vias e na instalação dos semáforos, é importante conscientizar os motoristas e os pedestres acerca da implantação e da forma adequada de uso através das placas de regulamentação e de campanhas de conscientização no local, é importante que seja destacado o funcionamento do vermelho piscante na programação, que considera a velocidade de travessia do pedestre, a largura da via e o tempo de percepção e reação, garantindo uma travessia completa e segura. A conscientização deve ser refletida não só para a travessia em diagonal, como também para toda a infraestrutura de tráfego do local, a fim de garantir um bom funcionamento.

## 5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para garantir a eficiência das sinalizações semaforicas, é necessário que haja frequência na realização de estudos de tráfego, uma vez que este muda constantemente. Sendo assim, com o objetivo de contribuir para a melhoria do tráfego do trecho onde fica localizado o cruzamento, recomenda-se:

- fazer novas pesquisas do fluxo veicular da via em condições “normais” da sociedade, pois agora as instituições e os locais não estão em pleno funcionamento por causa da pandemia instaurada pelo SARS-COV-2.
- avaliar os efeitos do dimensionamento proposto, caso ele seja aplicado no cruzamento estudado;
- realizar dimensionamento da programação semaforica considerando o tempo de espera dos pedestres.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (2018).

**Levantamento mostra que usuário do transporte coletivo percorre maiores distâncias e perde mais tempo nos deslocamentos diários.** Disponível em: <[www.antp.org.br](http://www.antp.org.br)>. Acesso em: 27 abr. 2021

AASHTO - AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (2001). **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.** Washington, D.C.: [s.n.], 2001.

Bechtel, A.K., MacLeod K.E., and Ragland D.R. (2003). **Oakland Chinatown Pedestrian Scramble: An Evaluation.**

BELÉM (2017). **Plano Diretor do município de Belém, Anexo II - Categorização Viária.** Disponível em: <[http://www.belem.pa.gov.br/transparencia/wp-content/uploads/2017/06/ANEXO-II\\_CATEGORIZACAO-VIARIA-2.pdf](http://www.belem.pa.gov.br/transparencia/wp-content/uploads/2017/06/ANEXO-II_CATEGORIZACAO-VIARIA-2.pdf)>. Acesso em: 09 abr. 2021

BRASIL (2012) Lei 12.587/12 de 03 de janeiro de 2012. **Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.** Seção 1, p. 1-3. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm)>. Acesso em: 27 abr. 2021

CET - Companhia De Engenharia De Tráfego (1978). **Métodos para cálculo de capacidade de interseções semaforizadas.** São Paulo: CET. Disponível em:<<http://www.cetsp.com.br/media/56752/bt16-%20metodos%20para%20calculos%20da%20capacidade%20de%20interseccoes%20semaforizadas.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2021.

CET - Companhia de Engenharia de Tráfego (2016) **Faixa Diagonal Perfil dos Usuários, Opinião e Compreensão da sinalização.** Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/media/467957/FaixaDiagonalPerfilDosUsuariosOpiniaoCompreensaoDaSinalizacao.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2021

CONTRAN. Resolução nº 160, de 22 de abril de 2004. **Aprova o Anexo II do Código de Trânsito Brasileiro.** Brasília: Contran, 2004. 83 p.

CTB - **Código de Trânsito Brasileiro** LEI N° 9.503, de 23 de setembro de 1997.

DENATRAN - DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (2014). **Manual de Sinalização de Trânsito Volume V – Sinalização Semafórica**. Brasília: CONTRAN, 2014.

DENATRAN - DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (2014). **Manual de Semáforos**. Brasília: DENATRAN, 1984.

BRASIL (2020). **Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde, do Ministério da Saúde**. Disponível em:

<<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0205&VObj=http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/ext10>>. Acesso em: 27 abril. 2021

FHWA (2009) **Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways**. Federal Highway. Edição 2009. Washington: Federal Highway Administration.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2021). **Frota de veículos: Belém, Pará**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (2010). **Mobilidade urbana e posse de veículos: análise da PNAD 2009**. Brasília: Ipea, 2010.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (2015). **Mobilidade Urbana: O Brasil em transformação. O papel do IPEA na construção do pacto da mobilidade**. Brasília: Ipea, 2015.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (2020). **Custos dos acidentes de trânsito no Brasil: estimativa simplificada com base na atualização das pesquisas do Ipea sobre custos de acidentes nos aglomerados urbanos e rodovias**. Brasília: Ipea, 2020.

Kattan, L., Acharjee S., and Tay R.. **Pedestrian Scramble Operations**. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**. 2140, 2009, pp. 79-84.

PENTEADO, A. R. Belém – **Estudo de geografia urbana**. Belém: Edufpa, 1968, 2 vols., (Coleção Amazônica, Série José Veríssimo).

PIGNATARO, L. J. (1973) **Traffic Engineering Theory and Practice**. Prentice-Hall, 1973.

- SCHEIN, R. (2015) **Esquina mais famosa de São Paulo ganha faixa para travessia em “X”**. Disponível em: <https://vadebike.org/2015/01/travessia-pedestres-diagonal-ipiranga-sao-joao-sao-paulo/>. Acesso em: 10 mai. 2021.
- STEG, L. e GIFFO, R. (2005) **Sustainable transportation and quality of life**. *Journal of Transport Geograph*.
- STOKES, R. W. (1989) **Some Factors Affecting Signalized Intersection Capacity**. *ITE Journal*, Jan. 1989, p. 35-40. (CD ROM) ITE Digital Library: 1997 edition.
- TRB – TRANSPORTATION RESEARCH BOARD OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. HCM 2010 – **Highway Capacity Manual 2000**. USA, 2000.
- VEJA (2017). **Faixa em “X” é aprovada, mas confunde pedestres**. Disponível em: <https://vejasp.abril.com.br/cidades/faixa-centro-confunde-pedestres/>. Acesso em: 09 abr. 2021
- VIEIRA, H. (1999) Apostila de Engenharia de Tráfego. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/15651630-Engenharia-de-trafego-prof-heitor-vieira.html>>. Acesso em: 28 Abr. 2021.
- Woodcock, J., Edwards, P., Tonne, C., Armstrong, B. G., Ashiru, O., Banister, D., Roberts, I. (2009). **Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: Urban land transport**. *The Lancet*, 374 (9705), 1930-1943.
- WEBSTER F. V. (1958) **“Traffic Signails Settings”**. *Road research technical paper*. N. o 39. London. HMSO.
- WRI, 2016. **O Desenho de Cidades Seguras**. WRI Ross Center para Cidades Sustentáveis. Disponível em: <<http://wricidades.org/research/publication/o-desenho-de-cidades-seguras>>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- ZHANG, D. (2005). *Evaluation System of Road Traffic Safety Management*. China Communication Press, Beijing.. Murphy, Brendan; Levinson, David M.; Owen, Andrew. **Evaluating the Safety In Numbers effect for pedestrians at urban intersections**. *Accident Analysis & Prevention*, v. 106, p. 181-190, 2017.

**ANEXO A**

MODELO DE FOLHA DE COLETA DE DADOS PARA PESQUISA DIRECIONAL E CLASSIFICATÓRIA

Figura 1 – Modelo de folha de coleta de dados para pesquisa direcional e classificatória

| PESQUISA DE VOLUME DE TRÁFEGO DIRECIONAL E CLASSIFICATORIA   |   |   |   |                |   |   |
|--|---|---|---|----------------|---|---|
| Local:   |   |   |   |                |   |   |
| Aproximação:   |   |   |   |                |   |   |
| Croqui:  |   |   |   |                |   |   |
|  |   |   |   |                |   |   |
| Pesquisador:   |   |   |   |                |   |   |
| Data:  |   |   |   | Dia da Semana: |   |   |
| Selecione o tipo(s) de veículo a ser pesquisado:   |   |   |   |                |   |   |
| <input type="checkbox"/> Bicicleta <input type="checkbox"/> Motocicleta <input type="checkbox"/> Automóvel <input type="checkbox"/> Ônibus <input type="checkbox"/> Caminhão |   |   |   |                |   |   |
| Hora   | ↖ | ↑ | ↗ | ↖              | ↑ | ↗ |
| 7:00 - 7:15  |   |   |   |                |   |   |
| 7:15 - 7:30  |   |   |   |                |   |   |
| 7:30 - 7:45  |   |   |   |                |   |   |
| 7:45 - 8:00  |   |   |   |                |   |   |
| 8:00 - 8:15  |   |   |   |                |   |   |
| 8:15 - 8:30  |   |   |   |                |   |   |
| 8:30 - 8:45  |   |   |   |                |   |   |
| 8:45 - 9:00  |   |   |   |                |   |   |
| 9:00 - 9:15  |   |   |   |                |   |   |
| 9:15 - 9:30  |   |   |   |                |   |   |
| Observações:   |   |   |   |                |   |   |
|  |   |   |   |                |   |   |
|  |   |   |   |                |   |   |

Fonte: DENATRAN (2014).

**APÊNDICE A**  
**CONTAGENS DE TRÁFEGO DO DIA 22/04/2021**

**Dados de tráfego da aproximação 1 - Av. Presidente Vargas - Movimento direto (1)**
**Quinta (22/04/2021)**

| <b>Hora</b>  | <b>Motos</b> | <b>Automóveis</b> | <b>VP 2 eixos</b> | <b>VP 3 eixos</b> | <b>Total</b>   |
|--|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| 17:00 - 17:15                                      | 38           | 272               | 32                | 3                 | 357,54         |
| 17:15 - 17:30                                      | 44           | 286               | 30                | 5                 | 375,52         |
| 17:30 - 17:45                                      | 34           | 346               | 29                | 7                 | 436,22         |
| 17:45 - 18:00                                      | 47           | 323               | 33                | 5                 | 419,51         |
| 18:00 - 18:15                                      | 41           | 387               | 30                | 6                 | 478,53         |
| 18:15 - 18:30                                      | 38           | 298               | 27                | 7                 | 385,54         |
| <b>Total</b>                                       | <b>242</b>   | <b>1912</b>       | <b>181</b>        | <b>33</b>         | <b>2368</b>    |
| <b>Peso por tipo de veículo</b>                    | <b>0,33</b>  | <b>1,00</b>       | <b>2,00</b>       | <b>3,00</b>       |                |
| <b>Total (total de veículos x respectivo peso)</b> | <b>79,86</b> | <b>1912</b>       | <b>362</b>        | <b>99</b>         | <b>2452,86</b> |

**Dados de tráfego da aproximação 1 - Av. Presidente Vargas - Conversão à esquerda 2**
**Quinta (22/04/2021)**

| <b>Hora</b>  | <b>Motos</b> | <b>Automóveis</b> | <b>VP 2 eixos</b> | <b>VP 3 eixos</b> | <b>Total</b> |
|--|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| 17:00 - 17:15                                      | 8            | 10                |                   |                   | 12,64        |
| 17:15 - 17:30                                      | 5            | 18                |                   |                   | 19,65        |
| 17:30 - 17:45                                      | 5            | 22                |                   |                   | 23,65        |
| 17:45 - 18:00                                      | 7            | 17                |                   |                   | 19,31        |
| 18:00 - 18:15                                      | 9            | 15                |                   |                   | 17,97        |
| 18:15 - 18:30                                      | 7            | 19                |                   |                   | 21,31        |
| <b>Total</b>                                       | <b>41</b>    | <b>101</b>        |                   |                   |              |
| <b>Peso por tipo de veículo</b>                    | <b>0,33</b>  | <b>1,00</b>       | <b>2,00</b>       | <b>3,00</b>       |              |
| <b>Total (total de veículos x respectivo peso)</b> | <b>13,53</b> | <b>101</b>        | <b>0</b>          | <b>0</b>          | <b>75,25</b> |

**Dados de tráfego da aproximação 2 - Rua Carlos Gomes - Conversão à direita 3**

**Quinta (22/04/2021)**

| <b>Hora</b>  | <b>Motos</b> | <b>Automóveis</b> | <b>VP 2 eixos</b> | <b>VP 3 eixos</b> | <b>Total</b>  |
|--|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| 17:00 - 17:15                                      | 15           | 57                |                   | 1                 | 64,95         |
| 17:15 - 17:30                                      | 14           | 62                | 2                 |                   | 70,62         |
| 17:30 - 17:45                                      | 21           | 71                |                   |                   | 77,93         |
| 17:45 - 18:00                                      | 27           | 58                |                   | 1                 | 69,91         |
| 18:00 - 18:15                                      | 18           | 73                | 1                 |                   | 80,94         |
| 18:15 - 18:30                                      | 17           | 59                | 2                 |                   | 68,61         |
| <b>Total</b>                                       | <b>112</b>   | <b>380</b>        | <b>5</b>          | <b>2</b>          | <b>499</b>    |
| <b>Peso por tipo de veículo</b>                    | <b>0,33</b>  | <b>1,00</b>       | <b>2,00</b>       | <b>3,00</b>       |               |
| <b>Total (total de veículos x respectivo peso)</b> | <b>36,96</b> | <b>380</b>        | <b>10</b>         | <b>6</b>          | <b>432,96</b> |

**Dados de tráfego da aproximação 2 - Rua Carlos Gomes - Movimento direto 4**

**Quinta (22/04/2021)**

| <b>Hora</b>  | <b>Motos</b> | <b>Automóveis</b> | <b>VP 2 eixos</b> | <b>VP 3 eixos</b> | <b>Total</b>  |
|--|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| 17:00 - 17:15                                      | 5            | 15                |                   |                   | 16,65         |
| 17:15 - 17:30                                      | 7            | 19                |                   |                   | 21,31         |
| 17:30 - 17:45                                      | 6            | 12                |                   |                   | 13,98         |
| 17:45 - 18:00                                      | 5            | 14                |                   |                   | 15,65         |
| 18:00 - 18:15                                      | 9            | 18                |                   |                   | 20,97         |
| 18:15 - 18:30                                      | 12           | 16                |                   |                   | 19,96         |
| <b>Total</b>                                       | <b>44</b>    | <b>94</b>         | <b>0</b>          | <b>0</b>          | <b>138</b>    |
| <b>Peso por tipo de veículo</b>                    | <b>0,33</b>  | <b>1,00</b>       | <b>2,00</b>       | <b>3,00</b>       |               |
| <b>Total (total de veículos x respectivo peso)</b> | <b>14,52</b> | <b>94</b>         | <b>0</b>          | <b>0</b>          | <b>108,52</b> |

**APÊNDICE B**  
CONTAGENS DE TRÁFEGO DO DIA 25/04/2021

**Dados de tráfego da aproximação 1 - Av. Presidente Vargas - Movimento direto (1)**

**Quinta (22/04/2021)**

| <b>Hora</b>  | <b>Motos</b> | <b>Automóveis</b> | <b>VP 2 eixos</b> | <b>VP 3 eixos</b> | <b>Total</b>   |
|--|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| 11:00 - 11:15                                      | 24           | 165               | 16                | 2                 | 210,92         |
| 11:15 - 11:30                                      | 45           | 300               | 18                | 4                 | 362,85         |
| 11:30 - 11:45                                      | 31           | 180               | 21                | 2                 | 238,23         |
| 11:45 - 12:00                                      | 42           | 303               | 16                | 3                 | 357,86         |
| 12:00 - 12:15                                      | 37           | 270               | 19                | 1                 | 323,21         |
| 12:15 - 12:30                                      | 29           | 241               | 24                | 5                 | 313,57         |
| <b>Total</b>                                       | <b>208</b>   | <b>1459</b>       | <b>114</b>        | <b>17</b>         | <b>1798</b>    |
| <b>Peso por tipo de veículo</b>                    | <b>0,33</b>  | <b>1,00</b>       | <b>2,00</b>       | <b>3,00</b>       |                |
| <b>Total (total de veículos x respectivo peso)</b> | <b>68,64</b> | <b>1459</b>       | <b>228</b>        | <b>51</b>         | <b>1806,64</b> |

**Dados de tráfego da aproximação 1 - Av. Presidente Vargas - Conversão à esquerda 2**

**Quinta (22/04/2021)**

| <b>Hora</b>  | <b>Motos</b> | <b>Automóveis</b> | <b>VP 2 eixos</b> | <b>VP 3 eixos</b> | <b>Total</b>  |
|--|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| 11:00 - 11:15                                      | 14           | 39                |                   |                   | 43,62         |
| 11:15 - 11:30                                      | 12           | 58                |                   |                   | 61,96         |
| 11:30 - 11:45                                      | 17           | 51                |                   |                   | 56,61         |
| 11:45 - 12:00                                      | 15           | 47                |                   |                   | 51,95         |
| 12:00 - 12:15                                      | 11           | 44                |                   |                   | 47,63         |
| 12:15 - 12:30                                      | 15           | 52                |                   |                   | 56,95         |
| <b>Total</b>                                       | <b>84</b>    | <b>291</b>        | <b>0</b>          | <b>0</b>          | <b>375</b>    |
| <b>Peso por tipo de veículo</b>                    | <b>0,33</b>  | <b>1,00</b>       | <b>2,00</b>       | <b>3,00</b>       |               |
| <b>Total (total de veículos x respectivo peso)</b> | <b>27,72</b> | <b>291</b>        | <b>0</b>          | <b>0</b>          | <b>318,72</b> |

**Dados de tráfego da aproximação 2 - Rua Carlos Gomes - Conversão à direita 3**
**Domingo (25/04/2021)**

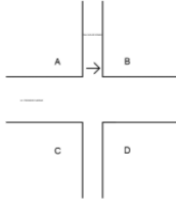
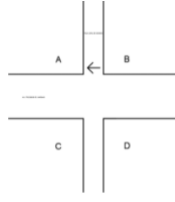
| <b>Hora</b>                            | <b>Motos</b> | <b>Automóveis</b> | <b>VP 2 eixos</b> | <b>VP 3 eixos</b> | <b>Total</b>  |
|--|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| 11:00 - 11:15                          | 4            | 45                |                   |                   | 46,32         |
| 11:15 - 11:30                          | 6            | 73                |                   |                   | 74,98         |
| 11:30 - 11:45                          | 13           | 64                |                   |                   | 68,29         |
| 11:45 - 12:00                          | 12           | 55                |                   |                   | 58,96         |
| 12:00 - 12:15                          | 15           | 42                |                   |                   | 46,95         |
| 12:15 - 12:30                          | 9            | 38                |                   |                   | 40,97         |
| <b>Total</b>                           | <b>59</b>    | <b>317</b>        | <b>0</b>          | <b>0</b>          | <b>376</b>    |
| <b>Peso por tipo de veículo</b>        | <b>0,33</b>  | <b>1,00</b>       | <b>2,00</b>       | <b>3,00</b>       |               |
| <b>Total com fator de equivalência</b> | <b>19,47</b> | <b>317</b>        | <b>0</b>          | <b>0</b>          | <b>336,47</b> |

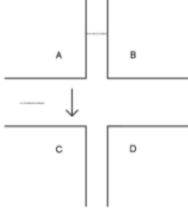
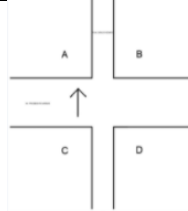
**Dados de tráfego da aproximação 2 - Rua Carlos Gomes - Movimento direto 4**
**Domingo (25/04/2021)**

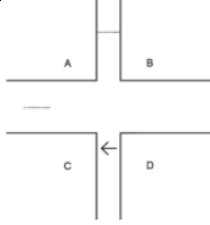
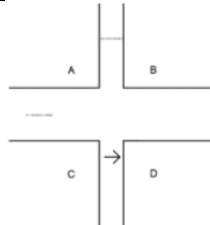
| <b>Hora</b>                            | <b>Motos</b> | <b>Automóveis</b> | <b>VP 2 eixos</b> | <b>VP 3 eixos</b> | <b>Total</b>  |
|--|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| 11:00 - 11:15                          | 2            | 25                |                   |                   | 25,66         |
| 11:15 - 11:30                          | 1            | 14                |                   |                   | 14,33         |
| 11:30 - 11:45                          | 4            | 21                |                   |                   | 22,32         |
| 11:45 - 12:00                          | 1            | 18                |                   |                   | 18,33         |
| 12:00 - 12:15                          | 2            | 16                |                   |                   | 16,66         |
| 12:15 - 12:30                          | 3            | 10                |                   |                   | 10,99         |
| <b>Total</b>                           | <b>13</b>    | <b>104</b>        | <b>0</b>          | <b>0</b>          | <b>117</b>    |
| <b>Peso por tipo de veículo</b>        | <b>0,33</b>  | <b>1,00</b>       | <b>2,00</b>       | <b>3,00</b>       |               |
| <b>Total com fator de equivalência</b> | <b>4,29</b>  | <b>104</b>        | <b>0</b>          | <b>0</b>          | <b>108,29</b> |

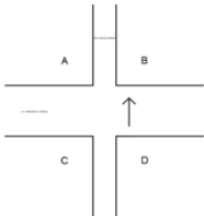
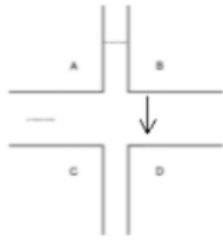
**APÊNDICE C**

**CONTAGENS DE TRÁFEGO DE PEDESTRES DO DIA 21/04/2021**

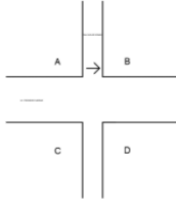
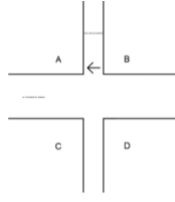
|                            |   |   |
|----------------------------|---|---|
| <b>PESQUISADOR:</b>        | <b>Arthur Miranda</b>   |   |
| <b>Data:</b>               | <b>21/04/2021</b>   | <b>Quarta</b>   |
| <b>Condições do Tempo:</b> | <b>( x ) Sol ( ) Nublado ( ) Chuva</b>  |   |
| <b>Hora</b>                |  |  |
| 10:00 - 10:15              | 48  | 44  |
| 10:15 - 10:30              | 52  | 46  |
| 10:30 - 10:45              | 35  | 31  |
| 10:45 - 11:00              | 36  | 29  |
| 11:00 - 11:15              | 30  | 28  |
| 11:15 - 11:30              | 42  | 33  |
| 11:30 - 11:45              | 35  | 31  |
| 11:45 - 12:00              | 37  | 30  |
| 12:00 - 12:15              | 31  | 28  |
| 12:15 - 12:30              | 30  | 29  |
| Total                      | 376   | 329   |

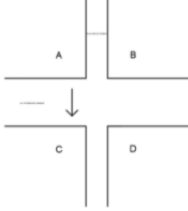
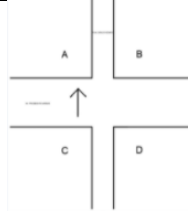
|                            |   |   |
|----------------------------|---|---|
| <b>PESQUISADOR:</b>        | <b>Arthur Miranda</b>   |   |
| <b>Data:</b>               | <b>21/04/2021</b>   | <b>Quarta</b>   |
| <b>Condições do Tempo:</b> | <b>( x ) Sol ( ) Nublado ( ) Chuva</b>  |   |
| <b>Hora</b>                |  |  |
| 10:00 - 10:15              | 3   |   |
| 10:15 - 10:30              | 2   | 4   |
| 10:30 - 10:45              | 1   | 4   |
| 10:45 - 11:00              | 2   |   |
| 11:00 - 11:15              |   | 2   |
| 11:15 - 11:30              | 2   | 5   |
| 11:30 - 11:45              |   |   |
| 11:45 - 12:00              | 1   | 2   |
| 12:00 - 12:15              | 2   | 4   |
| 12:15 - 12:30              | 7   | 3   |
| <b>Total</b>               | <b>20</b>   | <b>24</b>   |

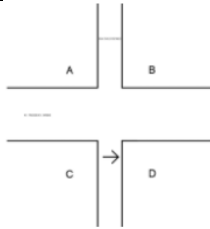
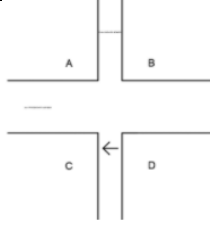
|                            |   |   |
|----------------------------|---|---|
| <b>PESQUISADOR:</b>        | <b>Marivana Almeida</b>   |   |
| <b>Data:</b>               | <b>21/04/2021</b>   | <b>Quarta</b>   |
| <b>Condições do Tempo:</b> | <b>( x ) Sol ( ) Nublado ( ) Chuva</b>  |   |
| <b>Hora</b>                |  |  |
| 10:00 - 10:15              | 16  | 21  |
| 10:15 - 10:30              | 22  | 10  |
| 10:30 - 10:45              | 15  | 12  |
| 10:45 - 11:00              | 12  | 17  |
| 11:00 - 11:15              | 13  | 14  |
| 11:15 - 11:30              | 11  | 16  |
| 11:30 - 11:45              | 15  | 18  |
| 11:45 - 12:00              | 14  | 18  |
| 12:00 - 12:15              | 9   | 15  |
| 12:15 - 12:30              | 16  | 22  |
| <b>Total</b>               | <b>143</b>  | <b>163</b>  |

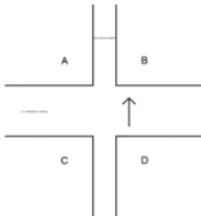
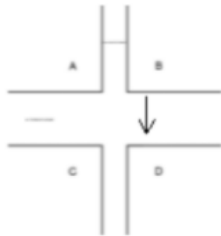
|                            |   |   |
|----------------------------|---|---|
| <b>PESQUISADOR:</b>        | <b>Marivana Almeida</b>   |   |
| <b>Data:</b>               | <b>21/04/2021</b>   | <b>Quarta</b>   |
| <b>Condições do Tempo:</b> | <b>( x ) Sol ( ) Nublado ( ) Chuva</b>  |   |
| <b>Hora</b>                |  |  |
| 10:00 - 10:15              | 31  | 25  |
| 10:15 - 10:30              | 29  | 19  |
| 10:30 - 10:45              | 32  | 28  |
| 10:45 - 11:00              | 19  | 24  |
| 11:00 - 11:15              | 32  | 30  |
| 11:15 - 11:30              | 26  | 25  |
| 11:30 - 11:45              | 32  | 37  |
| 11:45 - 12:00              | 36  | 33  |
| 12:00 - 12:15              | 31  | 28  |
| 12:15 - 12:30              | 31  | 25  |
| <b>Total</b>               | <b>299</b>  | <b>274</b>  |

**APÊNDICE D**  
**CONTAGENS DE TRÁFEGO DE PEDESTRES DO DIA 25/04/2021**

|                            |   |   |
|----------------------------|---|---|
| <b>PESQUISADOR:</b>        | <b>Arthur Miranda</b>   |   |
| <b>Data:</b>               | <b>25/04/2021</b>   | <b>Quarta</b>   |
| <b>Condições do Tempo:</b> | <b>( x ) Sol ( ) Nublado ( ) Chuva</b>  |   |
| <b>Hora</b>                |  |  |
| 10:00 - 10:15              | 32  | 29  |
| 10:15 - 10:30              | 31  | 34  |
| 10:30 - 10:45              | 35  | 42  |
| 10:45 - 11:00              | 34  | 19  |
| 11:00 - 11:15              | 30  | 29  |
| 11:15 - 11:30              | 44  | 19  |
| 11:30 - 11:45              | 31  | 26  |
| 11:45 - 12:00              | 31  | 27  |
| 12:00 - 12:15              | 28  | 23  |
| 12:15 - 12:30              | 34  | 25  |
| Total                      | 330   | 273   |

|                            |   |   |
|----------------------------|---|---|
| <b>PESQUISADOR:</b>        | <b>Arthur Miranda</b>   |   |
| <b>Data:</b>               | <b>25/01/2021</b>   | <b>Quarta</b>   |
| <b>Condições do Tempo:</b> | <b>( x ) Sol ( ) Nublado ( ) Chuva</b>  |   |
| <b>Hora</b>                |  |  |
| 10:00 - 10:15              | 5   | 2   |
| 10:15 - 10:30              | 3   | 7   |
| 10:30 - 10:45              | 1   | 4   |
| 10:45 - 11:00              |   |   |
| 11:00 - 11:15              |   | 2   |
| 11:15 - 11:30              | 2   | 16  |
| 11:30 - 11:45              |   |   |
| 11:45 - 12:00              | 1   | 5   |
| 12:00 - 12:15              | 2   | 4   |
| 12:15 - 12:30              | 9   | 6   |
| Total                      | 23  | 46  |

|                            |   |   |
|----------------------------|---|---|
| <b>PESQUISADOR:</b>        | <b>Marivana Almeida</b>   |   |
| <b>Data:</b>               | <b>25/04/2021</b>   | <b>Quarta</b>   |
| <b>Condições do Tempo:</b> | <b>( x ) Sol ( ) Nublado ( ) Chuva</b>  |   |
| <b>Hora</b>                |  |  |
| 10:00 - 10:15              | 78  | 82  |
| 10:15 - 10:30              | 85  | 93  |
| 10:30 - 10:45              | 94  | 86  |
| 10:45 - 11:00              | 102   | 91  |
| 11:00 - 11:15              | 92  | 84  |
| 11:15 - 11:30              | 81  | 85  |
| 11:30 - 11:45              | 94  | 98  |
| 11:45 - 12:00              | 92  | 101   |
| 12:00 - 12:15              | 99  | 95  |
| 12:15 - 12:30              | 87  | 94  |
| Total                      | 904   | 909   |

|                            |   |   |
|----------------------------|---|---|
| <b>PESQUISADOR:</b>        | <b>Marivana Almeida</b>   |   |
| <b>Data:</b>               | <b>25/04/2021</b>   | <b>Quarta</b>   |
| <b>Condições do Tempo:</b> | <b>( x ) Sol ( ) Nublado ( ) Chuva</b>  |   |
| <b>Hora</b>                |  |  |
| 10:00 - 10:15              | 27  | 21  |
| 10:15 - 10:30              | 25  | 35  |
| 10:30 - 10:45              | 27  | 29  |
| 10:45 - 11:00              | 28  | 23  |
| 11:00 - 11:15              | 35  | 20  |
| 11:15 - 11:30              | 42  | 32  |
| 11:30 - 11:45              | 34  | 25  |
| 11:45 - 12:00              | 25  | 22  |
| 12:00 - 12:15              | 29  | 23  |
| 12:15 - 12:30              | 35  | 24  |
| <b>Total</b>               | <b>307</b>  | <b>254</b>  |