

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**ANDRESSA TRINDADE DA COSTA**

**AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA DE CRUZAMENTOS EM  
UMA AVENIDA DE ALEGRETE/RS**

**Alegrete  
2020**

**ANDRESSA TRINDADE DA COSTA**

**AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA DE CRUZAMENTOS EM  
UMA AVENIDA DE ALEGRETE/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Mauricio Silveira dos Santos

**Alegrete  
2020**

**ANDRESSA TRINDADE DA COSTA**

**AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA DE CRUZAMENTOS EM  
UMA AVENIDA DE ALEGRETE/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título  
de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 01 de dezembro  
de 2020.

Banca examinadora:

*Maurício S. dos Santos*

---

Prof. Me. Maurício Silveira dos Santos  
Orientador - UNIPAMPA

*Ederli Marangon*

---

Prof. Dr. Ederli Marangon  
UNIPAMPA

*Camila S. Cardoso*

---

Eng<sup>a</sup>. Camila Vargas Cardoso  
UNIPAMPA

“É você quem vai fazer o seu diploma, ninguém vai fazer por você. Se o professor for ótimo, melhor. Se o professor for ruim, supere-o. Se a instituição existe, use - a para chegar ao seu objetivo.”

Leandro Karnal

## RESUMO

A sinalização semafórica além de controlar o fluxo de tráfego tem a função de evitar conflitos nos cruzamentos. O crescimento da frota de veículos está em ascensão e, por consequência, o tempo de deslocamento também se eleva. Devido a este problema destaca-se a importância do estudo de tráfego visando a fluidez e redução nos tempos de deslocamento dos usuários nas vias. Para que a programação semafórica desempenhe as suas funções corretamente é necessário o conhecimento da demanda e oferta na via. Desta forma, o presente trabalho realizou uma análise quantitativa através de filmagens visando conhecer a demanda, oferta e os tempos de ciclos atuais em três cruzamentos nas avenidas Assis Brasil e Dr. Lauro Dornelles na cidade de Alegrete/RS. Por meio dos métodos de Webster e Grau de Saturação Máximo encontraram-se novos tempos de ciclos que posteriormente foram comparados entre si e com os tempos de ciclos atuais nos cruzamentos. De maneira geral, os benefícios das propostas através da reprogramação utilizando os métodos de Webster e Grau de Saturação Máximo o método que se mostrou mais significativo para a demanda de todos os cruzamentos foi o método de Webster. Constatou-se que para que haja fluidez é necessário que os tempos de ciclos sejam apropriados para os diferentes períodos do dia.

Palavras-Chave: Sinalização semafórica, Fluidez, Método de Webster, Grau de Saturação Máximo, Cruzamentos, Tempos de ciclos.

## **ABSTRACT**

Traffic lights, in addition to controlling traffic flow, have the function of preventing conflicts at intersections. The growth of the vehicle fleet is on the rise and, consequently, travel time is also increasing. Due to this problem, the importance of the study of traffic is highlighted, aiming at the fluidity and reduction in the travel times of users on the roads. For traffic signal programming to perform its functions correctly, it is necessary to know the demand and supply on the road. In this way, the present work carried out a quantitative analysis through filming in order to know the demand, supply and the current cycle times at three intersections in the avenues Assis Brasil and Dr. Lauro Dornelles in the city of Alegrete / RS. Using the methods of Webster and Degree of Maximum Saturation, new cycle times were found, which were later compared with each other and with the current cycle times at crossings. In general, the benefits of the proposals through reprogramming using the methods of Webster and Degree of Maximum Saturation the method that proved to be most significant for the demand of all crossings was the method of Webster. It was found that for there to be fluidity it is necessary that the cycle times are appropriate for the different periods of the day.

Key words: Traffic lights, Fluidity, Webster's Method, Maximum Saturation Degree, Crossings, Cycle times.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sinalização semafórica de advertência .....	18
Figura 2 - Placa A – 14 indicando semáforo à frente .....	19
Figura 3 – Representação de semáforos para veículos e pedestres .....	19
Figura 4 – Exemplo de botoeira .....	20
Figura 5 – Sinalização educativa .....	21
Figura 6 – Representação de diagrama de conflitos .....	22
Figura 7 – Grupo de movimentos e grupo semafórico .....	23
Figura 8 – Exemplo de diagrama de estágios .....	24
Figura 9 – Diagrama de estágios veicular e com pedestres .....	24
Figura 10 – Distâncias percorridas em uma aproximação .....	26
Figura 11 – Folha de campo para pesquisa de volume de tráfego .....	30
Figura 12 – Exemplo de Histograma de Fluxo .....	33
Figura 13 – Modelo de comportamento do tráfego .....	34
Figura 14 – Ilustração do conceito do grau de saturação .....	38
Figura 15 – Fluxograma da metodologia de pesquisa .....	40
Figura 16 – Mapa do estado do Rio Grande do Sul .....	41
Figura 17 – Localização das interseções A, B e C .....	42
Figura 18 – Representação gráfica interseção A .....	43
Figura 19 – Representação gráfica interseção B .....	44
Figura 20 – Representação gráfica interseção C .....	44
Figura 21 – Equipamentos para obtenção das imagens .....	45
Figura 22 – Imagens das aproximações do cruzamento C .....	46
Figura 23 – Imagens das aproximações do cruzamento B .....	47
Figura 24 – Imagens das aproximações do cruzamento A .....	48
Figura 25 – Diagrama de estágios da interseção A .....	50
Figura 26 – Diagrama de estágios da interseção B .....	50
Figura 27 – Diagrama de estágios da interseção C .....	51
Figura 28 – Exemplo de Histograma de Fluxo de Veículos .....	51
Figura 29 – Gráfico tempo de ciclos cruzamento A .....	56
Figura 30 – Gráfico tempo de ciclos cruzamento B .....	58
Figura 31 – Gráfico tempo de ciclos cruzamento C .....	60
Figura 32 – Plano semafórico cruzamento A .....	61

Figura 33 – Plano semafórico cruzamento B .....	62
Figura 34 – Plano semafórico cruzamento C .....	62
Figura 35 – Diagrama de barras PLANO AI.....	63
Figura 36 – Diagrama de barras PLANO AII.....	64
Figura 37 – Diagrama de barras PLANO AIII.....	64
Figura 38 – Diagrama de barras PLANO A IV .....	64
Figura 39 – Diagrama de barras PLANO A V .....	65
Figura 40 – Diagrama de barras PLANO A VI .....	65
Figura 41 – Diagrama de barras PLANO A VII .....	65
Figura 42 – Diagrama de barras PLANO A VIII .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fator de equivalência para diferentes tipos de veículos .....	30
Tabela 2 – Frota de veículos licenciados em Alegrete/RS.....	41
Tabela 3 – Parâmetros obtidos nos cruzamentos.....	49
Tabela 4 – Tempos calculados .....	49
Tabela 5 – Fluxo de saturação dos cruzamentos A, B e C .....	52
Tabela 6 – Tempos atuais das indicações luminosas nos cruzamentos .....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito

CTB – Código de Trânsito Brasileiro

DETRAN – Departamento Nacional de Trânsito

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

RS – Rio Grande do Sul

UCP – Unidade de Carros de Passeio

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

VMD – Volume médio diário

GSM – Grau de Saturação Máximo

$t_{ent}$  – tempo de entreverdes

$t_a$  – tempo de amarelo

$t_{vg}$  – tempo de vermelho geral

$t_{pr}$  – tempo de percepção e reação do condutor

$v$  – velocidade do veículo

$a_{ad}$  – máxima taxa de frenagem admissível em via plana

$i$  – inclinação da via

$g$  – aceleração da gravidade

$t_{vg}$  – tempo de vermelho geral, em segundos;

$d_2$  – extensão da trajetória do veículo entre a linha de retenção até o término da área de conflito

$c$  – comprimento do veículo

$T_p$  – tempo perdido total

$n$  – número de estágios

$y_i$  – taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio  $i$

$y$ : taxa de ocupação

$F$  – fluxo de tráfego

$FS$  – fluxo de saturação

$t_c$  – tempo de ciclo

$p_i$  – fração de verde necessária para o estágio  $i$

$x_{mi}$  – grau de saturação máximo

$x_m$  – grau de saturação

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

$Cap$  – capacidade

$Tv,efet$  – tempo de verde efetivo

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1 Objetivo geral.....	12
1.2 Objetivo Específicos.....	12
1.3 Justificativa .....	12
1.4 Estrutura do Trabalho .....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1 Vias .....	14
2.2 Interseções.....	15
2.3 Sinalização de Trânsito .....	15
2.3.1 Sinalização Vertical .....	16
2.3.2 Sinalização Horizontal.....	17
2.3.3 Sinalização Semafórica .....	17
2.4 Conceitos básicos para o controle semafórico .....	21
2.4.1 Grupo semafórico.....	22
2.4.2 Estágio semafórico.....	23
2.4.2.1 Tempo de ciclo.....	25
2.4.2.2 Entreverdes.....	25
2.4.2.3 Tempo de verde de segurança .....	27
2.4.2.4 Tempo de amarelo .....	27
2.4.2.5 Tempo de vermelho geral .....	28
2.4.3 Demanda/Fluxo de tráfego .....	28
2.4.3.1 Método de contagem de Tráfego.....	29
2.4.4 Oferta/Fluxo de saturação.....	31
2.4.5 Método DENATRAN .....	32
2.4.6 Método de Webster .....	33
2.4.7 Método do Grau de Saturação Máximo .....	35
2.4.8 Capacidade .....	39
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>40</b>
3.1 Local do Estudo .....	40
3.2 Levantamento de dados <i>in loco</i> .....	42
3.2.1 Características das Interseções .....	43
3.2.2 Contagem de Veículos .....	45

3.2.3 Entreverdes .....	48
3.3 Reprogramação semafórica.....	50
4 RESULTADOS .....	53
4.1 Tempos de ciclos atuais nos cruzamentos A, B e C .....	53
4.2 Comparação entre os tempos de ciclos dos cruzamentos.....	54
4.2.1 Tempos de ciclos cruzamento A .....	54
4.2.2 Tempos de ciclos cruzamento B .....	57
4.2.3 Tempos de ciclos cruzamento C .....	59
4.3 Planos semafóricos cruzamentos A, B e C .....	61
4.3.1 Diagrama de barras .....	63
5 CONCLUSÕES.....	67
REFERÊNCIAS.....	69
APÊNDICES .....	72

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente nas cidades brasileiras vêm crescendo a frota de veículos, porém as vias não acompanham esse crescimento e conseqüentemente ocorrem congestionamentos e atrasos no trânsito.

Segundo dados do Departamento Nacional de Trânsito (DETRAN,2019) em 2010 na cidade de Alegrete foram licenciados 25.323 automóveis de passeio e veículos comerciais, em 2020 o número subiu para 39.248 representando um crescimento de aproximadamente 36% no volume de veículos em circulação em dez anos. O IBGE faz uma estimativa de que em 2020 na mesma cidade habitam 73.028 pessoas, isso equivale a 1 carro a cada 2 habitantes. Porém, as vias não acompanham o crescimento, acarretando congestionamentos.

Por conseqüência, o tempo de deslocamentos aumenta dentro da cidade, principalmente nos horários de pico. Tais congestionamentos acarretam prejuízos na qualidade de vida dos moradores, devido aos atrasos ao se locomover, aumentando o estresse dos usuários da via (DUARTE, 2012).

Nesse contexto, destaca-se a importância do estudo do tráfego nas vias, a fim de minimizar os impactos gerados. Desta forma, uma solução para fluidez do tráfego nos cruzamentos é a otimização da sinalização semafórica.

O sistema de sinalização semafórica foi criado para que não haja conflito em cruzamentos, pois possui influência direta na fluidez do trânsito, quando bem utilizado, gerando uma redução nos congestionamentos. Este sistema deve ser gerido e atualizado conforme cresce a demanda de veículos, para que proporcione qualidade no trânsito e qualidade de vida, resultando na diminuição de acidentes e custos de locomoção.

Os semáforos são empregados em vias públicas onde há fluxos conflitantes, sendo que estes dispositivos devem ser dimensionados com critérios, para cada uma de suas fases, visto que se mal dimensionados e instalados em lugar inadequado, acarretará desordem no trânsito (CARMO, 2016).

Assim, o presente trabalho tem por intuito analisar e posteriormente avaliar o fluxo dos tráfegos na extensão longitudinal da Av. Assis Brasil/Av. Doutor Lauro Dorneles, na cidade de Alegrete, Rio Grande do Sul. A análise do tráfego foi a partir da contagem de veículos que trafegam nas interseções sendo realizado a partir de filmagens nos locais de estudo. A avaliação tem a finalidade de determinar a

viabilidade do atual ciclo semaforico para propor possíveis soluções caso seja necessário.

### **1.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem por objetivo geral determinar os ciclos semaforicos das três interseções da Avenida Assis Brasil, com as ruas Daltro Filho, Praça General Osório, Waldemar Masson, Marquês do Alegrete, e Avenida Dr. Lauro Dorneles com a rua Barão do Cerro Largo sendo realizado a partir do Método de Webster e do Grau de Saturação Máximo (GSM), na cidade de Alegrete – RS.

### **1.2 Objetivo Específicos**

- Determinar demanda, oferta e tempos de ciclo necessários para a reprogramação semaforica dos cruzamentos.
- Avaliar a capacidade de tráfego, condizente com as características da via;
- Analisar os ciclos semaforicos de campo e comparar com os novos tempos de ciclos recalculados com os métodos de Webster e Grau de Saturação Máximo;

### **1.3 Justificativa**

O crescente aumento na frota de veículos nos últimos anos resulta em estresse, maior consumo de combustíveis, contribuição para poluição ambiental e atrasos nos deslocamentos devido os congestionamentos nas vias.

Há diversas soluções para este problema, como por exemplo, investimentos na infraestrutura viária aumentando a largura das vias, melhora na qualidade do transporte público, restrição do uso do automóvel individual em determinados dias e a implementação de sinalização semaforica ou a reprogramação dos tempos dos semaforos.

O semaforo no decorrer do tempo deve ser reajustado com intervalo desejável de um ano, devido aos fluxos variáveis de tráfego. O aumento dos fluxos de tráfego demanda a reprogramação dos tempos de ciclo (EJZENBERG, 2005).

Neste contexto sabe-se que no decorrer do tempo ocorre variação na demanda e oferta da via necessitando constante atualização destes parâmetros, visto que afeta diretamente na fluidez da via.

Assim, este estudo tem por objetivo avaliar a eficácia da operação dos semáforos com os métodos de Webster e Grau de Saturação Máxima para contribuir na fluidez do trânsito na cidade de Alegrete/RS, onde está instalado o curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA).

A escolha das interseções com sinalização semafórica da Avenida Assis Brasil com as ruas Daltro Filho, Marques de Alegrete, Praça General Osório, Waldemar Masson, e Avenida Dr. Lauro Dorneles com a rua Barão do Cerro Largo, objeto desse estudo, se deve por se tratar de semáforos sequentes, o que possibilita a realização de contagens de tráfego com dados mais consistentes para a avaliação dos parâmetros. Deseja-se, portanto contribuir para a melhoria da segurança e fluidez nestes cruzamentos.

#### **1.4 Estrutura do Trabalho**

Para atingir o objetivo mencionado no trabalho, foram necessários estudos, divididos em tópicos. O primeiro capítulo apresenta a introdução sobre o problema, os objetivos propostos e a exposição das motivações para a realização deste trabalho.

No segundo capítulo, é apresentada a fundamentação teórica, referente aos temas abordados: Vias, Interseções, Sinalização de Trânsito e Conceitos básicos para a Sinalização Semafórica. Já no terceiro capítulo, foram descritas as etapas e metodológicas de realização do trabalho: Levantamento de dados in loco, Características das Interseções, Contagem de Veículos, Reprogramação semafórica e posteriormente o cronograma de atividades.

O quarto capítulo mostra os resultados dos tempos de ciclos calculados e posteriormente análise e avaliação utilizando os métodos de Webster e Grau de Saturação Máximo para cada cruzamento comparando entre com os tempos de ciclo atual.

Por fim no quinto capítulo expostas as conclusões e considerações finais do trabalho e sugestões para futuros estudos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentado a revisão de literatura a respeito das características da via, interseções e sinalizações, tendo como foco principal a sinalização semafórica. Na sequência, são abordados os conceitos básicos para a reprogramação semafórica.

### 2.1 Vias

De acordo com o Anexo I do Código de Trânsito Brasileiro – CTB (2017, p. 57), via é a *“superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, ilha e canteiro central”*. Sendo estas classificadas, conforme o artigo 60, de acordo com o local, finalidade e espaço geográfico. Sendo assim, as vias urbanas são classificadas em: vias de trânsito rápido, via arterial, via coletora e via local, já as vias rurais são, rodovias e estradas. Para Araujo (2014), as vias se diferenciam conforme sua localização, onde existindo imóveis edificadas ao longo da via, esta é classificada como via urbana, do contrário é via rural. O autor esclarece ainda que para as vias urbanas possuem definições claras e para vias rurais, somente são definidas de acordo com sua superfície, se pavimentada é rodovia do contrário, estrada.

Segundo o Anexo I do CTB (2017), as vias urbanas e rurais são definidas a seguir:

**Via de trânsito rápido** – velocidade máxima de 80 km/h com acessos especiais, trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessos aos lotes vizinhos, não possuem semáforos, travessia de pedestres, cruzamentos e retornos.

**Via arterial** – com velocidade máxima de 60 km/h, possui interseções em nível, cruzamentos com semáforo, acessibilidade aos lotes vizinhos e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre os bairros da cidade.

**Via coletora** – é a via que distribui o fluxo entre as vias de trânsito rápido ou arteriais, dentro da cidade com limite de 40 km/h.

**Via local** – possui cruzamentos em nível sem semáforos, com fluxo reduzido, destinada a acessos locais em áreas restritas, velocidade máxima de 30 km/h.

## 2.2 Interseções

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) (2005) define interseção como área que ocorre cruzamentos ou união de duas ou mais vias, facilitando os movimentos dos veículos que nela circulam. Sendo classificadas em interseções em nível e interseções em níveis diferentes.

Nos cruzamentos em nível de uma ou mais vias, existem movimentos que não podem ser realizados simultaneamente, pois são conflitantes entre si. Neste local é necessário que seja estabelecido normas de controle do direito de passagem, reduzindo acidentes e melhorando a fluidez (DUTRA, 2005).

Para Spigolon (2010), uma forma empregada para evitar acidentes nos movimentos conflitantes, é definir como preferencial a via com maior volume de tráfego, no entanto, as vias secundárias devem parar ou reduzir a velocidade, dando preferência a via principal. Porém, dependendo do volume do tráfego, os veículos da via secundária podem ser prejudicados, aumentando o tempo de espera, logo, uma alternativa é a implantação de semáforo.

As interseções semaforizadas possuem a função de proporcionar maior segurança à travessia de pedestres e veículos. Entretanto, quando os semáforos não são programados de forma eficiente, ocorrem tempos de espera desnecessários e o aumento de segurança acarreta em perda de fluidez na via, resultando em desperdício de tempo (PAIVA NETO; CASTRO NETO; LOUREIRO, 2003).

Segundo Nérís (2014), as interseções podem ter ou não sinalização, dependendo do fluxo existente e onde houver risco de acidentes, nestas condições faz-se necessário que haja sinalização, podendo ser: vertical, horizontal e ou semafórica.

## 2.3 Sinalização de Trânsito

A sinalização de trânsito é composta por indicações e dispositivos de segurança, colocados na via pública, com o intuito de garantir maior fluidez para os pedestres e veículos que nela circulam. As principais sinalizações viárias, são divididas em: sinalização horizontal e sinalização vertical, de acordo com o CTB (2017).

De acordo com o CONTRAN (2014), Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, está definido que para a inserção da sinalização de trânsito, os usuários da via devem entender os significados das sinalizações. Neste contexto, para um bom entendimento a sinalização deve-se obrigatoriamente obedecer aos princípios, sendo estes:

- **Legalidade:** Deve estar contido no Código de Trânsito Brasileiro – CTB ou Legislação complementar;
- **Suficiência:** Permitir fácil percepção do que é importante, de acordo com a quantidade de sinalização compatível com a necessidade;
- **Padronização:** Seguir padrão legalmente estabelecido, atendendo à regra de que situações iguais devem ser sinalizadas segundo os mesmos critérios;
- **Clareza:** Transmitir mensagens objetivas de fácil compreensão, evitando a ocorrência de informação conflitante;
- **Precisão e confiabilidade:** Precisa ser confiável, ter credibilidade, atender aos requisitos técnicos mínimos de segurança viária e fluidez,
- **Visibilidade e legibilidade:** Ser vista à distância necessária e em tempo apto a tomada de decisão;
- **Manutenção e conservação:** Estar permanentemente limpa, conservada e visível, com manutenções necessárias, como reprogramação, atualização e remoção, acompanhando o trânsito.

Cucci Neto (2018) afirma que todos os princípios devem ser obedecidos, se um destes não for atendido a sinalização se torna ineficaz, não transmitindo a mensagem correta ao usuário da via.

### 2.3.1 Sinalização Vertical

Segundo o CTB (2017) sinalização vertical é um subsistema da sinalização viária, onde está demonstra aos usuários sua mensagem por intermédio de placas, sobre as vias, pintada ou em formas luminosas. Tal sinalização possui subclassificações de acordo com suas funções.

As sinalizações verticais são subdivididas em sinalização de regulamentação, advertência e indicação. Regulamentação são grupos de sinais que representam

mensagens informando a obrigatoriedade, limitações, proibições ou restrição na via. As sinalizações de advertência devem advertir os condutores sobre os riscos e condições existentes nas proximidades e na via, já a sinalização de indicação serve para indicar as mensagens de localização, serviços ou pontos de interesses e educativas (CONTRAN, 2007).

### **2.3.2 Sinalização Horizontal**

Segundo o Manual de Sinalização Horizontal (2007) é a sinalização sobre o pavimento nas vias, onde faz se o uso de linhas com marcações, símbolos e legendas, com a finalidade de ordenar, controlar e orientar os deslocamentos entre veículos e pedestres, complementando as sinalizações de advertência e indicação. A sinalização horizontal relaciona-se com outras sinalizações. Quando houver semáforos, a sinalização deve vir acompanhada de linha de retenção, em todas as aproximações da interseção ou da faixa de pedestres localizado no meio de quadra (CONTRAN, 2014). O Manual de Sinalização Horizontal (2007), destaca que as sinalizações horizontais, são classificadas conforme a sua função, sendo estas:

- Ordenar e canalizar o fluxo de veículos;
- Orientar o fluxo de pedestres;
- Orientar os deslocamentos de veículos de acordo com as condições físicas da via, bem como, geometria, topografia e obstáculos;
- Complementar os sinais verticais de regulamentação, advertência ou indicação, visando enfatizar a mensagem que o sinal transmite;
- Regulamentar os casos previstos no CTB.

### **2.3.3 Sinalização Semafórica**

A sinalização semafórica é um subsistema da sinalização viária, composta por indicações luminosas, acionadas alternada ou intermitentemente por meio de sistema elétrico/eletrônico. Esta sinalização possui dois grupos, sendo sinalização de advertência, afim de advertir sobre situações especiais, ou de regulamentação, ordenando o fluxo de pedestres e veículos respectivamente (CTB, 2017; ARAUJO, 2014).

A sinalização semafórica de advertência possui a função de alertar aos usuários sobre situações perigosas ou adversas existentes, fazendo com que o condutor preste atenção, reduzindo a velocidade na via (CONTRAN, 2014). Este dispositivo possui um conjunto de indicações luminosas intermitentes na cor amarelo, demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Sinalização semafórica de advertência

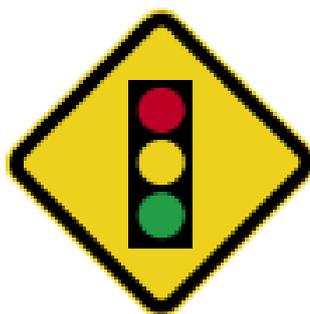
TIPO DO SEMÁFORO	POSIÇÃO VERTICAL	POSIÇÃO HORIZONTAL
<b>Veicular</b>		

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014, p. 29)

A sinalização semafórica de regulamentação, define o direito de passagem na via, controlando o trânsito, a partir da sequência de cores, transmitindo mensagens, diferentes para veículos e pedestres. A luz verde para os veículos indica o direito de passagem, e a proibição de passagem é determinada pela luz vermelha, obrigando o condutor a parar. A luz amarela é um aviso de que o direito de passagem está terminando, obrigando o condutor a para, salvo se o veículo estiver no cruzamento sendo impossível parar em condições de segurança, nessa situação o veículo deve prosseguir mesmo que a sinalização apresente a luz amarela (CONTRAN, 2014).

O semáforo não estando visível, deve ser utilizada a placa A-14 em conjunto, advertindo que há semáforo à frente, conforme mostra a Figura 2 regulamentado no Volume II do Manual Brasileiro de Trânsito (CONTRAN, 2007).

Figura 2 - Placa A – 14 indicando semáforo à frente



Fonte: Adaptado de CONTRAN (2007, p. 4)

As indicações luminosas direcionais permitem ou restringem o direito de passagem apenas para a movimentação de sua aproximação. A Figura 3 mostra as posições e representações gráficas dos tipos de semáforos, com suas formas e indicações luminosas, para veículos e pedestres (CONTRAN, 2014).

Figura 3 – Representação de semáforos para veículos e pedestres

TIPO DO SEMÁFORO	POSIÇÃO VERTICAL	POSIÇÃO HORIZONTAL
Veicular		 Observação: Só utilizar quando projetado sobre a via.
Veicular Direcional	 Observação: Opcionalmente, pode-se utilizar foco amarelo com seta.	 Observações: Só utilizar quando projetado sobre a via; Opcionalmente, pode-se utilizar foco amarelo com seta.
Veicular Direção Livre		
Veicular Controle de Acesso Específico		
Veicular Controle de Faixa Reversível	Em semáforos de LED pode se usado foco único.	
Pedestre		

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014, p. 28)

De acordo com CONTRAN (2014) o semáforo de pedestres controla a movimentação de pessoas nas faixas de segurança e as indicações luminosas são nas cores vermelho e verde. A representação gráfica é com um elemento quadrado, na forma de um pedestre, na coloração verde, em posição de caminhada, permitindo a passagem e a proibição de passagem pela mão aberta em vermelho, ou pela representação de um pedestre na cor vermelha em posição imóvel, demonstrado na Figura 3. A indicação que o direito de passagem está terminando é dada pela luz vermelha picante, devendo o pedestre, que já iniciou a travessia, concluí-la, e os que não iniciaram não devem iniciar, porque não haverá tempo o suficiente para concluí-la. O pedestre em um cruzamento metaforizado deve acionar o dispositivo denominado botoeira, como mostra a Figura 4, sendo sua presença detectada e indicando o desejo de realizar a travessia. Nestes locais o controlador de tráfego implementa o tempo de travessia associando com a demanda (CONTRAN, 2014).

Figura 4 – Exemplo de botoeira



Fonte: CONTRAN (2014, pág. 35)

O dispositivo deve ter em conjunto, a sinalização educativa indicando para o pedestre a necessidade de acionar o dispositivo para realizar a travessia como apresenta a Figura 5 (CONTRAN, 2014).

Figura 5 – Sinalização educativa



Fonte: CONTRAN (2014, pág. 35)

#### **2.4 Conceitos básicos para o controle semaforico**

Definir a operação de um semáforo ou realizar a sua programação, estabelece o direito de passagem (estágios) e o tempo atribuído a cada fluxo (tempo de verde). Enquanto a determinação de estágio depende do conhecimento dos conflitos de fluxos, o tempo de verde deve passar por critérios precisos (LUNA, 2003).

O parâmetro que dificulta a programação semaforica é a variação do fluxo de tráfego visto que este é variável no decorrer do tempo, por consequência o tempo de verde deve variar para se adequar a essa nova demanda (LUNA, 2003).

Os estudos para justificar a implantação de um semáforo adotados pela CET-SP devem ser motivados pelos seguintes critérios: aspectos de segurança da via, fluidez de veículos e tempo de espera dos pedestres (VILANOVA,2006).

Segundo CONTRAN (2014), a implantação da sinalização semaforica requer adoção de medidas de controle, gerando consequências positivas e negativas. Portanto, deve ser realizado um estudo prévio na fase de projeto antes da instalação, identificando as travessias críticas, o número de acidentes evitados após a ordenação dos movimentos conflitantes, pesquisas de fluxo e características da via.

Para Cucci Neto (2018), os movimentos podem ser classificados em dois grupos, movimentos veiculares conflitantes e movimentos conflitantes não

compatíveis. No qual para o primeiro grupo nas trajetórias não ocorrem conflitos em nenhuma interseção. E para o seguinte, ocorre interceptação dos veículos, embora os veículos não tenham a mesma origem. A Figura 6, mostra um exemplo de diagrama de conflitos, a localização das aproximações e os possíveis movimentos.

Figura 6 – Representação de diagrama de conflitos



Fonte: CONTRAN (2014, pág. 42)

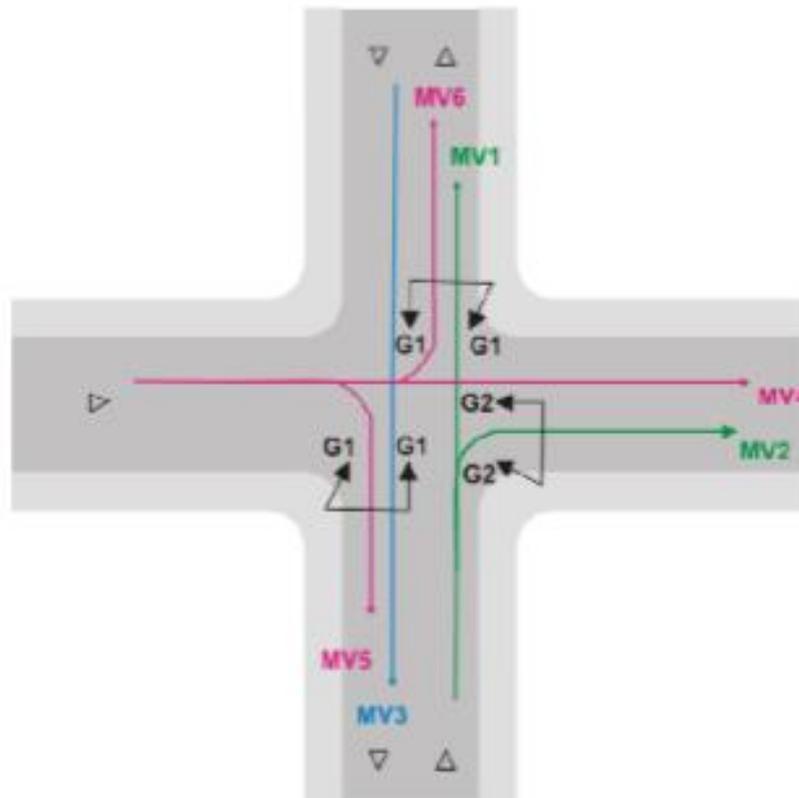
#### 2.4.1 Grupo semafórico

Segundo Rosa (2013), grupos semafóricos são conjuntos mínimos de grupos focais, necessários para a determinação do direito de passagem de um ou mais movimentos veiculares ou de pedestres.

Grupo semafórico ocorre quando dois ou mais fluxos de tráfego recebam simultaneamente a mesma indicação, transmitida pelos sinais luminosos. Se estes forem um conjunto, assume-se nesse caso que o controlador que regula os sinais luminosos desses fluxos de tráfego será o mesmo (COSTA, SECO,

VASCONCELOS, 2005). Para que o grupo focal seja do mesmo grupo semafórico, este deve ter o início e final no verde, ocorrendo ao mesmo tempo (CONTRAN, 2014). A Figura 7, mostra os grupos de movimentos e os grupos semafóricos.

Figura 7 – Grupo de movimentos e grupo semafórico



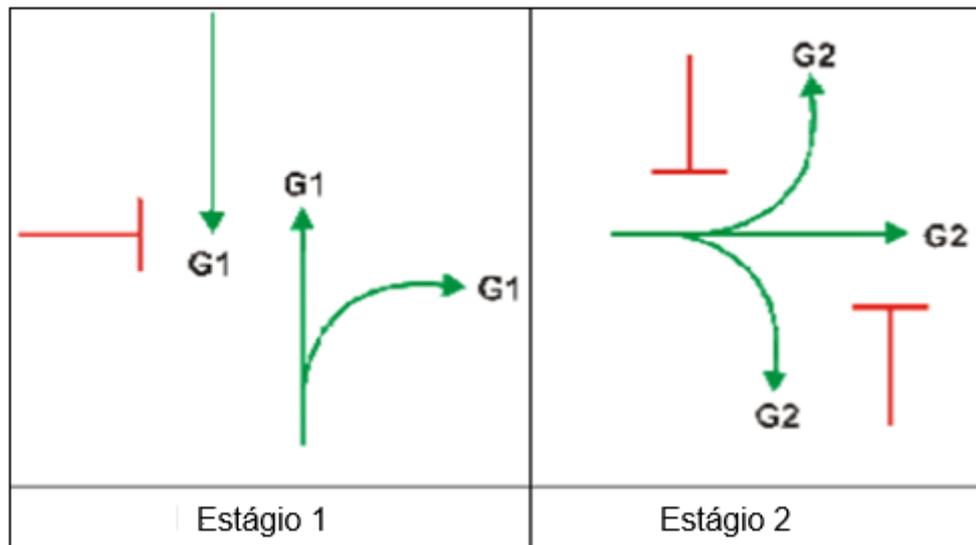
Fonte: CONTRAN (2014b, pág. 73)

#### 2.4.2 Estágio semafórico

Estágio é definido como o intervalo de tempo em que um ou mais grupos de movimentos não conflitantes, recebem simultaneamente o direito de passagem, compreendendo o tempo de verde e de entreverdes que o segue para cada fase no cruzamento. Neste contexto, é importante determinar os movimentos que podem ser realizados para a determinação do diagrama de estágios, dado este que é necessário para a elaboração de programações semafóricas (CONTRAN, 2014; CUCCI NETO, 2018).

A Figura 8, representa um exemplo de diagrama de estágios, onde os movimentos em verde indicam o direito de passagem, e na cor vermelha a obrigatoriedade de parar.

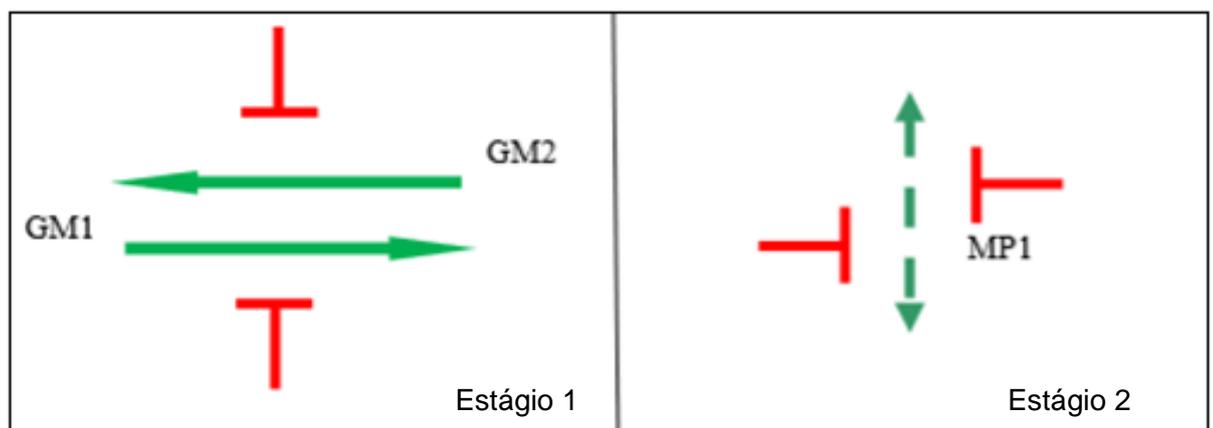
Figura 8 – Exemplo de diagrama de estágios



Fonte: Adaptado CONTRAN (2014, p. 75)

Nos cruzamentos com semáforos de pedestres, os movimentos compatíveis devem ser demonstrados no diagrama de estágios. Na Figura 9, é ilustrado dois possíveis estágios, sendo o estágio 1 a permissão dos veículos das aproximações dos grupos G1 e G2 se movimentarem, já no estágio 2, quando o pedestre aciona a botoeira, é permitido a sua passagem e obrigatoriedade dos veículos dos grupos G1 e G2 pararem, até que este conclua a travessia (CONTRAN, 2014).

Figura 9 – Diagrama de estágios veicular e com pedestres



Fonte: CONTRAN (2014, p. 189)

### **2.4.2.1 Tempo de ciclo**

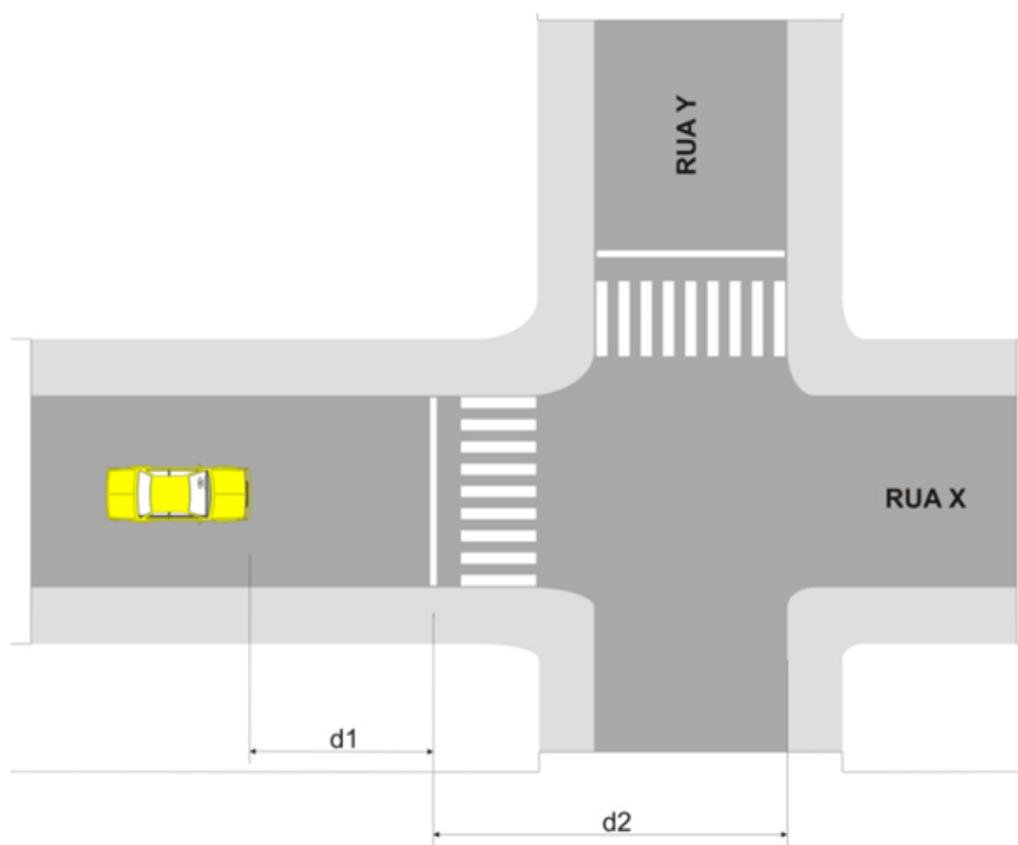
O manual V do CONTRAN (2014) define tempo de ciclo como sendo a sequência completa das indicações luminosas (verde, amarelo, vermelho). A duração do tempo de ciclo completo é a soma dos tempos de todos os estágios programados. O tempo máximo de ciclo é limitado em 120 (cento e vinte) segundos, salvo em situações excepcionais de tráfego ou geometria da via, nesse caso deve ser implementada uma travessia de pedestres. A sequência de ciclos se repete e normalmente são idênticas no decorrer do tempo (SPIGOLON, 2010).

### **2.4.2.2 Entreverdes**

Após o fim de uma fase de um tempo de verde de uma aproximação e antes do início do tempo de verde da aproximação seguinte, ocorre um intervalo de tempo, imposto por razões de segurança, levando em consideração em conta as mudanças de funcionamento do cruzamento. Este período é constituído pelos tempos de amarelo e vermelho geral (COSTA; SECO; VASCONCELOS; 2005). O Manual V, menciona que os tempos de entreverdes de veículos diferem com o de pedestres (CONTRAN, 2014).

O tempo de entreverdes tem a atribuição de evitar acidentes entre os veículos que estão perdendo o direito de passagem com aqueles que iniciarão a travessia. Esse tempo deve assegurar que os veículos que receberam a indicação amarela, mas estejam a uma distância insuficiente da linha de retenção para que possam parar com segurança, atravessem a área de conflito sem colidir com os demais. Logo, o entreverde deve ser suficiente para que os veículos consigam percorrer o trajeto (d1), mostrado na Figura 10 até a linha de retenção e assim concluir a travessia, deixando a área de conflito (d2) da interseção, antes que os demais usuários da via recebam a permissão de passagem. Se o tempo de entreverdes não contemplar o cruzamento do veículo, este estará no meio da área de conflito, quando o outro estágio começar, logo, o redimensionamento é necessário para que ocorra a diminuição de acidentes e aumente a segurança na via (CONTRAN, 2014; VILANOVA, 2015).

Figura 10 – Distâncias percorridas em uma aproximação



Fonte: CONTRAN (2014, p. 90)

O tempo de entreverdes necessário é calculado através da Equação 1, e especificada pelo CONTRAN (2014), sendo dimensionado para a posição mais desfavorável.

$$t_{ent} = t_a + t_{vg} \quad \dots(1)$$

Onde:

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

$t_a$ : tempo de amarelo, em segundos;

$t_{vg}$ : tempo de vermelho geral, em segundos.

### 2.4.2.3 Tempo de verde de segurança

Dimensionado para que seja evitado um tempo de verde curto, visto que mesmo que atendam a demanda devido o curto tempo podem favorecer a ocorrência de acidentes. Com o intuito de evitar é definido o parâmetro de tempo de verde de segurança sendo este o valor mínimo variando de 10 a 20 segundos nunca inferior (CONTRAN, 2014).

### 2.4.2.4 Tempo de amarelo

O tempo de amarelo é o tempo para avisar ao condutor que está próximo da mudança de sinal, onde a nova situação o obriga a parar. O tempo de amarelo depende das características da via, como velocidade, classificação da via conforme o item 2.1, e inclinação, este é calculado conforme a Equação 2 definida pelo CONTRAN (2014).

$$t_{am} = t_{pr} + \frac{v}{2 a_{ad \pm ig}} \quad \dots(2)$$

$t_{am}$ : tempo de amarelo;

$t_{pr}$ : 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, onde “+” em rampas ascendentes e “-” em rampas descendentes (m/m);

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

O CONTRAN (2014) recomenda que em lugares que não apresentem condições particulares de topografia ou composição de tráfego, deve-se utiliza-se os valores de 1 (um) segundo para o tempo de percepção e reação do condutor ( $t_{pr}$ ), 3 (três) segundos de máxima taxa de frenagem ( $a_{ad}$ ) e o comprimento ( $c$ ) do veículo com 5 (cinco) metros onde há predominância de fluxos de automóveis. Em situações especiais esses valores devem ser obtidos de acordo com as características da via. Em vias com velocidade até 40 km/h, o tempo de amarelo não deve ser inferior a 3

(três) segundos, nas vias com velocidades entre 50 e 60 km/h, não pode ser inferior a 4 (quatro) segundos, limitado em no máximo 5 (cinco) segundos.

#### 2.4.2.5 Tempo de vermelho geral

Vermelho geral, também denominado como vermelho total, é o tempo em que todos os grupos focais permanecem com a indicação luminosa vermelha. Desta forma aumenta a segurança do cruzamento, devido a proibição de passagem de todos os fluxos conflitantes (SPIGOLON, 2010). O tempo de vermelho geral é obtido através da Equação 3, este tempo deve ser o suficiente para que o veículo que cruzar a retenção consiga sair da área de conflito ( $d_2$ ) ilustrada na Figura 10.

$$tvg = \frac{d_2 + c}{v} \quad \dots(3)$$

Onde:

$tvg$ : tempo de vermelho geral, em segundos;

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

$c$ : comprimento do veículo, em metros;

$v$ : velocidade, em m/s.

#### 2.4.3 Demanda/Fluxo de tráfego

Segundo Bernardinis (2018) demanda é o desejo de uma ou mais pessoas, realizar deslocamentos. Desse modo, a demanda é derivada de outras demandas, como a necessidade de deslocar-se. O autor afirma que a demanda pode ser caracterizada como satisfeita e reprimida, enquanto alguns usuários satisfazem suas necessidades, outros não conseguem realizar o trajeto desejado no tempo disponível respectivamente. A demanda reprimida pode ser satisfeita após planejamento, para que não beneficie somente alguns, assim como para desperdício de recursos.

De acordo com Campos (2013) a demanda é utilizada para realização de melhorias, devendo esta ser quantificada, para o conhecimento da distribuição na

área de estudo, pois com modelos de planejamento e compreensão da demanda, é são definidas as alternativas que melhor se adequem a região (KRIPKA, M; LACORTT, M; e KRIPKA, R. 2013).

#### **2.4.3.1 Método de contagem de Tráfego**

A demanda de uma determinada aproximação é conhecida através da contagem de veículos. O manual de estudos de tráfego DNIT (2006) sugere que o método adequado para trechos com baixo volume é a contagem manual com o auxílio de fichas e contadores manuais. O volume de tráfego pode ser obtido com câmera de filmagens, através de videoteipe, sendo que esse método possui as seguintes vantagens:

- Obtenção dos movimentos ocorrendo simultaneamente;
- Maior precisão nas contagens;
- Conforto ao realizar os levantamentos;
- Pode ser obtido outros dados de interesse.

O formulário da Figura 11 é sugerido pelo Manual de Sinalização Semafórica para a realização de contagens direcionais e classificatórias para cada aproximação, sendo os dados coletados a cada 15 minutos (CONTRAN, 2014).

Figura 11 – Folha de campo para pesquisa de volume de tráfego

PESQUISA DE VOLUME DE TRÁFEGO DIRECIONAL E CLASSIFICATÓRIA				
Local:				
Aproximação:				
Croqui:				
Pesquisador:				
Data:			Dia da Semana:	
Selecionar tipo(s) de veículo a ser pesquisado				
Hora	Motocicleta	Automóvel	Ônibus	Caminhão
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 - 9:30				
Observações:				

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014, p. 268)

As contagens em vias urbanas devem conter um critério de agrupamento de veículos com base em características semelhantes de operação de automóveis, ônibus e caminhões.

O veículo equivalente tem como referência o automóvel, para o qual se adota o fator de equivalência = 1,0 ucp (unidade de carro de passeio) a Tabela 1 mostra o fator de equivalência para os demais veículos em circulação (CONTRAN, 2014; DNIT, 2016).

Tabela 1 – Fator de equivalência para diferentes tipos de veículos

Tipo	Fator de equivalência
Automóvel	1,00
Moto	0,33
Ônibus	2,00
Caminhão (2 eixos)	2,00
Caminhão (3 eixos)	3,00

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014, p. 85)

#### 2.4.4 Oferta/Fluxo de saturação

Silva (2007) relaciona o fluxo de tráfego com a vazão de um fluido. O autor defende que a quantidade de carros que cruzam em uma seção de via, em determinado intervalo de tempo, resulta em um fluxo de veículos por hora, e então, segundo a analogia hidrodinâmica, o fluxo de veículos corresponde a vazão de um fluido de um duto. De acordo com Cucci Neto (2018) oferta é a capacidade de máximo fluxo em um trecho de via, e os fatores que influenciam na oferta da via são: geometria, tipo de pavimento, controladores de tráfego, sinalização e fatores climáticos. Desse modo é de suma importância o conhecimento do fluxo de saturação, visto que esse parâmetro é fundamental para a determinação dos tempos semaforicos (LOUREIRO; LUNA; CUCCI NETO, 2005).

O fluxo de saturação em uma interseção semaforizada, é determinado simulando um escoamento ininterrupto, formando uma fila de veículos nesta aproximação, com 100% de tempo de verde. O fluxo de saturação é representado pela unidade de veículos por hora de tempo de verde (veículos/htv) (LACORTT, KRIPKA; KRIPKA, 2013).

Spigonolon (2010) corrobora as citações anteriores, mencionando que fluxo de saturação é o máximo fluxo de veículos numa faixa que pode passar em um cruzamento semaforizado quando a representação luminosa está verde, se na faixa não houvesse mudança de sinal, no intervalo de uma hora. O autor cita que o fluxo de saturação na via depende dos seguintes fatores:

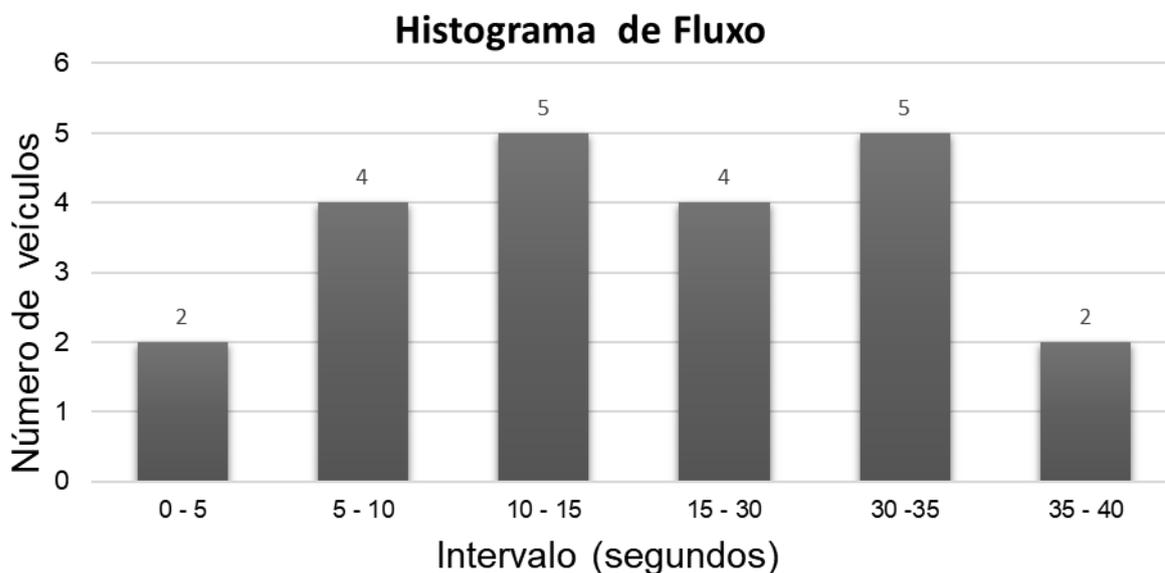
- Largura;
- Inclinação;
- Porcentagens de veículos pesados;
- Conversões a esquerda e ou a direita;
- Tipo e estado de conservação;
- Número de manobras para estacionamento;
- Número de paradas de ônibus;
- Postos de combustíveis e;
- Paradas de veículos para embarque e desembarque.

#### 2.4.5 Método DENATRAN

Segundo Fornaciari (2010) a taxa de fluxo de saturação pode ser estimada através de modelos teóricos ou de levantamento em campo, utilizando recursos tecnológicos como câmeras de filmagens e computadores portáteis para a coleta de dados. A metodologia proposta pelo DENATRAN (2019) compreende a obtenção do número de veículos que passam na aproximação em intervalos de cinco segundos. O fluxo de saturação pode ser obtido para faixas e aproximações com base no método do DENATRAN (2019) a partir de histogramas de tráfego, reproduzindo o gráfico fluxo x tempo proposto por Webster. O método requer que a aproximação esteja saturada no período de verde e amarelo, admitindo-se fluxo contínuo de veículos, nesta simulação pretende-se que a largura da aproximação tenha o máximo aproveitamento, obtendo o fluxo de saturação da via (LUNA,2003).

Em contrapartida a metodologia proposta pelo CONTRAN (2014) mede o fluxo de saturação através do tempo inicial e final perdido *in loco* por grupo de movimentos. A coleta de dados deve iniciar na abertura do verde, onde em intervalos cumulativos de 5 segundos deve ser anotada a quantidade de carros que passam na linha de retenção. O fluxo de saturação é determinado realizando a média aritmética dos veículos de cada aproximação, não considerando o primeiro e o caso de ciclos que contenham parte do entreverdes. A Figura 12 representa um exemplo de histograma de fluxo de veículos de uma aproximação.

Figura 12 – Exemplo de Histograma de Fluxo

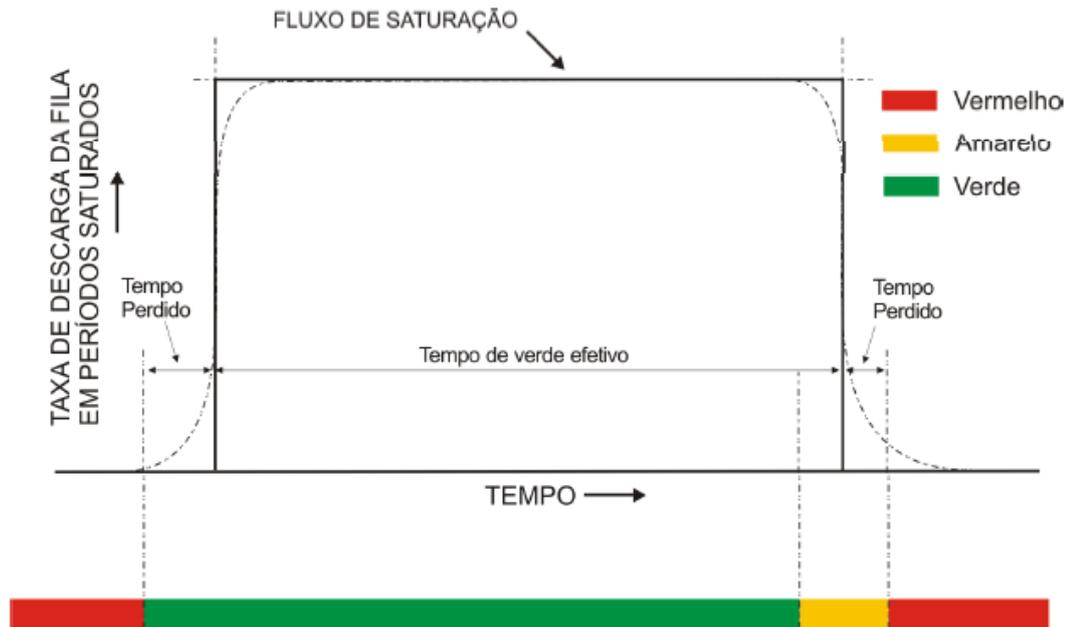


Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014, p.116)

#### 2.4.6 Método de Webster

O método de Webster (1964) calcula o tempo de ciclo ótimo como sendo o tempo mínimo de espera veicular. Este método supõe chegadas aleatórias dos veículos nas aproximações, portanto sua utilização não é recomendada quando essa condição não ocorrer e em interseções com alto grau de saturação (CONTRAN, 2014). O modelo de tráfego foi desenvolvido com simulações computacionais de uma aproximação em uma interseção controlada por semáforo de tempo fixo. Este considerou todas as possíveis situações combinando os tempos de verde, tempo de ciclo, fluxo de tráfego e fluxo de saturação. Webster (1964) interpretou a partir de seu método o comportamento do desmanche de filas na abertura do verde, mostrado na Figura 13 (LUNA, 2003).

Figura 13 – Modelo de comportamento do tráfego



Fonte: Luna (2003, p.14)

A partir da observação da Figura 13, cabe ressaltar que ao iniciar o tempo de verde os veículos levam determinado tempo para iniciar a travessia, ocorrendo assim perda de tempo inicial, devido ao tempo que o motorista leva para atingir a velocidade normal. Após alguns segundos a fila descarrega a uma taxa aproximadamente constante, obtendo assim o fluxo de saturação (LUNA, 2003). O tempo de ciclo ótimo pelo método de Webster é obtido com a Equação 4:

$$tco = \frac{1,5 \cdot Tp + 5}{1 - \sum_{i=1}^n yi} \quad \dots(4)$$

Onde:

$tco$ : tempo de ciclo (s);

$Tp$ : tempo perdido total (s);

$n$ : número de estágios;

$yi$ : taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio  $i$ .

### 2.4.6.1 Taxa de ocupação

A relação entre demanda ( $F$ ) ou fluxo veicular e o fluxo de saturação ( $FS$ ) em uma aproximação é denominado de taxa de ocupação ( $y$ ). Este parâmetro indica a solicitação do tráfego numa aproximação e determina a capacidade potencial máxima de atendimento (LACORTT; KRIPKA; KRIPKA, 2013). A taxa de ocupação de um grupo de movimentos é obtida através da Equação 5, definida pelo CONTRAN (2014).

$$y = \frac{F}{FS} \quad \dots(5)$$

Onde:

$y$ : taxa de ocupação;

$F$ : fluxo de tráfego, em ucp por hora;

$FS$ : fluxo de saturação, em ucp por hora.

Para obter o tempo de verde, calculado pelo método de Webster utiliza-se a Equação 6.

$$t_{v,efet,i} = (tc - Tp) \frac{y_i}{\sum_{t=1}^n y_i} \quad \dots(6)$$

Onde:

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

$tc$ : tempo de ciclo, em segundos;

$Tp$ : tempo perdido total, em segundos;

$y_i$ : fração de verde necessária para o estágio  $i$ , em segundos;

$n$ : número de estágios.

### 2.4.7 Método do Grau de Saturação Máximo

O método de grau de saturação máximo é obtido baseando-se no grau máximo definido pelo projetista para cada grupo de movimentos no período de 15 minutos de volume máximo (CONTRAN, 2014). Este método é uma excelente

ferramenta para realização da programação semafórica, para isso, inicialmente deve ser escolhido o grau de saturação desejado para cada um dos links, posteriormente calculam-se os tempos de ciclos e de verde que geraram os graus de saturação (VILANOVA, 2005).

O grau de saturação de um link é normalmente representado pelo símbolo  $x$ , representando o nível de carregamento da via, se o grau de saturação de um link for de 100 % ( $x = 1$ ), o tempo de verde é suficiente para escoar todos os veículos. O grau de saturação de um link resultando em 50 % ( $x = 0,5$ ), significa que poderia ter passado o dobro de veículos no período de verde, se fosse 150 % ( $x = 1,5$ ), conclui-se que dois terços dos veículos conseguiram passar, porém um terço ficou retido para o ciclo seguinte. A teoria indica que a escolha do grau de saturação vai de 80% a 90% ( $0,8 \leq x \leq 0,9$ ), nesta faixa obtém-se menores atrasos dos veículos (VILANOVA, 2005).

Vilanova (2005) afirma que a escolha do intervalo sugerido conduz a tempos de ciclo que resultam em redução de flutuações na demanda, devido à redução no fluxo de saturação. Assim, o autor sugere que não seja adotado valores de  $x$  menores que 0,75, devido ao excessivo tempo de verde ocioso. Não havendo elevada saturação, ou fatores especiais que justifiquem outros valores, recomenda-se  $x = 0,88$  para todos os links críticos. O método inicia pela obtenção de fração de verde para cada estágio e grupos de movimentos críticos, sendo obtida a partir da Equação 7.

$$p_i = \frac{y_i}{x_{mi}} \quad \dots(7)$$

Onde:

$p_i$ : fração de verde necessária para o estágio  $i$ ;

$y_i$ : taxa de ocupação;

$x_{mi}$ : grau de saturação máximo.

Após obter-se a fração de verde para cada estágio, é possível determinar o tempo de ciclo com a Equação 8.

$$tc = \frac{Tp}{1 - \sum_{i=1}^n pi} \quad \dots(8)$$

Onde:

$tc$ : tempo de ciclo em segundos;

$Tp$ : tempo perdido total em segundos;

$pi$ : fração de verde necessária para o estágio  $i$ ;

$n$ : número de estágios.

Em casos especiais, onde se deseja obter um único grau de saturação  $xm$  para todos os grupos de movimentos, a determinação do tempo de ciclo da interseção é obtida pela Equação 9.

$$tc = \frac{xm \cdot Tp}{xm - \sum_{i=1}^n yi} \quad \dots(9)$$

Onde:

$tc$ : tempo de ciclo, em segundos;

$xm$ : grau de saturação;

$Tp$ : tempo perdido total, em segundos;

$n$ : número de estágios;

$yi$ : taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio  $i$ .

O tempo de verde efetivo determinado pelo método do Grau de Saturação Máximo, é calculado de acordo com a Equação 10.

$$t_{v,efe,i} = pi * tc \quad \dots(10)$$

Em que:

$t_{v,efe,i}$ : tempo de verde efetivo do estágio  $i$ , em segundos;

$pi$ : fração de verde requerida para o estágio  $i$ ;

$tc$ : tempo de ciclo em segundos.

Com a Equação 11, é possível obter o tempo de verde efetivo.

$$t_{v,real} = t_{v,ef} - t_{ent} + t_{pin} + t_{pfn} \quad \dots(11)$$

Onde:

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

$t_{v,ef}$ : tempo de verde efetivo, em segundos;

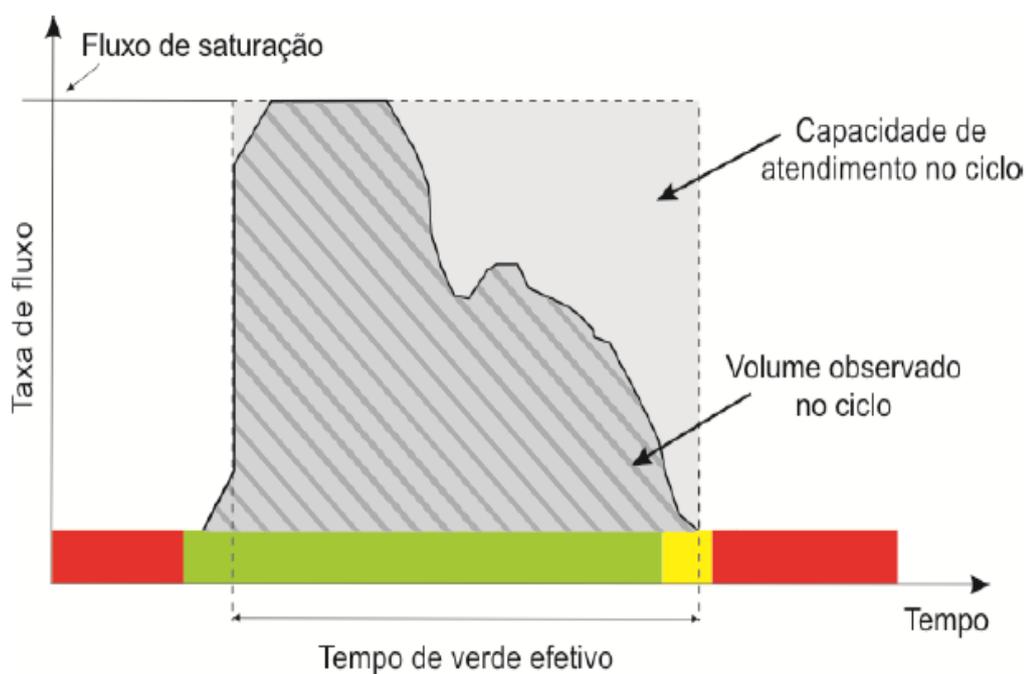
$t_{ent}$ : tempo de entreverdes, em segundos;

$t_{pin}$ : tempo perdido, em segundos;

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

A Figura 14, mostra o conceito do grau de saturação, onde a área hachurada representa o volume que passou durante um ciclo. Neste caso a área do retângulo (capacidade de atendimento no ciclo) é inferior ao volume observado, mostrando o máximo volume que pode passar no ciclo. O aumento da relação entre o volume que passou e o máximo de veículos que pode passar, determinam a máxima saturação da aproximação no ciclo (CONTRAN, 2014).

Figura 14 – Ilustração do conceito do grau de saturação



O grau de saturação em um movimento é calculado pela Equação 12.

$$x = \frac{F}{cap} \quad \dots(12)$$

Em que:

$x$ : grau de saturação;

$F$ : taxa de fluxo do grupo de movimentos, em veículo por hora ou unidades de carro de passeio por hora (ucp);

$cap$ : capacidade em veículos por hora ou ucp por hora.

#### 2.4.8 Capacidade

A capacidade de um grupo de movimentos, é o número máximo de veículos capaz de passar em uma aproximação durante uma hora sendo está controlada por sinalização semafórica, em operação normal. A capacidade é calculada com a Equação 13.

$$Cap = FS \frac{T_{v,efet}}{tc} \quad \dots(13)$$

Em que:

$Cap$  : capacidade, em veículos por hora ou ucp/h;

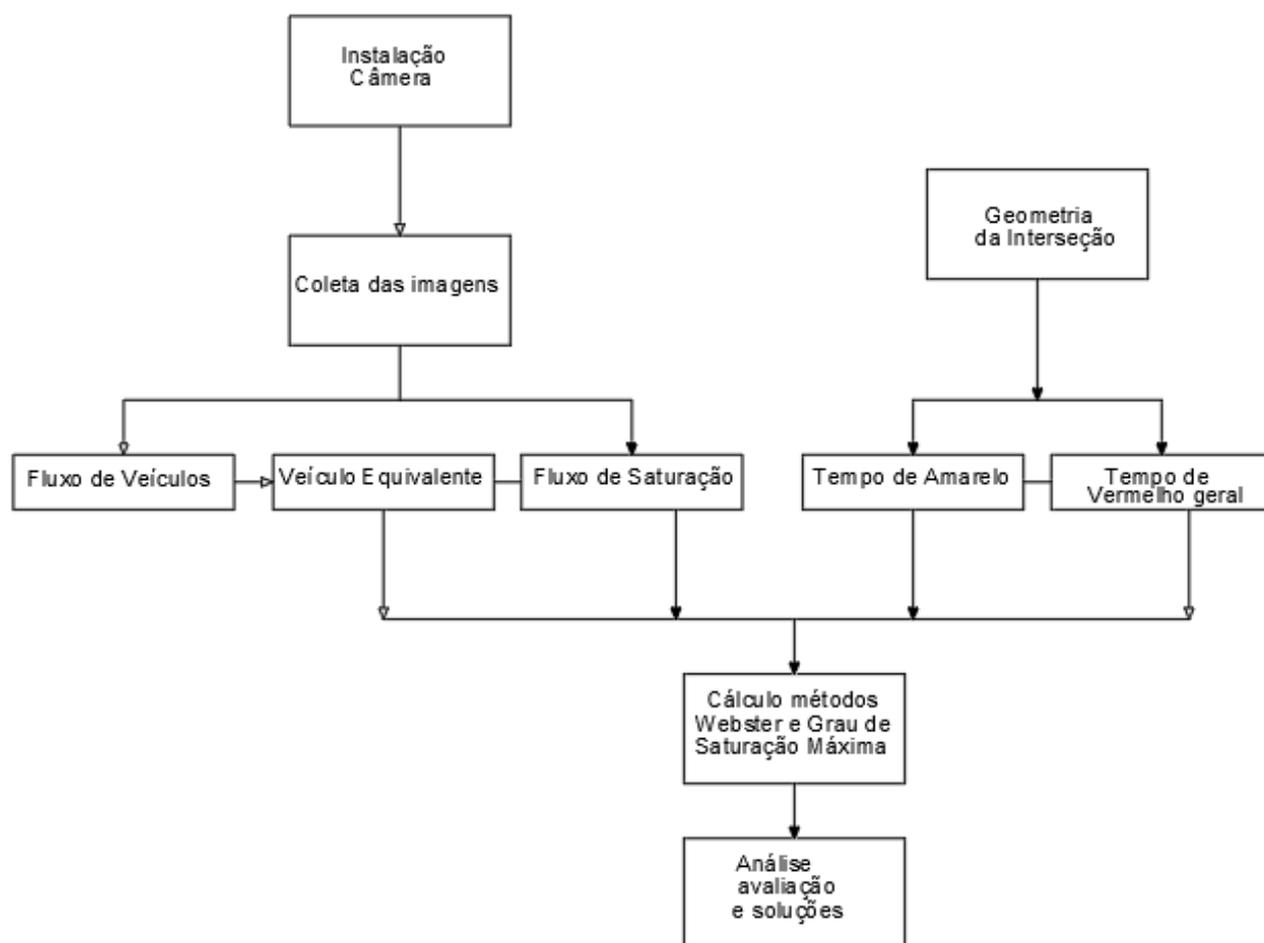
$T_{v,efet}$ : tempo de verde efetivo, em segundos;

$tc$  : tempo de ciclo, em segundos.

### 3 METODOLOGIA

Nesse capítulo é apresentada a localização dos cruzamentos estudados, bem como, os materiais e métodos que foram utilizados para a realização deste estudo. O desenvolvimento do trabalho seguiu conforme o fluxograma da metodologia de pesquisa apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Fluxograma da metodologia de pesquisa



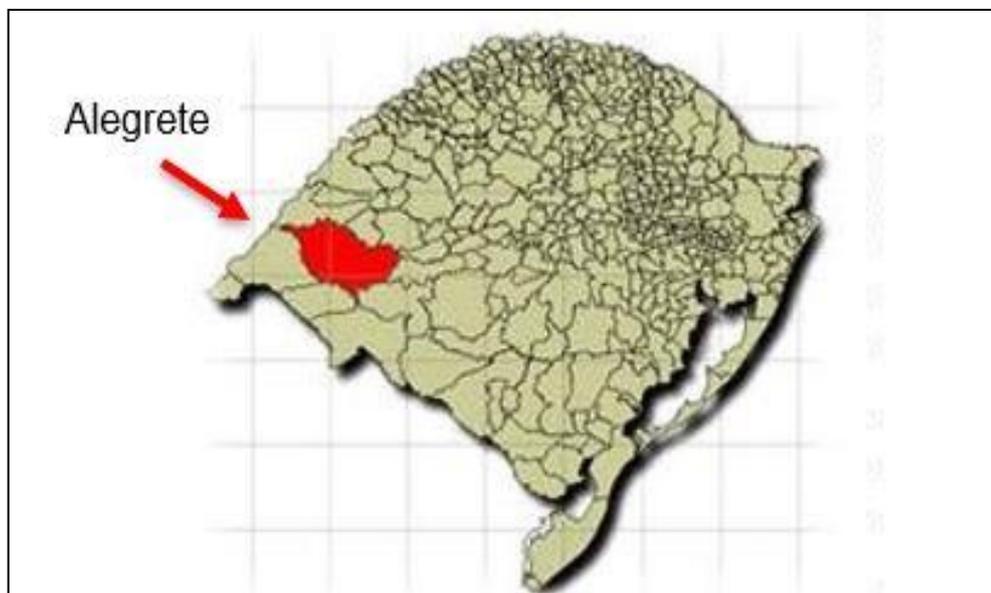
Fonte: Elaboração própria (2020)

#### 3.1 Local do Estudo

A localização das interseções deste trabalho, encontra-se na cidade de Alegrete, mostrada na Figura 16, no estado do Rio Grande do Sul (RS), com extensão territorial de 7,800,163 km<sup>2</sup>. A população estimada no município em 2018 foi de 73.589 habitantes (IBGE, 2019). Na Tabela 2 é possível visualizar o histórico

de crescimento da frota de veículos nos últimos 10 anos. Destaca-se que a frota de veículos licenciados no ano de 2020 em Alegrete é de 39.248. (DETRAN, 2019).

Figura 16 – Mapa do estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Adaptado Prefeitura Municipal de Alegrete (2017)

Tabela 2 – Frota de veículos licenciados em Alegrete/RS

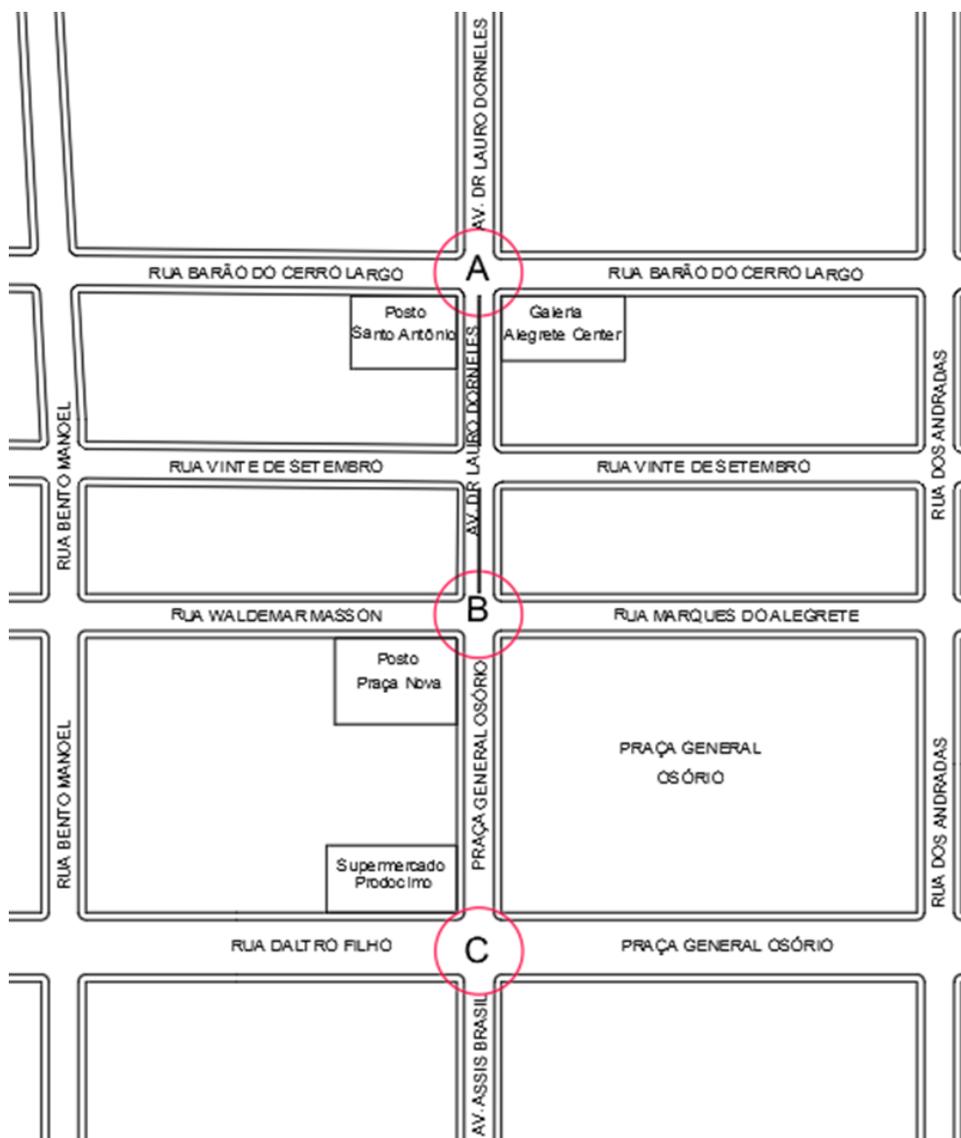
Ano	Nº de veículos
2010	25.323
2011	27.122
2012	28.979
2013	30.669
2014	32.232
2015	33.804
2016	34.929
2017	36.037
2018	37.097
2019	38.264
2020	39.248

Fonte: Adaptado do DETRAN (2020)

Os cruzamentos escolhidos para este trabalho são Avenida Assis Brasil, com as ruas Daltro filho, Praça General Osório, Waldemar Masson, Marquês do Alegrete, e Avenida Dr. Lauro Dorneles com a rua Barão do Cerro Largo, foram escolhidos estes cruzamentos porquê essas vias são as principais ligações entre os bairros com o centro da cidade. Tais cruzamentos devidos sua importância possibilitam a

visualização de um maior fluxo. Os cruzamentos estão destacados com círculo e letras A, B e C na Figura 17.

Figura 17 – Localização das interseções A, B e C



Fonte: Adaptado do Google Maps (2019)

### 3.2 Levantamento de dados *in loco*

Neste item estão expostas as etapas utilizadas na realização do levantamento de dados, para a efetivação da reprogramação e avaliação dos semáforos, instalados nas duas interseções da Avenida Assis Brasil e com a interseção da Avenida Doutor Lauro Dorneles.

Para a obtenção dos ciclos, foi realizada a ilustração dos locais com seus movimentos veiculares para cada grupo semafórico. Além da medição das

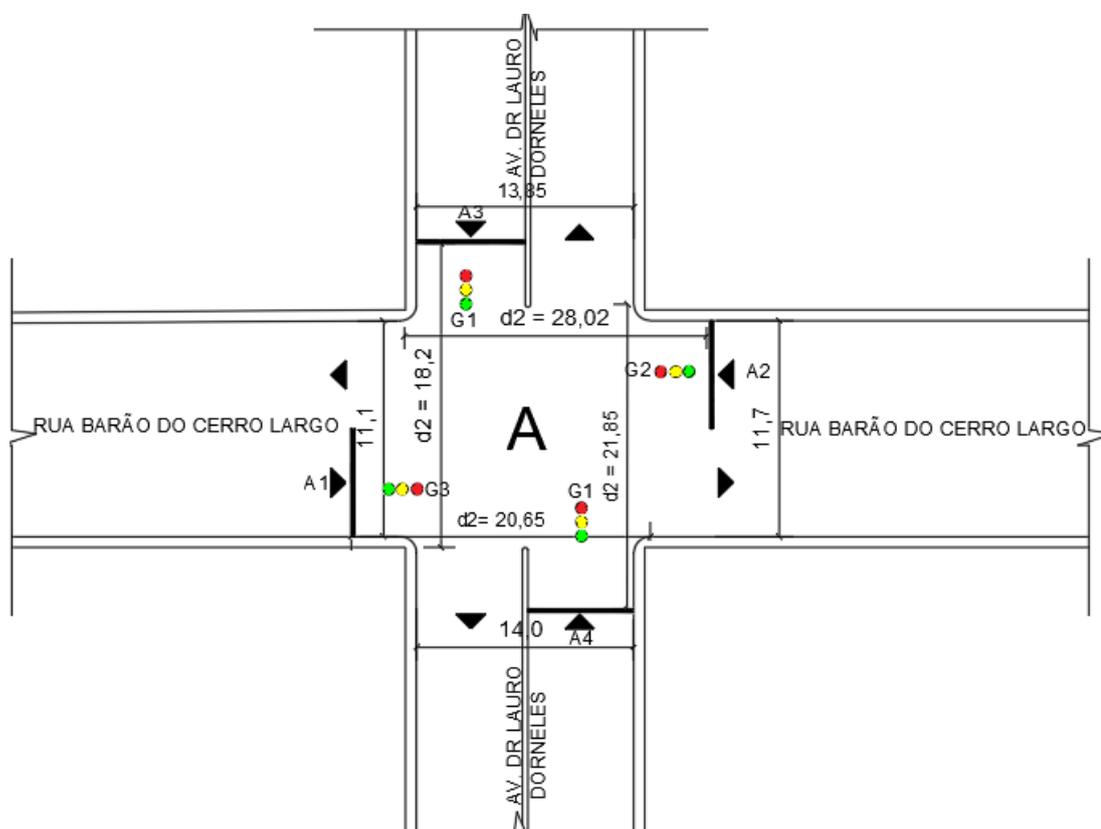
distâncias, realizou-se a contagem do fluxo de veículos utilizando o formulário da Figura 11. Após obter os dados, foi possível calcular uma nova programação semafórica, aplicando os Métodos de Webster e Grau de Saturação Máximo.

### 3.2.1 Características das Interseções

A geometria das vias foi determinada com a utilização do equipamento estação total, onde obteve-se as dimensões das faixas de pedestre, faixas de rolamento, distâncias na via utilizadas nos dimensionamentos dos tempos de vermelho ( $d_2$ ), amarelo ( $d_1$ ) e inclinação em cada aproximação.

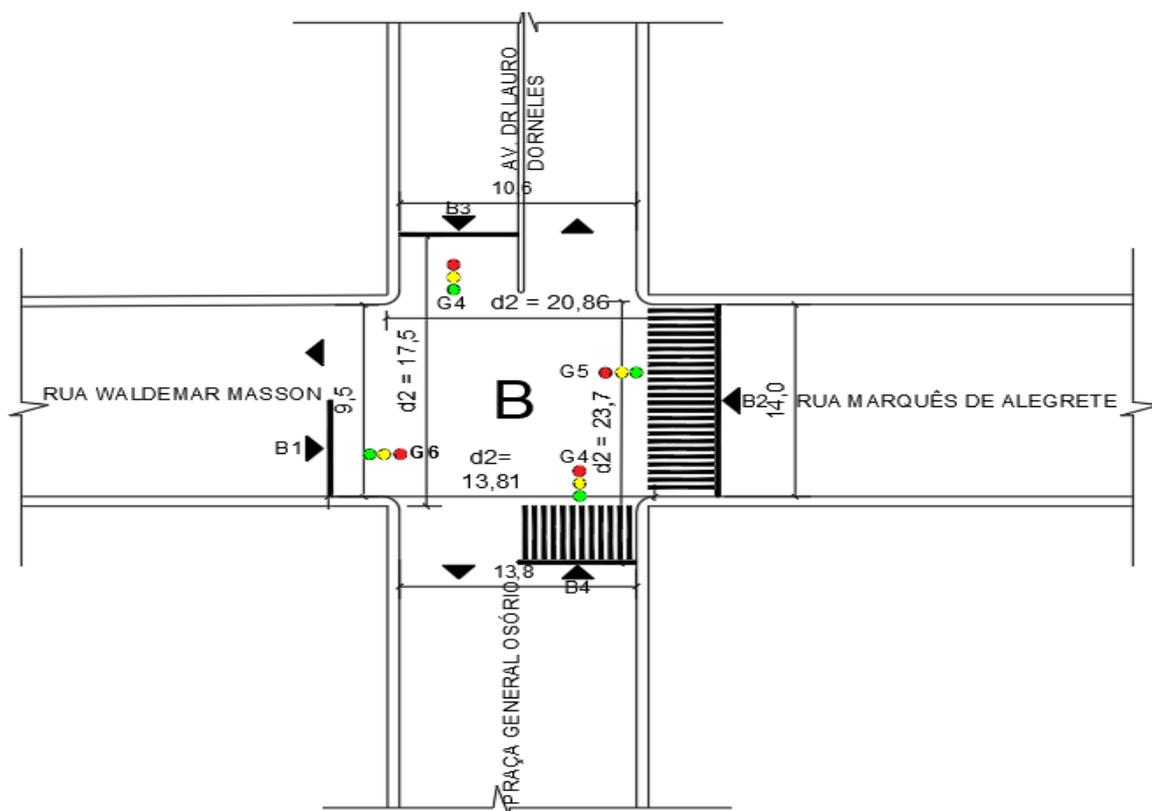
A velocidade adotada no dimensionamento dos tempos de amarelo e vermelho geral foi de 40 km/h para vias coletoras. Os tempos de ciclo atuais nas aproximações foram obtidos com a observação em campo utilizando um cronometro digital. Com a coleta das dimensões dos cruzamentos, foi realizada representações gráficas e para um melhor entendimento enumerou-se as aproximações como mostram as Figuras 18, 19 e 20.

Figura 18 – Representação gráfica interseção A



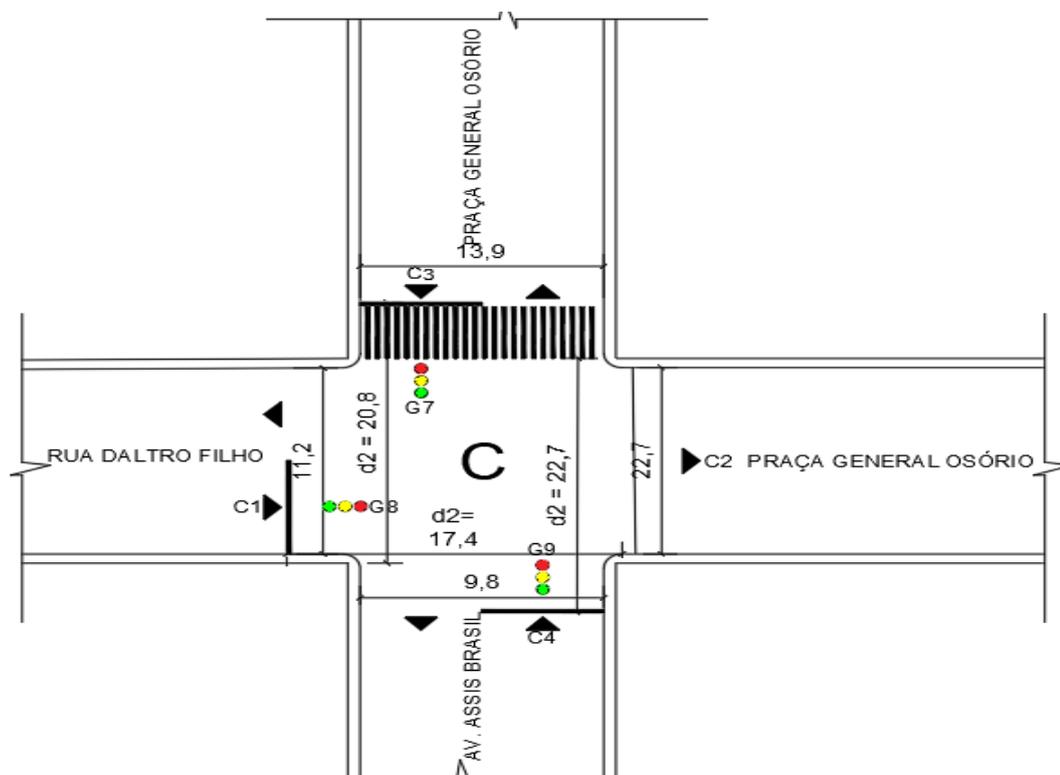
Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 19 – Representação gráfica interseção B



Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 20 – Representação gráfica interseção C



Fonte: Elaboração própria (2019)

### 3.2.2 Contagem de Veículos

A observação ocorreu por meio de videoteipe, com a câmera com Infravermelho, Full HD de 1080P, exibida na Figura 21a, posicionada em cada semáforo. As imagens foram gravadas no DVR da marca Intelbras MHDX 1004 mostrado na Figura 21b. A partir da obtenção das filmagens foi efetuado o tratamento dos dados.

Figura 21 – Equipamentos para obtenção das imagens



a) Câmera filmadora

b) Aparelho de armazenamento

Fonte: Elaboração própria (2019)

As filmagens foram obtidas no período de uma semana e após selecionado um dia típico (sem feriado, sem influência de chuvas, etc.), em cada cruzamento. Com estas imagens determinou-se a quantidade de veículos que passam na via a cada 15 minutos, classificando os veículos por tipo (motocicleta, automóvel, ônibus e caminhão). Posteriormente, determinou-se a quantidade de veículos equivalentes que utilizaram o cruzamento em cada aproximação, de acordo com o fator de equivalência de cada tipo de veículo mostrado na Tabela 1, onde o automóvel é o veículo de referência.

O primeiro levantamento foi do cruzamento C, sendo escolhido para realização deste trabalho o dia 27/09/2019. A Figura 22 mostra as imagens das aproximações do cruzamento C, onde na imagem (A) pode ser observado o fluxo de veículos na aproximação C1 na rua Daltro Filho sentido bairro-centro e na imagem (B) a rua da

Praça General Osório mostrando a aproximação C3, na imagem (C) é visualizado a Av. Assis Brasil com fluxo de veículos da aproximação C4 sentido bairro centro.

Figura 22 – Imagens das aproximações do cruzamento C



Fonte: Elaboração própria (2020)

Para o cruzamento B foi selecionado dois dias para realização das contagens sendo eles os dias 10 e 11 de setembro de 2019, pois a melhor situação encontrada para a obtenção de dados foi a que compreendia os horários das 18:00 horas do dia 10 de setembro às 18:00 horas do dia 11 de setembro de 2019, totalizando assim 24 horas de contagens de veículos. As imagens da Figura 23 mostram as aproximações do cruzamento B, onde na imagem (A) é visualizado a aproximação B1, localizada na rua Waldemar Masson com sentido bairro centro, e na imagem (B) a rua Marques do Alegrete mostrando o fluxo de veículos no sentido centro bairro. Nas imagens (C) e (D) é visualizado a rua da Praça General Osório, onde mostra-se

respectivamente a aproximação B3 com fluxo de veículos no sentido centro-bairro e a aproximação B4 com sentido oposto, bairro-centro.

Figura 23 – Imagens das aproximações do cruzamento B



Fonte: Elaboração própria (2020)

O último cruzamento monitorado foi o A, no qual o dia escolhido para as contagens foi 24/10/2019. A Figura 24 mostra as aproximações monitoradas no momento em que estas apresentam os horários de maiores fluxos no cruzamento A, sendo a imagem (A) referente a aproximação A1 da Rua Barão do Cerro Largo sentido bairro-centro, a imagem (B) mostra a aproximação A2, localizada na mesma rua porem em sentido oposto. As imagens (C) e (D) mostram o fluxo das aproximações A3 e A4 respectivamente, na Av. Dr Lauro Dornelles.

Figura 24 – Imagens das aproximações do cruzamento A



Fonte: Elaboração própria (2020)

### 3.2.3 Entreverdes

Com base nas dimensões das vias mostrados na Tabela 3, foram calculados os tempos de amarelo e vermelho geral conforme a Equações 2 e 3 necessários para obtenção do tempo de entreverdes.

Tabela 3 – Parâmetros obtidos nos cruzamentos

Cruzamento	Aproximação	i (%)	d2 (m)
A	A1	3,96	20,65
	A2	-5,45	28,02
	A3	3,69	18,2
	A4	3,48	21,85
B	B1	1,6	13,81
	B2	-0,79	20,86
	B3	3,48	17,5
	B4	-1,43	23,7
C	C1	1,19	17,37
	C3	2,74	20,8
	C4	0,43	22,68

Fonte: Elaboração própria (2019)

O tempo de entreverdes ( $t_{ent}$ ) foi calculado com a Equação 1, sendo os resultados mostrados na Tabela 4. O tempo de entreverde é utilizado como tempo perdido ( $t_p$ ) em cada ciclo, visto que nenhum dos veículos recebe a permissão de passagem nesses tempos.

Tabela 4 – Tempos calculados

Cruzamento	Aproximação	$t_{am}$ calculado (s)	$t_{am}$ adotado (s)	$t_{vg}$ calculado (s)	$t_{vg}$ adotado (s)	$t_{ent}$ (s)	$t_p$ (s)
A	A1	1,8	2	2,3	3	5	15
	A2	1,3	2	3	3	5	
	A3	1,8	2	2,1	3	5	
	A4	1,9	2	2,4	3	5	
B	B1	2,2	3	1,7	2	5	20
	B2	3,5	4	2,3	3	7	
	B3	1,9	2	2	2	4	
	B4	4,5	5	2,6	3	8	
C	C1	2,3	3	2	2	5	15
	C3	2	2	2,3	3	5	
	C4	2	2	2,5	3	5	

Fonte: Elaboração própria (2020)

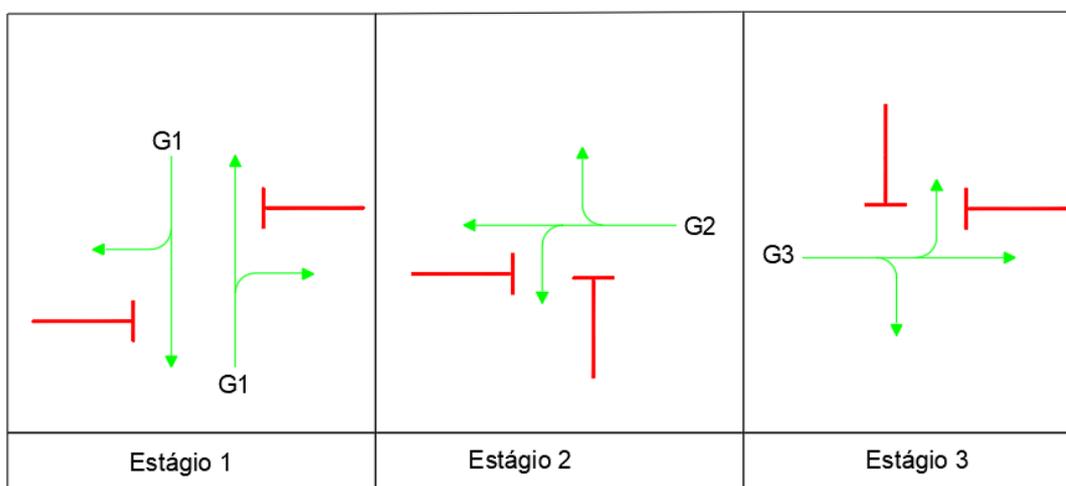
Os resultados de tempo de amarelo ( $t_{am}$ ) e vermelho geral ( $t_{vg}$ ) calculados foram arredondados para cima, uma vez que a forma de programação das sinaleiras é com valores de tempos em números inteiros e por questões de segurança o

número deve ser arredondado para cima. Assim, os valores de tempo de amarelo e tempo de vermelho geral foram denominados de tempos adotados como mostra a Tabela 4.

### 3.3 Reprogramação semafórica

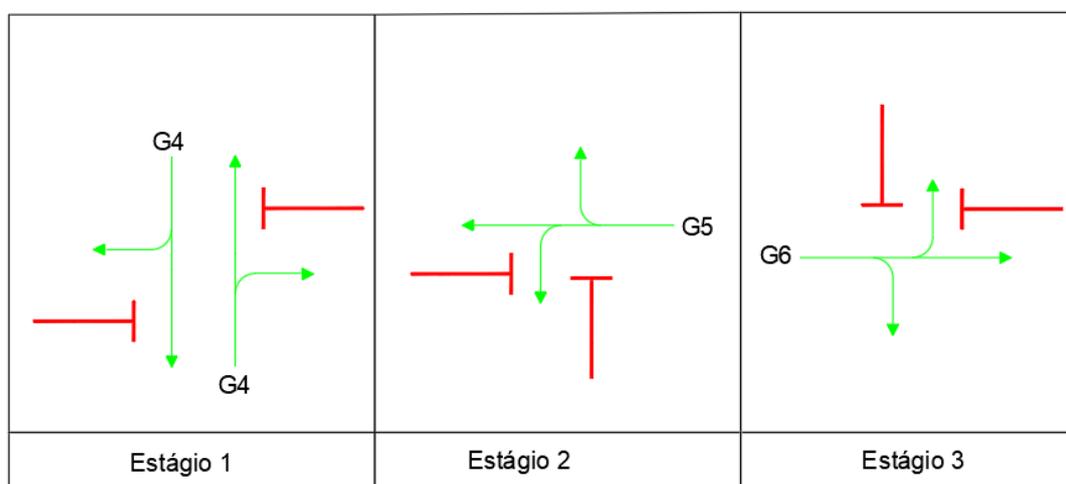
O diagrama de estágios foi elaborado a partir da observação dos movimentos conflitantes já existentes nos cruzamentos, onde foi definido os grupos existentes em cada cruzamento mostrados nas Figuras 25, 26 e 27.

Figura 25 – Diagrama de estágios da interseção A



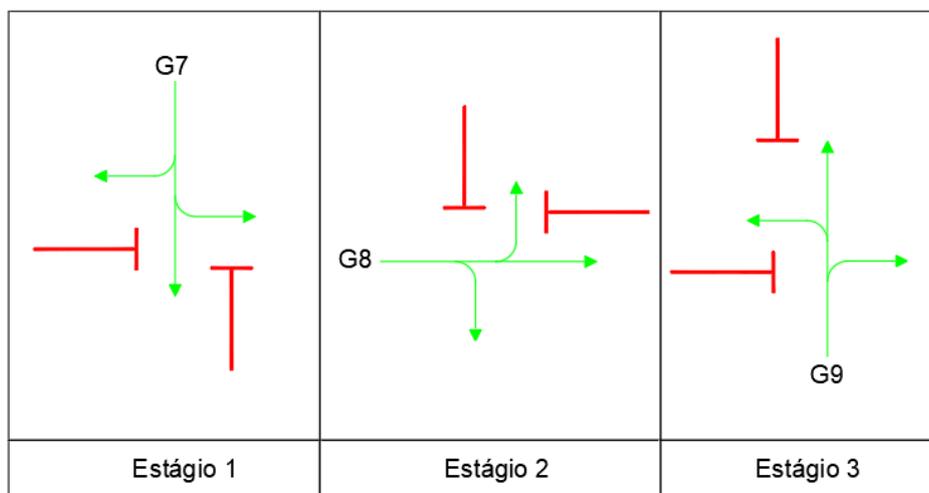
Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 26 – Diagrama de estágios da interseção B



Fonte: Elaboração própria (2019)

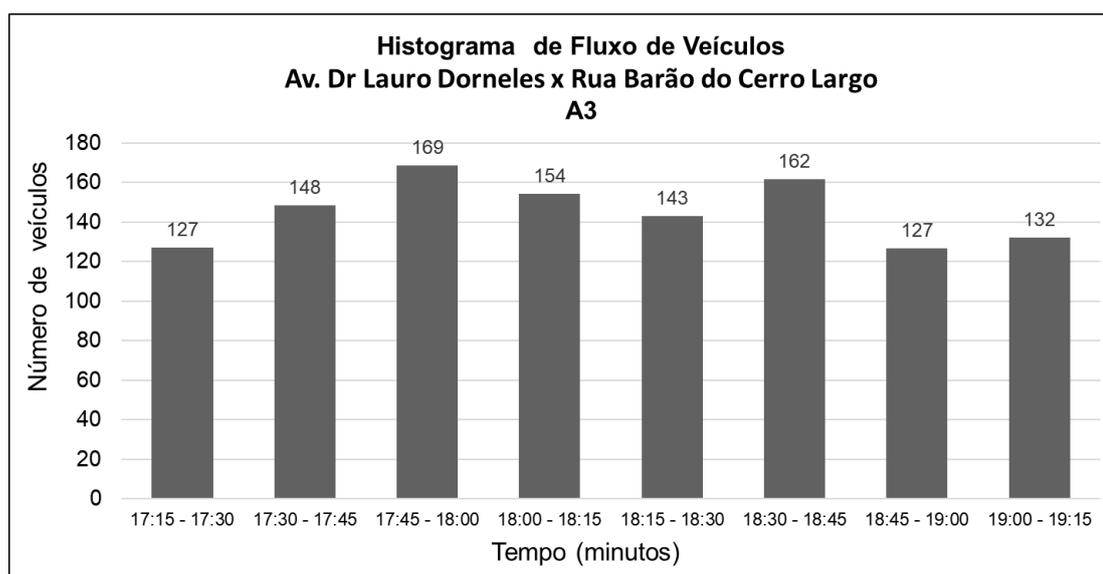
Figura 27 – Diagrama de estágios da interseção C



Fonte: Elaboração própria (2019)

Baseando-se nos dados obtidos através da contagem de tráfego foram determinados a taxa de fluxo e volume máximo de tráfego nos intervalos de 15 minutos. Uma forma de visualizar o fluxo de veículos é realizar o histograma como mostra o exemplo da Figura 28, onde mostra o número de veículos da aproximação A3, no período de duas horas. O Apêndice A mostra o fluxo de veículos no cruzamento A, apêndice C do cruzamento B e Apêndice E do cruzamento C.

Figura 28 – Exemplo de Histograma de Fluxo de Veículos



Fonte: Elaboração própria (2019)

Com os histogramas mostrando o número de veículos que passa a cada 5 segundos, de acordo com o método do DENATRAN descrito no item 2.4.5, determinou-se os valores de fluxo de saturação dos cruzamentos A, B e C mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Fluxo de saturação dos cruzamentos A, B e C

Cruzamento	Aproximação	FS (ucp/h)
A	A1	1200
	A2	1680
	A3	2400
	A4	1680
B	B1	2640
	B2	1800
	B3	1680
	B4	1680
C	C1	1680
	C2	2160
	C4	2160

Fonte: Elaboração própria (2019)

Após a obtenção dos parâmetros de fluxo de veículos (demanda) e fluxo de saturação (oferta), através das contagens de veículos, e calculado os tempos de amarelo e vermelho geral de acordo com as características geométricas das interseções, utilizou-se os métodos de Webster e Grau de Saturação Máximo para recalcular os ciclos, realizando assim uma nova reprogramação semafórica.

Os novos valores de ciclos semafóricos calculados foram agrupados em intervalos de 15 minutos que contenham tempos semelhantes, a fim de determinar os planos semafóricos compatíveis a cada intervalo de tempo, tanto para o Método de Webster como para o Método de Graus de Saturação Máximo. Foi avaliada a compatibilidade de cada método em função da demanda de cada cruzamento para definir entre os dois métodos, qual tempo de ciclo está mais adequado para utilização naquele cruzamento. Posteriormente foi comparado os valores reais obtidos em campo com o determinado no plano semafórico calculado, e avaliando se estes estão de acordo com o Manual de Sinalização Semafórica, caso não estivessem, foram propostas possíveis soluções.

## 4 RESULTADOS

Nessa seção serão apresentados os resultados dos tempos de ciclos calculados com os métodos de Webster e Grau de Saturação Máximo. Posteriormente, foi feita a análise e avaliação dos dois métodos para cada cruzamento e realizada a comparação dos métodos entre si e também com o tempo de ciclo atual.

### 4.1 Tempos de ciclos atuais nos cruzamentos A, B e C

Os tempos de ciclos de cada aproximação foram cronometrados em campo considerando a situação atual, medidos com um cronometro digital obtidos no dia 28 de agosto de 2020. Os semáforos estudados operam com plano semaforico com tempo fixo, ou seja, estes tempos não mudam no decorrer do dia. A Tabela 6, mostra os dados dos tempos das indicações luminosas dos respectivos cruzamentos A, B e C.

Tabela 6 – Tempos atuais das indicações luminosas nos cruzamentos

Cruzamento	Aproximação	t <sub>verde</sub> (s)	t <sub>am</sub> (s)	t <sub>vg</sub> (s)	t <sub>c</sub> (s)
A	A1	19	3	2	72
	A2				
	A3				
	A4				
B	B1	10	3	2	61
	B2	16			
	B3	20			
	B4				
C	C1	19	3	2	72
	C3				
	C4				

Fonte: Elaboração própria (2020)

## **4.2 Comparação entre os tempos de ciclos dos cruzamentos**

Os valores de tempos de ciclos obtidos com os métodos de Webster e Grau de Saturação Máximo foram calculados através das equações 4 e 9, sempre respeitando o tempo de verde mínimo de 10 segundos conforme a item 2.4.2.3. Todos os resultados de tempos de ciclo e tempo de verde de cada aproximação no intervalo de tempo de 15 em 15 minutos estão expostos no Apêndice B para o cruzamento A, no Apêndice D, para o cruzamento B e no Apêndice F, para o cruzamento C.

Com base nos dados obtidos, foi possível fazer o comparativo entre as metodologias de cálculo de ciclos, e assim definir individualmente, em cada período de tempo e em cada cruzamento, qual seria o mais adequado para a implementação. Além disso, após a definição dos valores de tempo de ciclo ótimo pelos métodos de cálculo foi possível analisar e comparar com os valores atuais empregados nos cruzamentos, tais comparativos estão expostos individualmente por cruzamento.

### **4.2.1 Tempos de ciclos cruzamento A**

A Figura 29 mostra no gráfico o resultado dos tempos de ciclos obtidos com os métodos de Webster e Grau Máximo de Saturação no cruzamento A. Podemos observar que nos intervalos entre 00:15 até 7:30 os resultados para ambos os métodos se assemelham. Isso ocorre devido ao baixo fluxo de tráfego nestes períodos, sendo o tempo mínimo suficiente e possível de ser utilizado em qualquer um dos métodos. Nesses intervalos temos uma espera excessiva se considerarmos a baixa demanda, porém devido a necessidade de ter pelo menos o tempo de verde mínimo, conforme o item 2.4.2.3, não é aplicável um tempo menor, podendo ser utilizado a sinalização de advertência vista no item 2.3.3 operando em amarelo intermitente.

Os horários de pico manifestaram-se nos horários das 12:00 às 12:30, das 17:45 às 18:15 e das 18:30 às 19:15. O maior valor de grau de saturação ocorre das 17:45 as 18:00 onde com Webster obtém-se o maior valor de grau de saturação de 0,64 e com GSM 0,66 nesta interseção, ainda está dentro do que a literatura

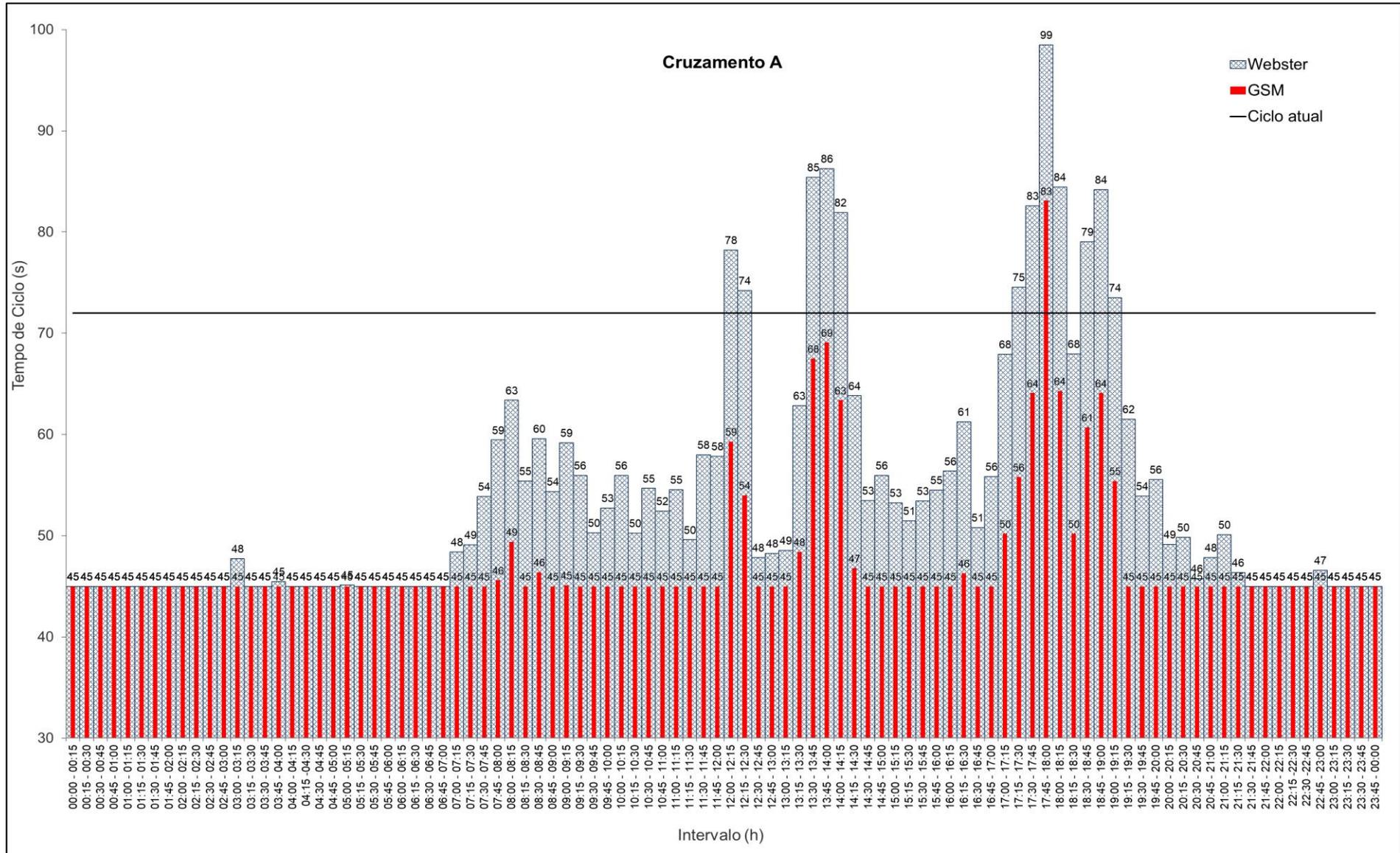
recomenda que é de 0,88 de acordo com Vilanova(2005), portanto assim se houver necessidade de melhoramento será na programação semafórica para uma maior fluidez no tráfego, apenas a organização dos tempos de ciclo é suficiente, não necessitando assim de alterações na geometria da via.

Observa-se que nos intervalos que correspondem aos tempos de pico, os maiores valores dos tempos de ciclo com o método de Webster se mostram superiores em relação ao método de Grau Máximo de Saturação. Isso ocorre pelo fato do método do GSM levar em consideração a necessidade da formação de pelotões para a autorização do direito de passagem dos veículos e como nesta intersecção a formação de pelotões é quase constante há um aproveitamento total do ciclo semafórico. Já o método de Webster leva em consideração que todo veículo que se desloca na via terá oportunidade de continuar seu deslocamento sem precisar parar, assim necessita de um tempo de ciclo maior.

No entanto se utilizando o método de GSM para definição do ciclo semafórico a ser implementado, pode ser que o mesmo não seja suficiente para atender a demanda, uma vez que o número de veículos já está sendo atendido sem margem para eventuais contratempos que surgem durante o deslocamento dos veículos. Além disso, se comparado os valores de tempo de ciclo atuais com os calculados no Apêndice B, ou na Figura 29, conclui-se que para este cruzamento o método GSM não atende.

Sendo o tempo de ciclo atual de 72 segundos e para GSM somente um intervalo obteve-se valor superior e, sabendo que o tempo de ciclo atual não atende à demanda, definiu-se que o método mais eficiente para este cruzamento A é de Webster.

Figura 29 – Gráfico tempo de ciclos cruzamento A



Fonte: Elaboração própria (2020)

#### 4.2.2 Tempos de ciclos cruzamento B

Ao analisar a Figura 30 pode ser observado os resultados obtidos com o método GSM os valores de tempo de ciclo foram inferiores se comparados com os resultados pelo método de Webster. Esta diferença ocorre devido a metodologia de GSM considerar a formação de pelotão para que se obtenha um resultado ideal.

Portanto, quando o fluxo de veículos for baixo se torna uma melhor opção a utilização do método de Webster por este considerar fluxos pequenos e chegadas aleatórias não necessitando a formação de pelotão.

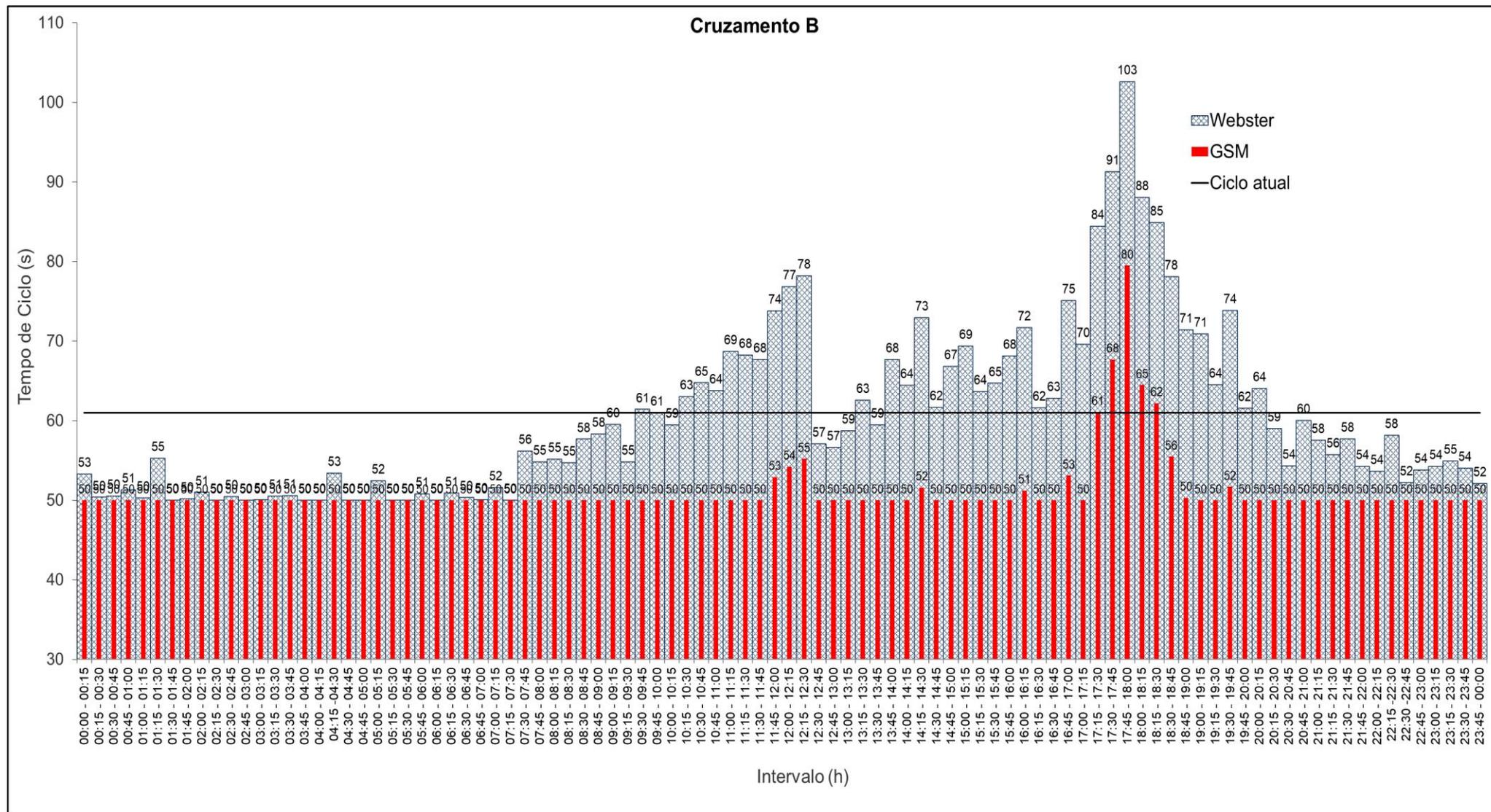
A aproximação nomeada como B1 possui o menor fluxo de trafego se comparada com as demais aproximações, por consequência seu tempo de ciclo é menor. Atualmente nesta o tempo de verde é 10 segundos em todos os intervalos, valor caracterizado como tempo mínimo de verde. Para essa aproximação os dois métodos resultaram no tempo de verde mínimo não necessitando mudança por estar adequada segundo o CONTRAN e os métodos Webster e GSM.

O maior valor de grau de saturação ocorre das 17:45 as 18:00 onde com Webster obtém-se o maior valor de grau de saturação de 0,49 e com GSM 0,56 nesta interseção, estando ambos dentro do que a literatura recomenda que é de 0,88, mostrando assim que se houver necessidade de melhoramento na programação semafórica para uma maior fluidez no tráfego, apenas a organização dos tempos de ciclo é suficiente, não necessitando assim de alterações na geometria da via.

O tempo de ciclo atual neste cruzamento é de 61 segundos sendo este constante no dia, porém, como pode ser observado neste trabalho, é possível obter um melhor aproveitamento se caso houvesse a variação nos tempos de ciclo semafórico de acordo cada período de tempo. Em alguns intervalos esse tempo se mostra suficiente, mas quando observado os horários de pico há deve superior esse tempo para que o deslocamento dos veículos seja atendido.

Desta forma, avaliando os resultados deste cruzamento conclui-se que este possui pequenos fluxos se comparado com os demais e considerando isoladamente sugere-se a adoção dos resultados de tempo de ciclo obtidos com o método de Webster.

Figura 30 – Gráfico tempo de ciclos cruzamento B



Fonte: Elaboração própria (2020)

### 4.2.3 Tempos de ciclos cruzamento C

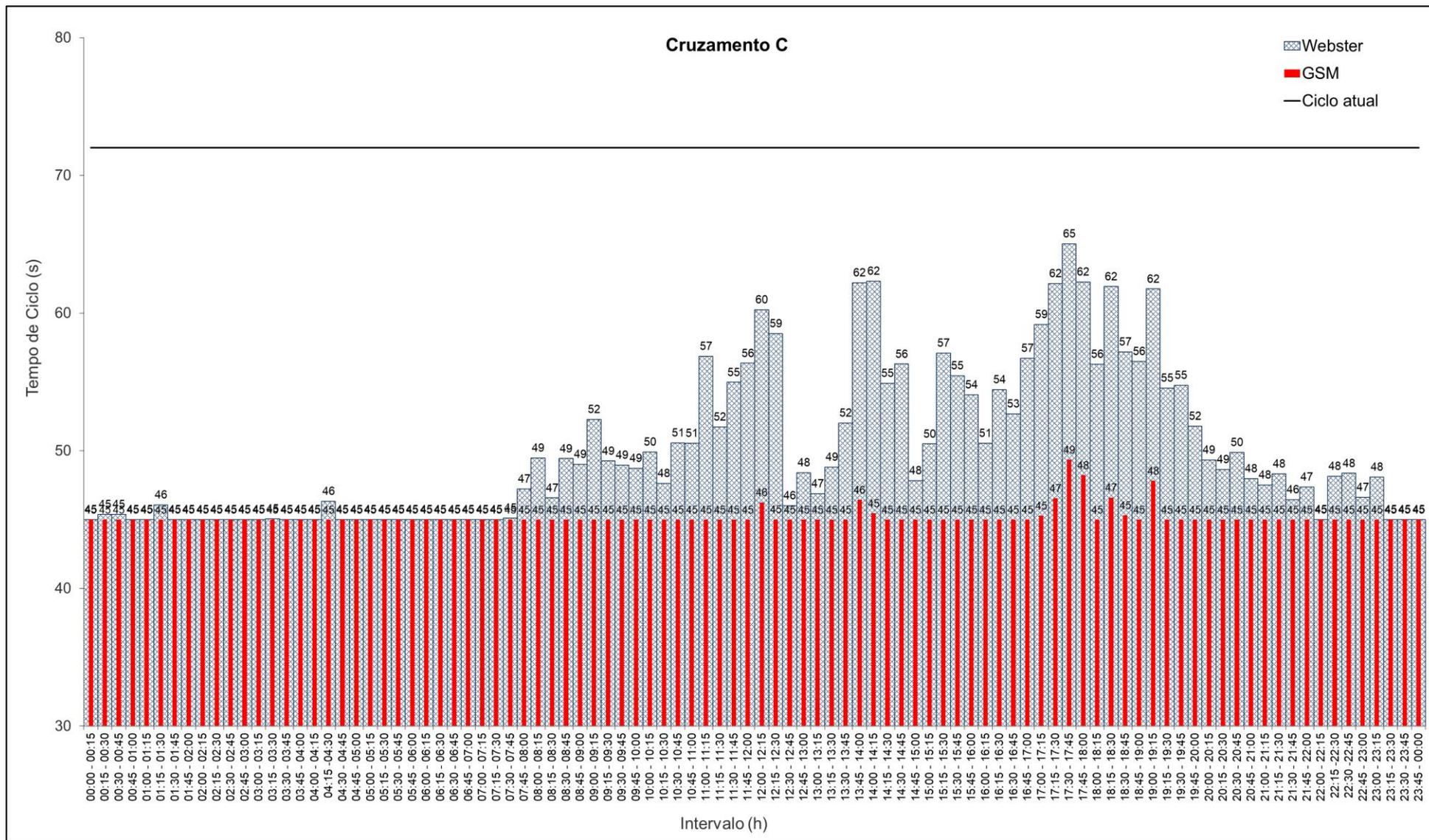
A Figura 31 apresenta em forma de gráfico os resultados de tempo de ciclo com os métodos de Webster e Grau Máximo de Saturação para o cruzamento C. Neste gráfico é possível observar que das 23:15 as 7:30 o fluxo de veículos é menor se comparado aos demais horários, por este motivo, nesse intervalo, os dois métodos consideram um tempo de ciclo menor, sendo suficiente apenas o tempo de verde mínimo de cada aproximação estipulado pelo DENATRAN que é de 10 segundos.

O ideal nesse período em que o fluxo de veículo é extremamente baixo, sendo atendido apenas pelo tempo de verde mínimo e mesmo assim sendo um tempo superior ao necessário, seria o uso do amarelo intermitente para que o usuário não permaneça na via por tempo prolongado sem que haja deslocamentos nas outras aproximações que justificasse a parada do veículo. Adotando essa alternativa do amarelo intermitente o usuário terá maior segurança pois reduzirá sua exposição a possíveis ataques, como por exemplo assaltos e sequestros.

Neste cruzamento o tempo de ciclo atual é de 72 segundos, mesmo tempo do cruzamento A, porém nenhum dos tempos de ciclo calculados pelos métodos chegou neste valor, o maior tempo de ciclo foi de 65 segundos no horário de pico das 17:30 as 17:45 onde ocorre maior grau de saturação com Webster de 0,55 e com GSM das 14:00 as 14:15 de 0,62, portanto esta interseção, encontra-se dentro do que a literatura recomenda que é de 0,88. O fato de o tempo de ciclo atual ser superior aquele que é essência, ocorre que pouco pode-se gerar espera excessiva nos intervalos de baixa demanda.

No entanto verificaram-se nas observações durante as contagens que em alguns momentos havia congestionamentos na aproximação C3, tais congestionamentos podem interferir na determinação do fluxo de veículos, pois quando ocorre o congestionamento automaticamente a velocidade de deslocamento dos veículos se reduz, decrescendo também o número de veículos que consegue passar. Além disso, quando realizando-se a determinação do fluxo de saturação pela metodologia do DENATRAN, consegue-se o valor máximo que poderia passar em uma via em condições ideais, o que pode não acontecer em alguns momentos fazendo com que a taxa de ocupação diminua e o tempo de ciclo se reduza.

Figura 31 – Gráfico tempo de ciclos cruzamento C



Fonte: Elaboração própria (2020)

### 4.3 Planos semafóricos cruzamentos A, B e C

Os planos semafóricos foram divididos em conjuntos com tempo de ciclos semelhantes. Após a determinação dos planos semafóricos foi determinado um tempo de ciclo que fosse compatível e atendesse o conjunto de tempos agrupados. Os valores definidos para cada plano semafórico no cruzamento A, B e C estão expostos nas Figuras 32, 33 e 34 em formato de quadros.

Figura 32 – Plano semafórico cruzamento A

Plano	Intervalo	Tempo (segundos)
I	00:00 - 3:00 / 03:15 - 07:00 / 21:30 - 22:45 / 23:00 - 00:00	45
II	3:00 - 3:15 / 7:00 - 7:30 / 9:30 - 9:45 / 10:15 - 10:30 / 10:45 - 11:00 / 11:15 - 11:30 / 12:30 - 13:15 / 15:15 - 15:30 / 16:30 - 16:45 / 20:00 - 21:30 / 22:45 - 23:00	51
III	7:30 - 8:00 / 8:15 - 9:30 / 9:45 - 10:15 / 10:30 - 10:45 / 11:00 - 11:15 / 11:30 - 12:00 / 14:30 - 15:15 / 15:30 - 16:15 / 16:45 - 17:00 / 19:30 - 20:00	60
IV	8:00 - 8:15 / 13:15 - 13:30 / 14:15 - 14:30 / 16:15 - 16:30 / 19:15 - 19:30	64
V	17:00 - 17:15 / 18:15 - 18:30	68
VI	12:00 - 12:30 / 17:15 - 17:30 / 18:30 - 18:45 / 19:00 - 19:15	78
VII	13:30 - 14:15 / 17:30 - 17:45 / 18:00 - 18:15 / 18:45 - 19:00	86
VIII	17:45 - 18:00	99

Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 33 – Plano semafórico cruzamento B

Plano	Intervalo	Tempo (segundos)
I	00:00 - 1:15/ 1:30 - 07:30 / 20:30 - 20:45 / 21:45 - 22:15 / 22:30 - 23:15 / 23:30 - 00:00	53
II	1:15 - 1:30/ 7:30 - 9:30 / 10:00 - 10:15/ 12:30 -13:15/ 13:30 - 13:45/ 20:15-20:30 / 20:45 - 21:45 / 22:15 - 22:30 / 23:15 - 23:30	60
III	9:30 - 10:00 / 10:15 - 11:45 / 13:15 - 13:30/ 13:45 - 14:15 / 14:30 - 16:00/ 16:15 : 16:45/ 19:15 - 19:30/ 19:45 - 20:15	68
IV	11:45 - 12:30 /14:15 - 14:30 / 16:00 - 16:15 / 16:45 - 17:15/ 18:30 - 19:15/ 19:30 - 19:45	70
V	17:15 - 17:30 / 18:00 - 18:30	78
VI	17:30- 17:45	91
VII	17:45 - 18:00	103

Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 34 – Plano semafórico cruzamento C

Plano	Intervalo	Tempo (segundos)
I	00:00 - 7:45/ 12:30 - 12:45/ 21:30 - 21:45 / 22:00 - 22:15/ 23:15 - 00:00	45
II	7:45 - 11:00/ 11:15 - 11:30 / 12:45 - 13:30 / 14:45 - 15:15 / 16:00 - 16:15 / 19:45 - 21:30 / 21:30 - 22:00 / 22:15 - 23:15	52
III	11:00 - 11:15 / 11:30 - 12:30 / 14:15 - 14:45/ 15:15 - 16:00 / 16:15 - 17:15/ 18:00 - 18:15/ 19:15 - 19:45	60
IV	13:45 - 14:15 / 17:15 - 17:30 / 17:45 - 18:00/18:15 - 18:30 / 19:00 - 19:15	62
V	17:30 - 17:45	65

Fonte: Elaboração própria (2020)

Constatou-se que no cruzamento A houve a necessidade de um número maior de planos semafóricos, pois a variação no número de veículos que utilizam o cruzamento ao longo do dia foi maior que os demais. Em alguns momentos do dia o tempo mínimo de ciclo seria suficiente para atender a demanda, já em outros

períodos houve diferentes momentos de pico com tempos diferentes sendo necessário então maiores quantidades de planos semafóricos.

Por outro lado, nos cruzamentos B e C a variação no tempo de ciclo ao longo do dia foi menor, com variação nos intervalos de tempo de pico menor e fazendo com que fosse possível o agrupamento dos planos com menor variabilidade. O único momento que teve maior destaque e que necessitou um plano semafórico individual para o cruzamento B foi no intervalo das 17:45 às 18:00 horas que tem a necessidade de 103 segundos para atender a demanda.

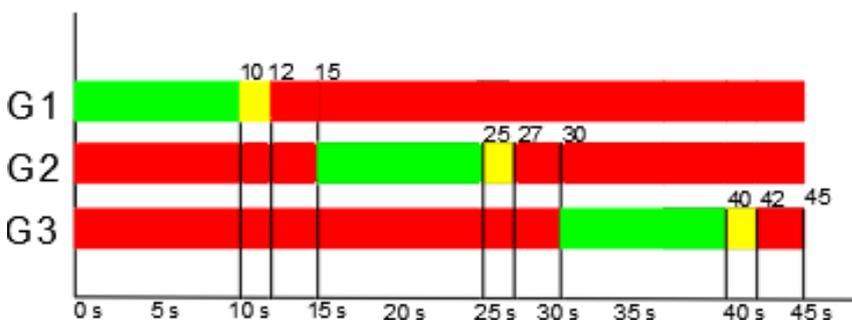
Já no cruzamento C a demanda maior foi no intervalo de pico das 17:30 às 17:45 com um plano semafórico, com tempo de 65 segundos. Optou-se por individualizar esse plano semafórico devido a maior necessidade de tempo para a demanda exigida nesse cruzamento.

#### 4.3.1 Diagrama de barras

Com a obtenção dos valores de tempo de ciclo, de verde e entreverdes mostrados no Apêndice B, Tabela 4 e Figura 32, elaborou-se como exemplo os diagramas de barras com os tempos de ciclos em segundos mostrado nas Figuras 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 e 42. As Figuras mostram os diagramas de barras do cruzamento A, onde podemos observar que os tempos de verde mudam conforme a demanda aumenta.

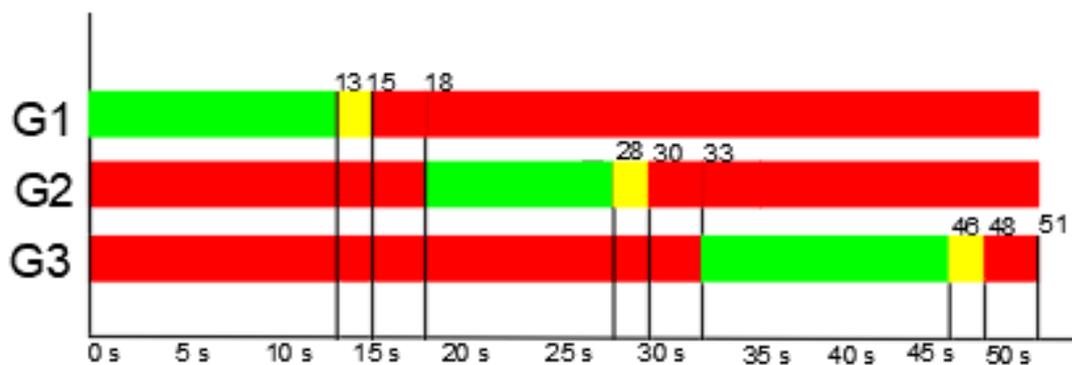
Este diagrama é utilizado para auxiliar o operador na programação e aplicação dos planos semafóricos, desta forma é necessário realizar o diagrama de barras para cada cruzamento de cada aproximação e assim fazer a verificação da validação do plano.

Figura 35 – Diagrama de barras PLANO A1



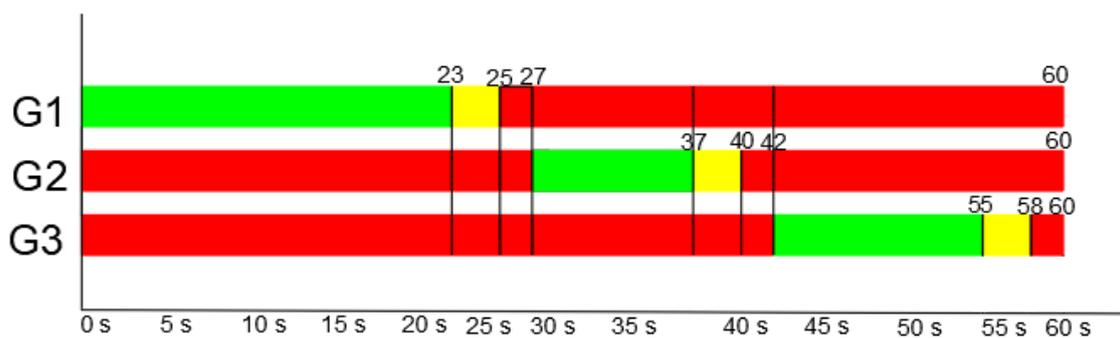
Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 36 – Diagrama de barras PLANO AII



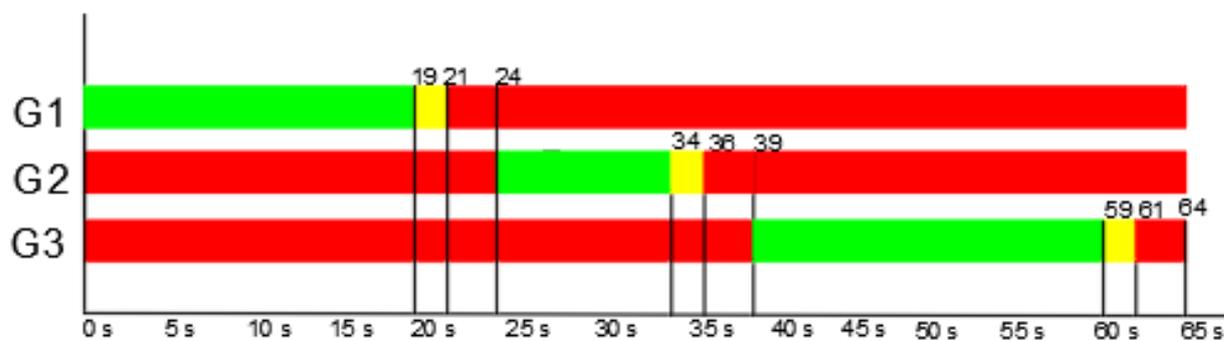
Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 37 – Diagrama de barras PLANO AIII



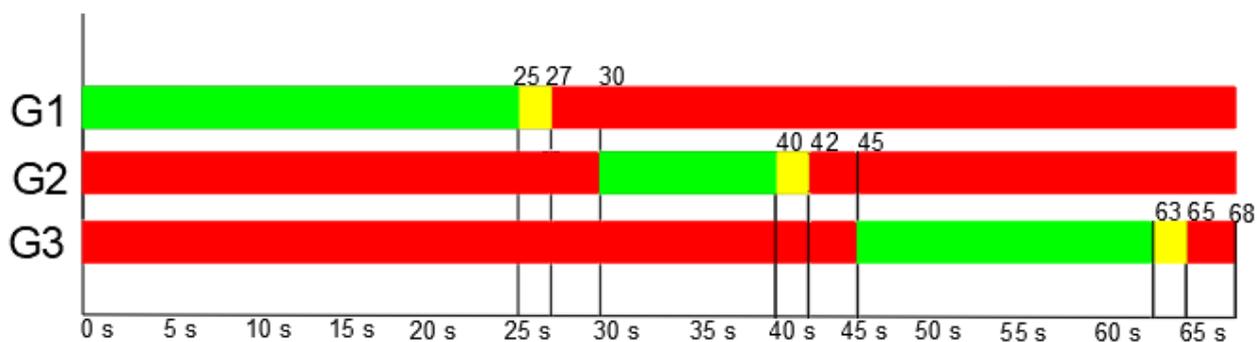
Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 38 – Diagrama de barras PLANO A IV



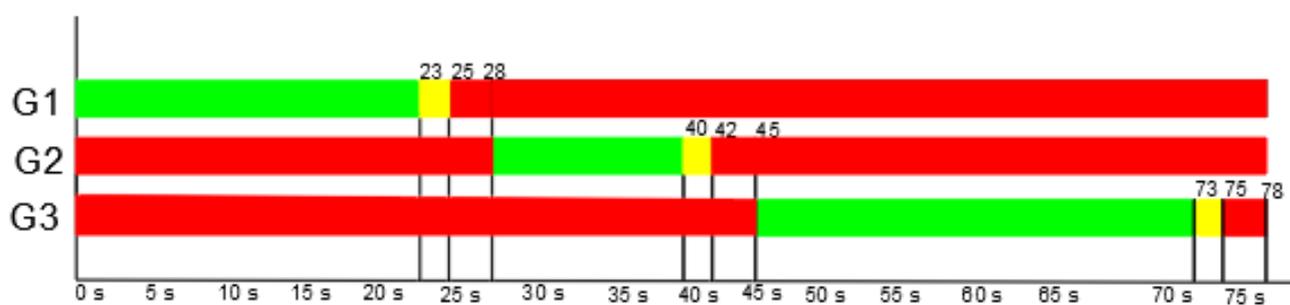
Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 39 – Diagrama de barras PLANO A V



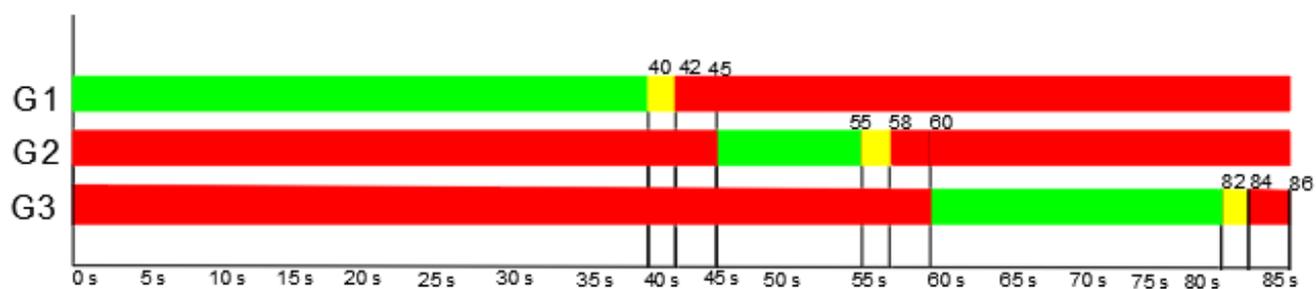
Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 40 – Diagrama de barras PLANO A VI



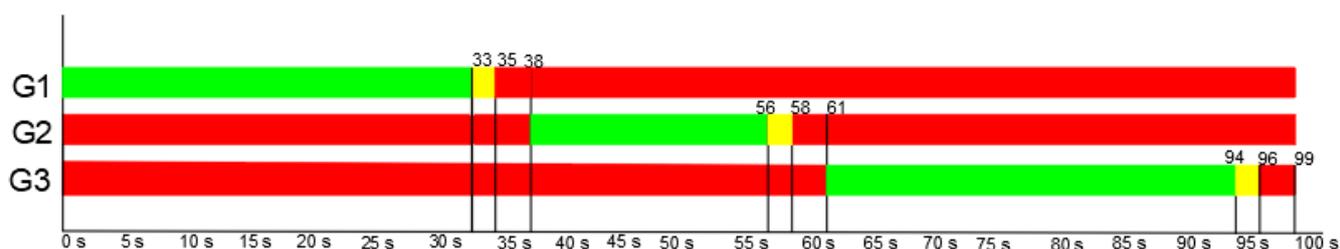
Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 41 – Diagrama de barras PLANO A VII



Fonte: Elaboração própria (2020)

Figura 42 – Diagrama de barras PLANO A VIII



Fonte: Elaboração própria (2020)

As Figuras 36, 37, 38, 39, 40, 41 e 42 mostram através dos diagramas de barras os diferentes planos possíveis para um dia típico com a demanda do cruzamento A conforme os dados obtidos em campo. Ao observar pode-se verificar a importância da visualização de um plano semaforico, onde estes mostram os tempos de verde e entreverdes para cada aproximação com seus respectivos grupos. Além disso, pode-se confirmar que para estes planos semaforicos não houve conflito entre os tempos de verde destinados para cada Grupo de Movimento (G1, G2 e G3), e reforça a importância da reprogramação semaforica, porque como pode ser visto para um mesmo dia deve se ter vários planos semaforicos.

## 5 CONCLUSÕES

Diante da realização do trabalho foi possível concluir que o cruzamento A, possui a maior demanda, passando aproximadamente 17% mais veículos que no cruzamento B, e 12,6% mais que no cruzamento C. O cruzamento B possui menor fluxo de veículos, sendo 4,8% menor a demanda que no cruzamento C.

O maior valor de somatória de taxa de ocupação no cruzamento A, ocorre no mesmo intervalo de maior grau de saturação, das 17:45 às 18:00 onde a taxa é de 0,72. No cruzamento B o intervalo ocorre das 17:45 às 18:00 intervalo com maior grau de saturação, onde a taxa é de 0,63.

Para o cruzamento C ocorrem das 17:30 às 17:45 e das 14:00 às 14:15, sendo estes intervalos de maiores grau de saturação, onde os somatórios das taxas são de 0,57 e 0,56 respectivamente. Conclui-se também que a programação semafórica é suficiente para atender a demanda de tráfego nos cruzamentos, uma vez que o somatório das taxas em todos os períodos de tempo resultou em valores inferiores a 1(um).

A determinação dos tempos de amarelo e vermelho geral, mostrou que a geometria influencia diretamente na determinação destes tempos e por consequência nos tempos de ciclo. Somente o cruzamento B, na aproximação B1 os valores estão com tempo de amarelo e vermelho geral de acordo com a geometria da via, e de acordo com o recomendado pelo CONTRAN. Os demais possuem valores diferentes, um exemplo é a aproximação A1 que falta 1 (um) segundo de tempo de amarelo, podendo ocasionar uma colisão entre veículos por consequência dessa falta.

Os resultados de tempos de ciclo utilizando os métodos de Webster e GSM nos cruzamentos A e B são maiores que o tempo de ciclo atual na via, nos horários de pico como, por exemplo, das 17:45 às 18:00 em ambas as interseções. Em 87,5% do tempo no cruzamento A, a programação atual atende à demanda, nos demais 12,5% é necessário aumentar o tempo de ciclo semafórico. No cruzamento B a programação atual de 61 segundos não está atendendo durante 35,4% das 24 horas do dia.

No cruzamento C o tempo de ciclo que está atualmente na interseção atende 100% a demanda durante todo o dia, sendo superior aos calculados pelos métodos de Webster e GSM. Isso ocorre devido a uma reprogramação que aconteceu no mês

de fevereiro de 2020, neste período foi apresentado aos membros da prefeitura municipal de Alegrete resultados prévios deste cruzamento, a fim de colaborar com a melhoria do fluxo de veículos.

De maneira geral, houve benefícios nas propostas através da reprogramação utilizando os métodos de Webster e Grau de saturação máximo, sendo que o método que se mostrou mais significativo para a demanda de todos os cruzamentos foi o método de Webster. Além disso, todos os tempos de ciclos calculados para os cruzamentos atendem a literatura quanto ao tempo máximo de ciclo de 120 (cento e vinte) segundos conforme recomenda o CONTRAN descritos no item 2.4.2.1.

Este estudo mostrou que pode ser minimizado o problema de crescimento elevado da frota na cidade, utilizando a reprogramação, sendo este econômico o meio econômico e eficaz.

### **Sugestões para trabalhos futuros**

Para estudos futuros e complementação deste trabalho recomenda se a análise da possibilidade e realização da sincronização dos semáforos ou onda verde, visando a fluidez do tráfego uma vez que com a implantação do sistema ocorre a diminuição das paradas e conseqüentemente atrasos.

Realizar novamente avaliação das interseções se estas forem reprogramadas com os tempos de ciclo deste estudo, para verificar se as alterações propostas atendem as necessidades de deslocamentos dos usuários.

## REFERÊNCIAS

- ARAUJO, J. M. **Artigo 60 capítulo III - Normas gerais de circulação e conduta.** 2014. Disponível em: <<http://www.ctbdigital.com.br/artigo-comentarista/361>> acessado em: 10 abril 2019.
- ARAUJO, J. M. Artigo. 208 - **Sinalização semafórica.** 2014. Disponível em: <<http://www.ctbdigital.com.br/artigo-comentarista/361>> acessado em: 12 abril 2019.
- BERNARDINIS, P. M. Apostila de Engenharia de Tráfego. Curso de Engenharia Civil. 12 dezembro de 2018. Notas de Aula. Universidade Federal do Paraná.
- BRASIL. Lei n. 9.503, de 23 de setembro de 1997. **Código de Trânsito Brasileiro.** 1. ed, Brasília.
- CAMPOS, V. B. Livro: **Planejamento de transportes: conceitos e modelos de análise.** 2013. Disponível <<http://www.marcusquintella.com.br/sig/lib/uploaded/Planejamento%Campos.pdf>> acesso em: 14 abril 2019.
- CARMO, A. R. **Programação semafórica: uma proposta de otimização apoiada em um modelo geo-temporal.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.
- CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume I.** 2005. Brasília, DF.
- CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume IV.** 2007. Brasília, DF.
- CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V.** 2014. Brasília, DF.
- COSTA, SECO, VASCONCELOS. **Sinais luminosos: textos didáticos.** Dezembro 2005. Disponível em <[http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/sinais\\_luminosos\\_portugal.pdf](http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/sinais_luminosos_portugal.pdf)> acessado em: 27 maio 2019.
- CUCCI NETO, J. **Sinalização semafórica: definições.** Curso de Engenharia de Tráfego Urbano. Setembro de 2018. Notas de Aula. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2018.
- DETRAN. **Frota em circulação no RS por município ao ano.** 2020. Disponível em: <<https://www.detran.rs.gov.br/frota-5bd4f16283470>> Acesso em: 18 de novembro de 2020.
- DUARTE, D. C. D. **LIPSTUD: Um método de otimização de fluxo de tráfego urbano baseado em proibição e permissão de conversões.** Dissertação de (Mestrado), Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2012.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Projeto de Interseções**. 2. ed, Rio de Janeiro, 2005. 39 p.

DUTRA, C. B. **Avaliação da eficiência de métodos de coordenação semafórica em vias arteriais**. 2005. 189 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Transporte), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

EJZENBERG, S. **Reprogramação de semáforos: método de observação de campo**. Ejzenberg Engenharia e Consultoria. 32 p São Paulo, 2005.

FORNACIARI, I. A. **Investigações no campo da programação semafórica**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Brasil em Síntese**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/alegrete/panorama>> Acesso em: 18 de novembro 2020.

KRIPKA, M; LACORTT, M; KRIPKA, R. (2013). **Modelos Matemáticos para Otimização do Tráfego Urbano Semafórizado**. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2179-8451201300038&script=sci\\_arttext#nt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2179-8451201300038&script=sci_arttext#nt)> Acesso em: 10 junho 2019.

Localização dos cruzamentos. 2019. **Google Maps. Google**. 2019, Disponível em: <<https://www.google.com/maps/@-29.7881965,-55.7974184,18z>> Acesso em : 9 de Junho 2019.

NETO, F. M.O; LUNA, M. S; LOUREIRO, C. F. G. **Variação do fluxo de saturação por tipo de faixa e períodos de pico em interseções semaforizadas de Fortaleza**. Novembro de 2005. Disponível em: <<http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/fluxo.pdf>> acessado em: 06 de Junho 2019.

LUNA, M. S. **Sobre o fluxo de saturação: conceituação, aplicação, determinação e variação**. 2003. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

NERIS, D. F. **Melhoria do desempenho do tráfego em rotatórias com o emprego de semáforos próximos na via principal**. 2014. 99 p. Dissertação para obtenção do título Mestre em Engenharia Civil. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2014.

PAIVA NETO, CASTRO NETO, LOUREIRO. **Progressão em tempo real versus tempo fixo por banda de passagem em períodos de baixa demanda – Estudo de caso**. Mar 2006 Disponível em <[http://www.sinaldetransito.com/artigos/semaforo\\_banda\\_real.pdf](http://www.sinaldetransito.com/artigos/semaforo_banda_real.pdf)> acessado em: 22 maio 2019.

PMA 2017. **Prefeitura Municipal de Alegrete**. Disponível em: <<http://www.alegrete.rs.gov.br>>. Acesso em 10 de junho 2019.

ROSA, R.A. **Engenharia de Tráfego: semáforos**. Curso de Engenharia de Tráfego. Julho de 2013. Notas de Aula. Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

SILVA, A. M. **Teoria do fluxo de tráfego**. Curso de Engenharia de tráfego. Julho de 2007. Apostila. Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, 2007.

SPIGOLON, L. M. G. **Semáforo: grupo focal convencional x grupo focal com informação do tempo de verde/vermelho restante**. São Carlos, 2010. 135 p. Dissertação de (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

VILANOVA, L. M. **Programação de um semáforo usando o método do grau de saturação**. 7 de setembro 2005, São Paulo, SP. Disponível em: <<http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/saturacao.pdf>>. Acesso em: 10 junho 2019.

VILANOVA, L. M. **Crerios para a implantação de semáforos**. 7 de setembro 2005, São Paulo, SP. Disponível em: <[http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/criterios\\_implantacao\\_semaforos.pdf](http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/criterios_implantacao_semaforos.pdf)>. Acesso em: 13 junho 2019.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A – Demanda e taxa de ocupação obtidas em campo no cruzamento A**

Horário (h)	Fluxo de veículos				Taxa de ocupação			
	A1	A2	A3	A4	YA1	YA2	YA3	YA4
00:00 - 00:15	18	10	38	13	0,06	0,02	0,06	0,03
00:15 - 00:30	15	3	24	0	0,05	0,01	0,04	0,00
00:30 - 00:45	8	8	27	15	0,03	0,02	0,04	0,03
00:45 - 01:00	9	7	27	23	0,03	0,02	0,05	0,06
01:00 - 01:15	5	6	22	17	0,02	0,01	0,04	0,04
01:15 - 01:30	7	5	19	11	0,02	0,01	0,03	0,03
01:30 - 01:45	5	2	17	13	0,02	0,01	0,03	0,03
01:45 - 02:00	7	1	10	7	0,02	0,00	0,02	0,02
02:00 - 02:15	4	1	6	6	0,01	0,00	0,01	0,01
02:15 - 02:30	1	3	7	8	0,00	0,01	0,01	0,02
02:30 - 02:45	3	1	6	8	0,01	0,00	0,01	0,02
02:45 - 03:00	3	2	7	2	0,01	0,01	0,01	0,01
03:00 - 03:15	0	0	3	4	0,00	0,00	0,00	0,01
03:15 - 03:30	2	0	2	4	0,01	0,00	0,00	0,01
03:30 - 03:45	1	2	4	7	0,00	0,01	0,01	0,02
03:45 - 04:00	0	1	1	5	0,00	0,00	0,00	0,01
04:00 - 04:15	4	0	1	2	0,01	0,00	0,00	0,01
04:15 - 04:30	3	1	6	4	0,01	0,00	0,01	0,01
04:30 - 04:45	3	1	12	1	0,01	0,00	0,02	0,00
04:45 - 05:00	3	0	5	3	0,01	0,00	0,01	0,01
05:00 - 05:15	1	0	6	2	0,00	0,00	0,01	0,01
05:15 - 05:30	2	1	3	1	0,01	0,00	0,00	0,00
05:30 - 05:45	3	3	10	2	0,01	0,01	0,02	0,01
05:45 - 06:00	13	3	14	6	0,04	0,01	0,02	0,01
06:00 - 06:15	9	2	15	9	0,03	0,00	0,03	0,02
06:15 - 06:30	8	1	12	16	0,03	0,00	0,02	0,04
06:30 - 06:45	10	1	22	12	0,03	0,00	0,04	0,03
06:45 - 07:00	18	2	18	19	0,06	0,01	0,03	0,04
07:00 - 07:15	45	9	36	21	0,15	0,02	0,06	0,05
07:15 - 07:30	48	3	45	31	0,16	0,01	0,07	0,07
07:30 - 07:45	67	3	91	48	0,22	0,01	0,15	0,11
07:45 - 08:00	81	28	97	56	0,27	0,07	0,16	0,13
08:00 - 08:15	100	28	81	37	0,33	0,07	0,13	0,09
08:15 - 08:30	74	20	87	53	0,25	0,05	0,15	0,13
08:30 - 08:45	85	32	88	46	0,28	0,08	0,15	0,11
08:45 - 09:00	72	27	84	45	0,24	0,06	0,14	0,11
09:00 - 09:15	77	29	102	39	0,26	0,07	0,17	0,09
09:15 - 09:30	78	25	83	43	0,26	0,06	0,14	0,10
09:30 - 09:45	58	27	81	43	0,19	0,07	0,13	0,10
09:45 - 10:00	52	26	111	51	0,17	0,06	0,18	0,12

“continua”

"continuação"

10:00 - 10:15	71	30	96	60	0,24	0,07	0,16	0,14
10:15 - 10:30	57	29	82	51	0,19	0,07	0,14	0,12
10:30 - 10:45	59	40	109	49	0,20	0,10	0,18	0,12
10:45 - 11:00	53	26	107	60	0,18	0,06	0,18	0,14
11:00 - 11:15	60	22	108	46	0,20	0,05	0,18	0,11
11:15 - 11:30	44	27	104	50	0,15	0,07	0,17	0,12
11:30 - 11:45	68	20	117	53	0,23	0,05	0,19	0,13
11:45 - 12:00	56	44	133	66	0,19	0,10	0,22	0,16
12:00 - 12:15	71	51	174	60	0,24	0,12	0,29	0,14
12:15 - 12:30	68	62	154	54	0,23	0,15	0,26	0,13
12:30 - 12:45	30	22	96	33	0,10	0,05	0,16	0,08
12:45 - 13:00	49	15	63	44	0,16	0,04	0,10	0,11
13:00 - 13:15	52	27	75	35	0,17	0,06	0,13	0,08
13:15 - 13:30	90	37	93	63	0,30	0,09	0,16	0,15
13:30 - 13:45	108	45	128	52	0,36	0,11	0,21	0,12
13:45 - 14:00	114	39	125	64	0,38	0,09	0,21	0,15
14:00 - 14:15	108	32	131	63	0,36	0,08	0,22	0,15
14:15 - 14:30	66	47	141	55	0,22	0,11	0,24	0,13
14:30 - 14:45	62	36	96	52	0,21	0,09	0,16	0,12
14:45 - 15:00	66	26	106	66	0,22	0,06	0,18	0,16
15:00 - 15:15	60	25	99	46	0,20	0,06	0,16	0,11
15:15 - 15:30	52	36	101	52	0,17	0,09	0,17	0,12
15:30 - 15:45	59	27	103	54	0,20	0,07	0,17	0,13
15:45 - 16:00	59	34	109	58	0,20	0,08	0,18	0,14
16:00 - 16:15	61	38	115	33	0,20	0,09	0,19	0,08
16:15 - 16:30	82	29	105	43	0,27	0,07	0,18	0,10
16:30 - 16:45	56	32	89	40	0,19	0,08	0,15	0,10
16:45 - 17:00	62	32	112	44	0,21	0,08	0,19	0,11
17:00 - 17:15	85	43	123	58	0,28	0,10	0,21	0,14
17:15 - 17:30	98	32	127	68	0,33	0,08	0,21	0,16
17:30 - 17:45	92	48	148	63	0,31	0,11	0,25	0,15
17:45 - 18:00	85	65	169	67	0,28	0,16	0,28	0,16
18:00 - 18:15	77	67	154	66	0,26	0,16	0,26	0,16
18:15 - 18:30	75	41	143	62	0,25	0,10	0,24	0,15
18:30 - 18:45	87	36	162	64	0,29	0,09	0,27	0,15
18:45 - 19:00	97	59	127	56	0,32	0,14	0,21	0,13
19:00 - 19:15	91	41	132	58	0,30	0,10	0,22	0,14
19:15 - 19:30	67	33	134	47	0,22	0,08	0,22	0,11
19:30 - 19:45	62	38	98	42	0,21	0,09	0,16	0,10
19:45 - 20:00	73	21	83	64	0,24	0,05	0,14	0,15
20:00 - 20:15	52	24	84	32	0,17	0,06	0,14	0,08
20:15 - 20:30	52	19	88	40	0,17	0,05	0,15	0,10
20:30 - 20:45	31	26	80	36	0,10	0,06	0,13	0,08
20:45 - 21:00	47	23	82	27	0,16	0,05	0,14	0,06
21:00 - 21:15	55	19	84	36	0,18	0,05	0,14	0,08

"continua"

“continuação”

21:15 - 21:30	31	22	81	59	0,10	0,05	0,13	0,14
21:30 - 21:45	34	18	70	19	0,11	0,04	0,12	0,05
21:45 - 22:00	33	18	65	26	0,11	0,04	0,11	0,06
22:00 - 22:15	33	15	58	21	0,11	0,03	0,10	0,05
22:15 - 22:30	29	11	55	32	0,10	0,03	0,09	0,08
22:30 - 22:45	24	16	52	20	0,08	0,04	0,09	0,05
22:45 - 23:00	38	3	55	29	0,13	0,01	0,09	0,07
23:00 - 23:15	18	5	34	11	0,06	0,01	0,06	0,03
23:15 - 23:30	13	6	36	13	0,04	0,01	0,06	0,03
23:30 - 23:45	18	9	40	23	0,06	0,02	0,07	0,06
23:45 - 00:00	12	4	20	15	0,04	0,01	0,03	0,03

### APÊNDICE B – Resultados obtidos com os métodos Webster e GSM cruzamento A

Horário (h)	Webster				GSM			
	T. verde A1 (s)	T. verde A2 (s)	T. verde A3=A4 (s)	Tc ótimo real (s)	T. verde A1 (s)	T. verde A2 (s)	T. verde A3=A4 (s)	Tc ótimo real
00:00 - 00:15	10	10	10	45	10	10	10	45
00:15 - 00:30	10	10	10	45	10	10	10	45
00:30 - 00:45	10	10	10	45	10	10	10	45
00:45 - 01:00	10	10	10	45	10	10	10	45
01:00 - 01:15	10	10	10	45	10	10	10	45
01:15 - 01:30	10	10	10	45	10	10	10	45
01:30 - 01:45	10	10	10	45	10	10	10	45
01:45 - 02:00	10	10	10	45	10	10	10	45
02:00 - 02:15	10	10	10	45	10	10	10	45
02:15 - 02:30	10	10	10	45	10	10	10	45
02:30 - 02:45	10	10	10	45	10	10	10	45
02:45 - 03:00	10	10	10	45	10	10	10	45
03:00 - 03:15	10	10	13	48	10	10	10	45
03:15 - 03:30	10	10	10	45	10	10	10	45
03:30 - 03:45	10	10	10	45	10	10	10	45
03:45 - 04:00	10	10	10	45	10	10	10	45
04:00 - 04:15	10	10	10	45	10	10	10	45
04:15 - 04:30	10	10	10	45	10	10	10	45
04:30 - 04:45	10	10	10	45	10	10	10	45
04:45 - 05:00	10	10	10	45	10	10	10	45
05:00 - 05:15	10	10	10	45	10	10	10	45
05:15 - 05:30	10	10	10	45	10	10	10	45
05:30 - 05:45	10	10	10	45	10	10	10	45
05:45 - 06:00	10	10	10	45	10	10	10	45

“continua”

06:00 - 06:15	10	10	10	45	10	10	10	45
06:15 - 06:30	10	10	10	45	10	10	10	45
06:30 - 06:45	10	10	10	45	10	10	10	45
06:45 - 07:00	10	10	10	45	10	10	10	45
07:00 - 07:15	13	10	10	48	10	10	10	45
07:15 - 07:30	14	10	10	49	10	10	10	45
07:30 - 07:45	17	10	12	54	10	10	10	45
07:45 - 08:00	21	10	13	59	11	10	10	46
08:00 - 08:15	27	10	11	63	14	10	10	49
08:15 - 08:30	19	10	11	55	10	10	10	45
08:30 - 08:45	23	10	12	60	11	10	10	46
08:45 - 09:00	19	10	11	54	10	10	10	45
09:00 - 09:15	21	10	14	59	10	10	10	45
09:15 - 09:30	20	10	11	56	10	10	10	45
09:30 - 09:45	15	10	10	50	10	10	10	45
09:45 - 10:00	13	10	14	53	10	10	10	45
10:00 - 10:15	18	10	12	56	10	10	10	45
10:15 - 10:30	15	10	11	50	10	10	10	45
10:30 - 10:45	15	10	14	55	10	10	10	45
10:45 - 11:00	14	10	14	52	10	10	10	45
11:00 - 11:15	16	10	14	55	10	10	10	45
11:15 - 11:30	11	10	13	50	10	10	10	45
11:30 - 11:45	18	10	15	58	10	10	10	45
11:45 - 12:00	15	10	18	58	10	10	10	45
12:00 - 12:15	23	12	28	78	16	10	19	59
12:15 - 12:30	21	14	24	74	14	10	15	54
12:30 - 12:45	10	10	13	48	10	10	10	45
12:45 - 13:00	13	10	10	48	10	10	10	45
13:00 - 13:15	14	10	10	49	10	10	10	45
13:15 - 13:30	25	10	13	63	13	10	10	48
13:30 - 13:45	37	11	22	85	27	10	16	68
13:45 - 14:00	40	10	22	86	29	10	16	69
14:00 - 14:15	35	10	21	82	24	10	15	63
14:15 - 14:30	19	10	20	64	11	10	11	47
14:30 - 14:45	16	10	12	53	10	10	10	45
14:45 - 15:00	17	10	14	56	10	10	10	45
15:00 - 15:15	16	10	13	53	10	10	10	45
15:15 - 15:30	13	10	13	51	10	10	10	45
15:30 - 15:45	15	10	13	53	10	10	10	45
15:45 - 16:00	15	10	14	55	10	10	10	45
16:00 - 16:15	16	10	15	56	10	10	10	45
16:15 - 16:30	22	10	14	61	11	10	10	46
16:30 - 16:45	14	10	11	51	10	10	10	45

"continuação"

16:45 - 17:00	16	10	15	56	10	10	10	45
17:00 - 17:15	25	10	18	68	15	10	11	50
17:15 - 17:30	30	10	19	75	19	10	12	56
17:30 - 17:45	31	12	25	83	22	10	18	64
17:45 - 18:00	33	18	33	99	27	15	27	83
18:00 - 18:15	27	16	26	84	19	12	19	64
18:15 - 18:30	22	10	21	68	13	10	12	50
18:30 - 18:45	28	10	26	79	19	10	17	61
18:45 - 19:00	33	14	22	84	24	10	15	64
19:00 - 19:15	28	10	20	74	18	10	13	55
19:15 - 19:30	18	10	18	62	10	10	10	45
19:30 - 19:45	16	10	13	54	10	10	10	45
19:45 - 20:00	19	10	12	56	10	10	10	45
20:00 - 20:15	13	10	11	49	10	10	10	45
20:15 - 20:30	13	10	11	50	10	10	10	45
20:30 - 20:45	10	10	11	46	10	10	10	45
20:45 - 21:00	12	10	11	48	10	10	10	45
21:00 - 21:15	14	10	11	50	10	10	10	45
21:15 - 21:30	10	10	11	46	10	10	10	45
21:30 - 21:45	10	10	10	45	10	10	10	45
21:45 - 22:00	10	10	10	45	10	10	10	45
22:00 - 22:15	10	10	10	45	10	10	10	45
22:15 - 22:30	10	10	10	45	10	10	10	45
22:30 - 22:45	10	10	10	45	10	10	10	45
22:45 - 23:00	12	10	10	47	10	10	10	45
23:00 - 23:15	10	10	10	45	10	10	10	45
23:15 - 23:30	10	10	10	45	10	10	10	45
23:30 - 23:45	10	10	10	45	10	10	10	45
23:45 - 00:00	10	10	10	45	10	10	10	45

**APÊNDICE C – Demanda e taxa de ocupação obtidas em campo no cruzamento B**

Horário (h)	Fluxo de veículos				Taxa de ocupação			
	B1	B2	B3	B4	YB1	YB2	YB3	YB4
00:00 - 00:15	9	47	25	12	0,01	0,11	0,06	0,03
00:15 - 00:30	11	32	23	10	0,02	0,07	0,06	0,02
00:30 - 00:45	4	31	24	7	0,01	0,07	0,06	0,02
00:45 - 01:00	4	22	30	10	0,01	0,05	0,07	0,02
01:00 - 01:15	6	24	28	9	0,01	0,05	0,07	0,02
01:15 - 01:30	5	17	46	10	0,01	0,04	0,11	0,02
01:30 - 01:45	4	21	23	11	0,01	0,05	0,06	0,03

"continua"

“continuação”

01:45 - 02:00	3	19	11	5	0,00	0,04	0,03	0,01
02:00 - 02:15	4	4	13	4	0,01	0,01	0,03	0,01
02:15 - 02:30	0	9	4	9	0,00	0,02	0,01	0,02
02:30 - 02:45	0	4	8	3	0,00	0,01	0,02	0,01
02:45 - 03:00	1	4	6	3	0,00	0,01	0,01	0,01
03:00 - 03:15	0	10	6	2	0,00	0,02	0,01	0,01
03:15 - 03:30	1	3	8	3	0,00	0,01	0,02	0,01
03:30 - 03:45	0	2	4	4	0,00	0,00	0,01	0,01
03:45 - 04:00	0	4	3	2	0,00	0,01	0,01	0,01
04:00 - 04:15	0	6	4	1	0,00	0,01	0,01	0,00
04:15 - 04:30	0	3	14	0	0,00	0,01	0,03	0,00
04:30 - 04:45	0	8	6	0	0,00	0,02	0,01	0,00
04:45 - 05:00	0	6	3	2	0,00	0,01	0,01	0,01
05:00 - 05:15	0	14	4	0	0,00	0,03	0,01	0,00
05:15 - 05:30	0	8	6	0	0,00	0,02	0,01	0,00
05:30 - 05:45	2	6	10	3	0,00	0,01	0,02	0,01
05:45 - 06:00	0	17	9	3	0,00	0,04	0,02	0,01
06:00 - 06:15	1	7	9	7	0,00	0,01	0,02	0,02
06:15 - 06:30	0	6	7	10	0,00	0,01	0,02	0,02
06:30 - 06:45	0	13	18	9	0,00	0,03	0,04	0,02
06:45 - 07:00	0	21	14	16	0,00	0,05	0,03	0,04
07:00 - 07:15	0	36	17	27	0,00	0,08	0,04	0,06
07:15 - 07:30	3	26	25	23	0,01	0,06	0,06	0,05
07:30 - 07:45	6	67	42	32	0,01	0,15	0,10	0,08
07:45 - 08:00	11	55	46	46	0,02	0,12	0,11	0,11
08:00 - 08:15	5	63	36	38	0,01	0,14	0,09	0,09
08:15 - 08:30	13	53	48	32	0,02	0,12	0,12	0,08
08:30 - 08:45	12	66	54	29	0,02	0,15	0,13	0,07
08:45 - 09:00	8	57	65	51	0,01	0,13	0,15	0,12
09:00 - 09:15	8	68	62	28	0,01	0,15	0,15	0,07
09:15 - 09:30	7	57	26	43	0,01	0,13	0,06	0,10
09:30 - 09:45	13	70	70	47	0,02	0,16	0,17	0,11
09:45 - 10:00	10	74	65	37	0,02	0,16	0,15	0,09
10:00 - 10:15	6	65	64	39	0,01	0,14	0,15	0,09
10:15 - 10:30	12	65	84	37	0,02	0,14	0,20	0,09
10:30 - 10:45	4	65	91	49	0,01	0,14	0,22	0,12
10:45 - 11:00	11	79	74	51	0,02	0,18	0,18	0,12
11:00 - 11:15	11	102	74	25	0,02	0,23	0,18	0,06
11:15 - 11:30	14	83	90	36	0,02	0,18	0,21	0,09
11:30 - 11:45	11	84	87	34	0,02	0,19	0,21	0,08
11:45 - 12:00	7	121	76	42	0,01	0,27	0,18	0,10
12:00 - 12:15	10	108	98	42	0,02	0,24	0,23	0,10
12:15 - 12:30	7	118	94	32	0,01	0,26	0,22	0,08
12:30 - 12:45	3	51	62	21	0,00	0,11	0,15	0,05
12:45 - 13:00	5	63	48	25	0,01	0,14	0,12	0,06

“continua”

13:00 - 13:15	4	72	53	19	0,01	0,16	0,13	0,05
13:15 - 13:30	10	88	59	37	0,01	0,20	0,14	0,09
13:30 - 13:45	11	64	66	34	0,02	0,14	0,16	0,08
13:45 - 14:00	11	98	74	55	0,02	0,22	0,18	0,13
14:00 - 14:15	13	81	75	55	0,02	0,18	0,18	0,13
14:15 - 14:30	20	107	85	37	0,03	0,24	0,20	0,09
14:30 - 14:45	13	68	74	48	0,02	0,15	0,18	0,11
14:45 - 15:00	7	72	95	47	0,01	0,16	0,23	0,11
15:00 - 15:15	10	91	87	36	0,01	0,20	0,21	0,09
15:15 - 15:30	11	72	80	44	0,02	0,16	0,19	0,10
15:30 - 15:45	10	65	91	46	0,01	0,14	0,22	0,11
15:45 - 16:00	9	85	88	38	0,01	0,19	0,21	0,09
16:00 - 16:15	19	106	81	28	0,03	0,23	0,19	0,07
16:15 - 16:30	7	98	18	45	0,01	0,22	0,04	0,11
16:30 - 16:45	15	81	67	59	0,02	0,18	0,16	0,14
16:45 - 17:00	14	118	83	46	0,02	0,26	0,20	0,11
17:00 - 17:15	14	100	79	31	0,02	0,22	0,19	0,07
17:15 - 17:30	13	154	76	45	0,02	0,34	0,18	0,11
17:30 - 17:45	15	155	90	42	0,02	0,34	0,21	0,10
17:45 - 18:00	15	180	88	44	0,02	0,40	0,21	0,10
18:00 - 18:15	14	142	96	28	0,02	0,32	0,23	0,07
18:15 - 18:30	27	141	86	51	0,04	0,31	0,20	0,12
18:30 - 18:45	16	114	95	47	0,02	0,25	0,23	0,11
18:45 - 19:00	16	99	87	38	0,02	0,22	0,21	0,09
19:00 - 19:15	15	94	90	34	0,02	0,21	0,21	0,08
19:15 - 19:30	10	97	61	34	0,01	0,22	0,14	0,08
19:30 - 19:45	11	109	87	33	0,02	0,24	0,21	0,08
19:45 - 20:00	14	76	66	42	0,02	0,17	0,16	0,10
20:00 - 20:15	5	81	73	30	0,01	0,18	0,17	0,07
20:15 - 20:30	13	65	63	29	0,02	0,14	0,15	0,07
20:30 - 20:45	14	55	44	21	0,02	0,12	0,10	0,05
20:45 - 21:00	10	75	58	20	0,01	0,17	0,14	0,05
21:00 - 21:15	12	62	57	22	0,02	0,14	0,14	0,05
21:15 - 21:30	10	56	51	27	0,01	0,12	0,12	0,06
21:30 - 21:45	8	65	54	19	0,01	0,14	0,13	0,05
21:45 - 22:00	8	54	23	28	0,01	0,12	0,06	0,07
22:00 - 22:15	11	53	41	21	0,02	0,12	0,10	0,05
22:15 - 22:30	7	61	61	22	0,01	0,13	0,14	0,05
22:30 - 22:45	6	40	40	18	0,01	0,09	0,09	0,04
22:45 - 23:00	6	47	44	19	0,01	0,11	0,10	0,05
23:00 - 23:15	6	48	46	17	0,01	0,11	0,11	0,04
23:15 - 23:30	9	62	36	24	0,01	0,14	0,09	0,06
23:30 - 23:45	5	50	43	18	0,01	0,11	0,10	0,04
23:45 - 00:00	8	29	39	10	0,01	0,06	0,09	0,02

**APÊNDICE D – Resultados obtidos com os métodos Webster e GSM cruzamento B**

Horário (h)	Webster				GSM			
	T. verde B1 (s)	T. verde B2 (s)	T. verde B3=B4 (s)	Tc ótimo (s)	T. verde B1 (s)	T. verde B2 (s)	T. verde B3=B4 (s)	Tc ótimo (s)
00:00 - 00:15	10	13	10	53	10	10	10	50
00:15 - 00:30	10	10	10	50	10	10	10	50
00:30 - 00:45	10	10	10	50	10	10	10	50
00:45 - 01:00	10	10	11	51	10	10	10	50
01:00 - 01:15	10	10	10	50	10	10	10	50
01:15 - 01:30	10	10	15	55	10	10	10	50
01:30 - 01:45	10	10	10	50	10	10	10	50
01:45 - 02:00	10	10	10	50	10	10	10	50
02:00 - 02:15	10	10	11	51	10	10	10	50
02:15 - 02:30	10	10	10	50	10	10	10	50
02:30 - 02:45	10	10	10	50	10	10	10	50
02:45 - 03:00	10	10	10	50	10	10	10	50
03:00 - 03:15	10	10	10	50	10	10	10	50
03:15 - 03:30	10	10	11	51	10	10	10	50
03:30 - 03:45	10	10	11	51	10	10	10	50
03:45 - 04:00	10	10	10	50	10	10	10	50
04:00 - 04:15	10	10	10	50	10	10	10	50
04:15 - 04:30	10	10	13	53	10	10	10	50
04:30 - 04:45	10	10	10	50	10	10	10	50
04:45 - 05:00	10	10	10	50	10	10	10	50
05:00 - 05:15	10	12	10	52	10	10	10	50
05:15 - 05:30	10	10	10	50	10	10	10	50
05:30 - 05:45	10	10	10	50	10	10	10	50
05:45 - 06:00	10	11	10	51	10	10	10	50
06:00 - 06:15	10	10	10	50	10	10	10	50
06:15 - 06:30	10	10	11	51	10	10	10	50
06:30 - 06:45	10	10	10	50	10	10	10	50
06:45 - 07:00	10	10	10	50	10	10	10	50
07:00 - 07:15	10	12	10	52	10	10	10	50
07:15 - 07:30	10	10	10	50	10	10	10	50
07:30 - 07:45	10	16	10	56	10	10	10	50
07:45 - 08:00	10	13	12	55	10	10	10	50
08:00 - 08:15	10	15	10	55	10	10	10	50
08:15 - 08:30	10	12	12	55	10	10	10	50
08:30 - 08:45	10	15	13	58	10	10	10	50
08:45 - 09:00	10	13	16	58	10	10	10	50

"continua"

"continuação"

09:00 - 09:15	10	15	15	60	10	10	10	50
09:15 - 09:30	10	14	11	55	10	10	10	50
09:30 - 09:45	10	15	16	61	10	10	10	50
09:45 - 10:00	10	16	15	61	10	10	10	50
10:00 - 10:15	10	14	15	59	10	10	10	50
10:15 - 10:30	10	14	19	63	10	10	10	50
10:30 - 10:45	10	14	21	65	10	10	10	50
10:45 - 11:00	10	17	17	64	10	10	10	50
11:00 - 11:15	10	22	17	69	10	10	10	50
11:15 - 11:30	10	18	21	68	10	10	10	50
11:30 - 11:45	10	18	20	68	10	10	10	50
11:45 - 12:00	10	26	18	74	10	13	10	53
12:00 - 12:15	10	24	23	77	10	12	12	54
12:15 - 12:30	10	26	22	78	10	14	12	55
12:30 - 12:45	10	12	15	57	10	10	10	50
12:45 - 13:00	10	15	12	57	10	10	10	50
13:00 - 13:15	10	16	13	59	10	10	10	50
13:15 - 13:30	10	19	14	63	10	10	10	50
13:30 - 13:45	10	14	15	59	10	10	10	50
13:45 - 14:00	10	21	17	68	10	10	10	50
14:00 - 14:15	10	17	17	64	10	10	10	50
14:15 - 14:30	10	23	20	73	10	12	10	52
14:30 - 14:45	10	15	17	62	10	10	10	50
14:45 - 15:00	10	15	22	67	10	10	10	50
15:00 - 15:15	10	20	20	69	10	10	10	50
15:15 - 15:30	10	15	18	64	10	10	10	50
15:30 - 15:45	10	14	21	65	10	10	10	50
15:45 - 16:00	10	18	20	68	10	10	10	50
16:00 - 16:15	10	23	19	72	10	11	10	51
16:15 - 16:30	10	21	10	62	10	10	10	50
16:30 - 16:45	10	17	15	63	10	10	10	50
16:45 - 17:00	10	26	19	75	10	13	10	53
17:00 - 17:15	10	21	18	70	10	10	10	50
17:15 - 17:30	10	36	19	84	10	20	11	61
17:30 - 17:45	10	38	24	91	10	23	15	68
17:45 - 18:00	10	48	25	103	10	33	17	80
18:00 - 18:15	10	34	24	88	10	20	15	65
18:15 - 18:30	10	33	22	85	10	20	13	62
18:30 - 18:45	10	25	23	78	10	14	12	56
18:45 - 19:00	10	21	20	71	10	10	10	50
19:00 - 19:15	10	20	21	71	10	10	10	50
19:15 - 19:30	10	21	14	64	10	10	10	50
19:30 - 19:45	10	24	20	74	10	12	10	52

"continua"

“continuação”

19:45 - 20:00	10	16	15	62	10	10	10	50
20:00 - 20:15	10	17	17	64	10	10	10	50
20:15 - 20:30	10	14	15	59	10	10	10	50
20:30 - 20:45	10	13	11	54	10	10	10	50
20:45 - 21:00	10	16	14	60	10	10	10	50
21:00 - 21:15	10	14	14	58	10	10	10	50
21:15 - 21:30	10	13	13	56	10	10	10	50
21:30 - 21:45	10	15	13	58	10	10	10	50
21:45 - 22:00	10	14	10	54	10	10	10	50
22:00 - 22:15	10	13	11	54	10	10	10	50
22:15 - 22:30	10	14	15	58	10	10	10	50
22:30 - 22:45	10	11	11	52	10	10	10	50
22:45 - 23:00	10	12	12	54	10	10	10	50
23:00 - 23:15	10	12	12	54	10	10	10	50
23:15 - 23:30	10	15	10	55	10	10	10	50
23:30 - 23:45	10	12	12	54	10	10	10	50
23:45 - 00:00	10	10	12	52	10	10	10	50

**APÊNDICE E – Demanda taxa de ocupação e resultados obtidas no cruzamento C**

Horário (h)	Fluxo de veículos			Taxa de ocupação		
	C1	C3	C4	YC1	YC3	YC4
00:00 - 00:15	6	31	16	0,01	0,06	0,03
00:15 - 00:30	0	42	24	0,00	0,08	0,04
00:30 - 00:45	2	36	15	0,01	0,07	0,03
00:45 - 01:00	6	15	8	0,01	0,03	0,01
01:00 - 01:15	1	11	8	0,00	0,02	0,01
01:15 - 01:30	1	16	2	0,00	0,03	0,00
01:30 - 01:45	1	11	5	0,00	0,02	0,01
01:45 - 02:00	1	9	10	0,00	0,02	0,02
02:00 - 02:15	1	4	4	0,00	0,01	0,01
02:15 - 02:30	2	7	8	0,01	0,01	0,02
02:30 - 02:45	1	4	1	0,00	0,01	0,00
02:45 - 03:00	2	7	8	0,01	0,01	0,02
03:00 - 03:15	0	6	2	0,00	0,01	0,00
03:15 - 03:30	1	5	0	0,00	0,01	0,00
03:30 - 03:45	2	3	1	0,01	0,00	0,00
03:45 - 04:00	2	4	4	0,01	0,01	0,01
04:00 - 04:15	1	5	1	0,00	0,01	0,00
04:15 - 04:30	0	8	1	0,00	0,01	0,00
04:30 - 04:45	3	14	7	0,01	0,03	0,01

“continua”

04:45 - 05:00	8	13	14	0,02	0,02	0,03
05:00 - 05:15	3	12	7	0,01	0,02	0,01
05:15 - 05:30	4	6	6	0,01	0,01	0,01
05:30 - 05:45	2	12	5	0,01	0,02	0,01
05:45 - 06:00	6	7	11	0,01	0,01	0,02
06:00 - 06:15	3	14	19	0,01	0,03	0,04
06:15 - 06:30	6	16	14	0,01	0,03	0,03
06:30 - 06:45	9	11	21	0,02	0,02	0,04
06:45 - 07:00	4	29	27	0,01	0,05	0,05
07:00 - 07:15	14	36	44	0,03	0,07	0,08
07:15 - 07:30	11	53	34	0,03	0,10	0,06
07:30 - 07:45	28	67	69	0,07	0,12	0,13
07:45 - 08:00	29	84	60	0,07	0,16	0,11
08:00 - 08:15	22	100	57	0,05	0,18	0,11
08:15 - 08:30	32	77	73	0,08	0,14	0,14
08:30 - 08:45	23	82	88	0,05	0,15	0,16
08:45 - 09:00	30	98	67	0,07	0,18	0,12
09:00 - 09:15	31	109	81	0,07	0,20	0,15
09:15 - 09:30	25	89	80	0,06	0,17	0,15
09:30 - 09:45	30	97	70	0,07	0,18	0,13
09:45 - 10:00	32	90	76	0,08	0,17	0,14
10:00 - 10:15	31	94	80	0,07	0,17	0,15
10:15 - 10:30	38	86	73	0,09	0,16	0,13
10:30 - 10:45	21	93	85	0,05	0,17	0,16
10:45 - 11:00	33	102	77	0,08	0,19	0,14
11:00 - 11:15	27	141	78	0,06	0,26	0,14
11:15 - 11:30	23	116	71	0,06	0,21	0,13
11:30 - 11:45	38	122	84	0,09	0,23	0,16
11:45 - 12:00	53	132	76	0,13	0,24	0,14
12:00 - 12:15	49	137	92	0,12	0,25	0,17
12:15 - 12:30	14	151	81	0,03	0,28	0,15
12:30 - 12:45	17	70	51	0,04	0,13	0,09
12:45 - 13:00	25	91	51	0,06	0,17	0,09
13:00 - 13:15	18	78	52	0,04	0,14	0,10
13:15 - 13:30	40	95	72	0,10	0,18	0,13
13:30 - 13:45	40	111	77	0,09	0,20	0,14
13:45 - 14:00	38	140	102	0,09	0,26	0,19
14:00 - 14:15	55	121	111	0,13	0,22	0,20
14:15 - 14:30	38	124	82	0,09	0,23	0,15
14:30 - 14:45	29	137	79	0,07	0,25	0,15
14:45 - 15:00	34	56	89	0,08	0,10	0,16
15:00 - 15:15	37	105	74	0,09	0,19	0,14
15:15 - 15:30	29	131	89	0,07	0,24	0,16

“continuação”

15:30 - 15:45	37	128	81	0,09	0,24	0,15
15:45 - 16:00	45	131	65	0,11	0,24	0,12
16:00 - 16:15	27	109	68	0,06	0,20	0,13
16:15 - 16:30	35	134	69	0,08	0,25	0,13
16:30 - 16:45	35	121	72	0,08	0,22	0,13
16:45 - 17:00	49	128	85	0,12	0,24	0,16
17:00 - 17:15	39	135	93	0,09	0,25	0,17
17:15 - 17:30	58	134	92	0,14	0,25	0,17
17:30 - 17:45	45	159	92	0,11	0,29	0,17
17:45 - 18:00	43	158	82	0,10	0,29	0,15
18:00 - 18:15	32	148	56	0,08	0,27	0,10
18:15 - 18:30	37	144	98	0,09	0,27	0,18
18:30 - 18:45	49	136	79	0,12	0,25	0,15
18:45 - 19:00	45	130	82	0,11	0,24	0,15
19:00 - 19:15	51	150	84	0,12	0,28	0,16
19:15 - 19:30	21	115	91	0,05	0,21	0,17
19:30 - 19:45	34	137	67	0,08	0,25	0,12
19:45 - 20:00	64	96	75	0,15	0,18	0,14
20:00 - 20:15	34	100	57	0,08	0,19	0,11
20:15 - 20:30	36	95	55	0,08	0,18	0,10
20:30 - 20:45	30	104	63	0,07	0,19	0,12
20:45 - 21:00	20	89	63	0,05	0,16	0,12
21:00 - 21:15	24	79	77	0,06	0,15	0,14
21:15 - 21:30	20	88	45	0,05	0,16	0,08
21:30 - 21:45	10	73	57	0,02	0,14	0,11
21:45 - 22:00	37	85	47	0,09	0,16	0,09
22:00 - 22:15	23	63	56	0,05	0,12	0,10
22:15 - 22:30	17	88	55	0,04	0,16	0,10
22:30 - 22:45	15	87	43	0,04	0,16	0,08
22:45 - 23:00	14	71	40	0,03	0,13	0,07
23:00 - 23:15	13	80	31	0,03	0,15	0,06
23:15 - 23:30	9	34	48	0,02	0,06	0,09
23:30 - 23:45	11	45	30	0,03	0,08	0,06
23:45 - 00:00	5	36	33	0,01	0,07	0,06

**APÊNDICE F – Resultados obtidos com os métodos Webster e GSM cruzamento C**

Horário (h)	Webster				GSM			
	T. verde C1 (s)	T. verde C3 (s)	T. verde C4 (s)	Tc ótimo (s)	T. verde C1 (s)	T. verde C3 (s)	T. verde C4 (s)	Tc ótimo (s)

“continua”

00:00 - 00:15	10	10	10	45	10	10	10	45
00:15 - 00:30	10	10	10	45	10	10	10	45
00:30 - 00:45	10	10	10	45	10	10	10	45
00:45 - 01:00	10	10	10	45	10	10	10	45
01:00 - 01:15	10	10	10	45	10	10	10	45
01:15 - 01:30	10	11	10	46	10	10	10	45
01:30 - 01:45	10	10	10	45	10	10	10	45
01:45 - 02:00	10	10	10	45	10	10	10	45
02:00 - 02:15	10	10	10	45	10	10	10	45
02:15 - 02:30	10	10	10	45	10	10	10	45
02:30 - 02:45	10	10	10	45	10	10	10	45
02:45 - 03:00	10	10	10	45	10	10	10	45
03:00 - 03:15	10	10	10	45	10	10	10	45
03:15 - 03:30	10	10	10	45	10	10	10	45
03:30 - 03:45	10	10	10	45	10	10	10	45
03:45 - 04:00	10	10	10	45	10	10	10	45
04:00 - 04:15	10	10	10	45	10	10	10	45
04:15 - 04:30	10	11	10	46	10	10	10	45
04:30 - 04:45	10	10	10	45	10	10	10	45
04:45 - 05:00	10	10	10	45	10	10	10	45
05:00 - 05:15	10	10	10	45	10	10	10	45
05:15 - 05:30	10	10	10	45	10	10	10	45
05:30 - 05:45	10	10	10	45	10	10	10	45
05:45 - 06:00	10	10	10	45	10	10	10	45
06:00 - 06:15	10	10	10	45	10	10	10	45
06:15 - 06:30	10	10	10	45	10	10	10	45
06:30 - 06:45	10	10	10	45	10	10	10	45
06:45 - 07:00	10	10	10	45	10	10	10	45
07:00 - 07:15	10	10	10	45	10	10	10	45
07:15 - 07:30	10	10	10	45	10	10	10	45
07:30 - 07:45	10	10	10	45	10	10	10	45
07:45 - 08:00	10	12	10	47	10	10	10	45
08:00 - 08:15	10	14	10	49	10	10	10	45
08:15 - 08:30	10	11	11	47	10	10	10	45
08:30 - 08:45	10	12	13	49	10	10	10	45
08:45 - 09:00	10	14	10	49	10	10	10	45
09:00 - 09:15	10	16	12	52	10	10	10	45
09:15 - 09:30	10	13	11	49	10	10	10	45
09:30 - 09:45	10	14	10	49	10	10	10	45
09:45 - 10:00	10	13	11	49	10	10	10	45
10:00 - 10:15	10	13	11	50	10	10	10	45
10:15 - 10:30	10	12	10	48	10	10	10	45
10:30 - 10:45	10	13	12	51	10	10	10	45
10:45 - 11:00	10	15	11	51	10	10	10	45
11:00 - 11:15	10	21	11	57	10	10	10	45

"continuação"

11:15 - 11:30	10	17	10	52	10	10	10	45
11:30 - 11:45	10	18	12	55	10	10	10	45
11:45 - 12:00	10	20	11	56	10	10	10	45
12:00 - 12:15	10	21	14	60	10	11	10	46
12:15 - 12:30	10	22	12	59	10	10	10	45
12:30 - 12:45	10	11	10	46	10	10	10	45
12:45 - 13:00	10	13	10	48	10	10	10	45
13:00 - 13:15	10	12	10	47	10	10	10	45
13:15 - 13:30	10	14	10	49	10	10	10	45
13:30 - 13:45	10	16	11	52	10	10	10	45
13:45 - 14:00	10	22	16	62	10	11	10	46
14:00 - 14:15	11	19	17	62	10	10	10	45
14:15 - 14:30	10	18	12	55	10	10	10	45
14:30 - 14:45	10	20	11	56	10	10	10	45
14:45 - 15:00	10	10	13	48	10	10	10	45
15:00 - 15:15	10	15	11	50	10	10	10	45
15:15 - 15:30	10	19	13	57	10	10	10	45
15:30 - 15:45	10	19	12	55	10	10	10	45
15:45 - 16:00	10	19	10	54	10	10	10	45
16:00 - 16:15	10	16	10	51	10	10	10	45
16:15 - 16:30	10	19	10	54	10	10	10	45
16:30 - 16:45	10	17	10	53	10	10	10	45
16:45 - 17:00	10	19	13	57	10	10	10	45
17:00 - 17:15	10	20	14	59	10	10	10	45
17:15 - 17:30	12	21	14	62	10	12	10	47
17:30 - 17:45	10	25	15	65	10	14	10	49
17:45 - 18:00	10	24	13	62	10	13	10	48
18:00 - 18:15	10	21	10	56	10	10	10	45
18:15 - 18:30	10	22	15	62	10	12	10	47
18:30 - 18:45	10	20	12	57	10	10	10	45
18:45 - 19:00	10	19	12	56	10	10	10	45
19:00 - 19:15	10	23	13	62	10	13	10	48
19:15 - 19:30	10	17	13	55	10	10	10	45
19:30 - 19:45	10	20	10	55	10	10	10	45
19:45 - 20:00	12	14	11	52	10	10	10	45
20:00 - 20:15	10	14	10	49	10	10	10	45
20:15 - 20:30	10	14	10	49	10	10	10	45
20:30 - 20:45	10	15	10	50	10	10	10	45
20:45 - 21:00	10	13	10	48	10	10	10	45
21:00 - 21:15	10	11	11	48	10	10	10	45
21:15 - 21:30	10	13	10	48	10	10	10	45
21:30 - 21:45	10	11	10	46	10	10	10	45
21:45 - 22:00	10	12	10	47	10	10	10	45
22:00 - 22:15	10	10	10	45	10	10	10	45
22:15 - 22:30	10	13	10	48	10	10	10	45

"continua"

22:30 - 22:45	10	13	10	48	10	10	10	45
22:45 - 23:00	10	12	10	47	10	10	10	45
23:00 - 23:15	10	13	10	48	10	10	10	45
23:15 - 23:30	10	10	10	45	10	10	10	45
23:30 - 23:45	10	10	10	45	10	10	10	45
23:45 - 00:00	10	10	10	45	10	10	10	45