

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

NAIÉLE MEDEIROS FRESCURA

**PROGRAMAÇÃO E SINCRONIZAÇÃO SEMAFÓRICAS A PARTIR DE
MÉTODOS NUMÉRICOS**

**Alegrete
2019**

NAIÉLE MEDEIROS FRESCURA

**PROGRAMAÇÃO E SINCRONIZAÇÃO SEMAFÓRICAS A PARTIR DE
MÉTODOS NUMÉRICOS**

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: Maurício Silveira dos
Santos

**Alegrete
2019**

NAIÉLE MEDEIROS FRESCURA

**REPROGRAMAÇÃO E SINCRONIZAÇÃO SEMAFÓRICAS A PARTIR DE
MÉTODOS NUMÉRICOS**

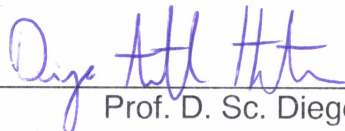
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:

Banca examinadora:



Prof. Me. Maurício Silveira dos Santos
Orientador - UNIPAMPA



Prof. D. Sc. Diego Arthur Hartmann
UNIPAMPA



Prof. D. Sc. Jaelson Budny
UNIPAMPA

AGRADECIMENTO

Aos meus pais, Altamir e Elaine, que não mediram esforços para tornar possível o sonho da graduação, agradeço pela batalha diária, pelo amor incondicional, pela confiança que em mim depositaram, e, principalmente, por todo suporte emocional ao longo dessa jornada – com vocês, e por vocês, aprendi a encarar todos os desafios! Aos meus avós, José, Vilma, Natálio, Dioraci (in memoriam), ao meu irmão, Diélison, e aos demais familiares, agradeço por todo apoio que recebi para chegar até aqui. Ao Seu Valmir e à Dona Maria, por terem me acolhido “no” Alegrete, e se tornado minha segunda família, meu eterno agradecimento.

Agradeço, também, a todos os amigos que sempre estiveram comigo durante esses anos, e tornaram os dias menos difíceis. Em especial àquelas que se fazem presente desde a minha infância, Letícia e Andressa. Aos amigos que fiz logo no início da graduação e sempre estiveram comigo, em todos os momentos, Plácido, Juliano, Clarissa e Lucas. As amigas que ganhei ao longo do curso, Josieli, Marina, Darlize, Rosiéli, Lisiani e Bruna, por terem me proporcionado os melhores momentos durante esses anos. Aos amigos responsáveis pelos momentos de descontração: a turma do futsal, e da Surfro. Sou imensamente grata por vocês estarem nas minhas melhores lembranças!

Meu agradecimento especial ao meu orientador, Maurício, por toda paciência, motivação e palavras de incentivos para que esta etapa fosse concluída. E aos demais professores, por terem contribuído para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

A Deus, por ter me permitido viver tudo isso!

RESUMO

O número crescente de veículos nas cidades traz consigo problemas de gestão e gerenciamento de tráfego causados pelo mau uso das vias, que acarretam em pouca demanda em determinados locais, e filas em outros, resultando em transtornos aos usuários, como atrasos, estresse e acidentes. Desta forma, uma das maneiras de garantir mobilidade urbana à população é por meio de um melhor aproveitamento da via, que pode ocorrer através de um bom desempenho do sistema semafórico. Assim, este trabalho apresenta métodos de programação para determinar tempos de ciclos a serem utilizados nos semáforos existentes ao longo da Rua General Sampaio, na cidade de Alegrete/RS, buscando a eficiência dos mesmos, através das características do fluxo de veículos. Para isso, abordou-se referenciais teóricos sobre o assunto, observou-se o comportamento do tráfego, e se comparou os métodos utilizados, baseados nos dados obtidos por Silveira (2018), e na variação horária de suas características. Por fim, concluiu-se que, por meio da programação semafórica, é possível garantir segurança, agilidade e fluidez ao trânsito a partir da utilização de tempos de ciclo adequados para cada período de tempo.

Palavras-Chave: programação semafórica, tempo de ciclo, engenharia de tráfego, trânsito, Webster, Grau de Saturação Máximo, Onda Verde.

ABSTRACT

The growing number of vehicles in cities brings with it traffic management and management problems caused by misuse of roads, which lead to low demand in certain locations and queues in others, resulting in user disruptions such as delays, stress and accidents. In this way, one of the ways to guarantee urban mobility to the population is through a better use of the road, which can occur through a good performance of the traffic light system. Thus, this work presents programming methods to determine cycle times to be used at traffic lights along General Sampaio Street, in the city of Alegrete / RS, which seek their efficiency, through the characteristics of the vehicle flow. For this, theoretical references on the subject were studied, traffic behavior was observed, and the methods used, based on the data obtained by Silveira (2018), and on the hourly variation of traffic characteristics were compared. Finally, it was concluded that through traffic signal programming it is possible to guarantee traffic safety, agility and fluidity through the use of appropriate cycle times for each time period.

Keywords: traffic light, traffic, traffic, Webster, Maximum Saturation Degree, Green Wave.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Representação das aproximações de interseções	25
Figura 2.2 - Procedimentos para a implantação e avaliação da sinalização semafórica	26
Figura 2.3 – Ilustração do conceito de grupo de movimentos e grupo semafórico	27
Figura 2.4– Exemplos de diagramas de estágios.....	28
Figura 2.5 – Exemplo de diagrama de intervalos luminosos	28
Figura 2.6 - Comportamento do tráfego por Webster	32
Figura 3.1- Sequência adotada para os procedimentos metodológicos	40
Figura 3. 2 - Mapa do Rio Grande do Sul destacando Alegrete	41
Figura 3. 3 - Região central a ser estudada	42
Figura 3.4 - Cruzamentos a serem estudados	43
Figura 3.5 - Localização dos cruzamentos	44
Figura 3. 6 - Croqui representativo da Interseção A.	45
Figura 3.7 - Croqui representativo da Interseção B.	45
Figura 3.8 - Croqui representativo da Interseção C.	46
Figura 3.9 - Câmera utilizada para captação das imagens	47
Figura 3.10 – Distância entre os semáforos	52
Figura 4.7 – Diagrama de barras para cada grupo focal.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1- Princípios da sinalização de trânsito.....	15
Quadro 2.2- Casos particulares de sinalizações verticais.....	20
Quadro 2.6 - Cores e sinais semaforicos para condutores de veículos.....	22
Quadro 2.7- Cores e sinais semaforicos para pedestres e ciclistas.....	23
Quadro 2.8 - Semáforos para sinalização semaforica de advertência com dois focos	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1– Valores de equivalência	29
Tabela 3.1 – Intervalos e fluxo de saturação de cada cruzamento	48
Tabela 3.2 – Tempos atualmente em vigor	52
Tabela 4.1 – Comparativo entre os métodos para o cruzamento A	53
Tabela 4.2 – Comparativo entre os métodos para o cruzamento B	54
Tabela 4.3– Comparativo entre os métodos para o cruzamento C	55
Tabela 4.4 – Tempo de ciclo para o ajuste de Onda Verde.....	66
Tabela 4.5 – Tempo de percurso e antecipação	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Tempos de ciclo para o cruzamento A	54
Gráfico 4.2 - Tempos de ciclo para o cruzamento B	55
Gráfico 4. 3 - Tempos de ciclo para o cruzamento C	56
Gráfico 4.4 – Tempos de Ciclo para o cruzamento A.....	59
Gráfico 4.5 – Tempos de Ciclo para o Cruzamento B	61
Gráfico 4.6 – Tempos de ciclo para o cruzamento C	63
Gráfico 4.7 – Comparativos entre os tempos de ciclo	70

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Determinação dos Tempos de Ciclo e demais Parâmetros do Cruzamento A	78
APÊNDICE B – Determinação dos Tempos de Ciclo e demais Parâmetros do Cruzamento B	80
APÊNDICE C - Determinação dos Tempos de Ciclo e demais Parâmetros do Cruzamento C	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CET - Companhia De Engenharia De Tráfego

CONTRAN - Conselho Nacional De Trânsito

CTB – Código de Trânsito Brasileiro

DAER- Departamento Autônomo De Estradas De Rodagem

DELTA - Danish Electronics, Light & Acoustics

DENATRAN - Departamento Nacional De Trânsito

DNER - Departamento Nacional De Estradas De Rodagem

DNIT - Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes

DPVAT - Seguro De Danos Pessoais Causados Por Veículos Automotores De Via Terrestre

IPEA - Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

Cap - capacidade da via e/ou aproximação

d1 - distância percorrida pelo veículo até a linha de retenção

d2 - travessia realizada pelo veículo na área de conflito em um cruzamento

FHP - fator hora-pico

Fmax - fluxo de veículos equivalente no horário de pico ou no período de maior tempo de ciclo

Fmin - fluxo de veículos equivalente no horário de menos tempo de ciclo

Tc - tempo de ciclo

Tco: tempo de ciclo ótimo calculado pelo Método de Webster

Tv1,ef (segurança): tempo de verde efetivo após correção considerando-se com o tempo de verde mínimo e arredondamentos de acordo com o tempo de ciclo

Tv1,ef: tempo de verde efetivo

ucp: unidade de carros de passeio

Xmax: grau da saturação máximo

s: segundos

Ymax: taxa de veículos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Objetivos	12
1.1.1	Objetivo geral.....	12
1.1.2	Objetivos específicos.....	13
1.2	Justificativa.....	13
1.3	Estrutura do trabalho	13
2	CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	Sinalizações de trânsito.....	14
2.1.1	Sinalização horizontal	16
2.1.2	Dispositivos auxiliares.....	18
2.1.3	Sinalização vertical	19
2.1.4	Sinalização Semafórica.....	21
2.1.4.1	Sinalização Semafórica de Regulamentação	21
2.1.4.2	Sinalização Semafórica de Advertência.....	24
2.1.4.3	Via	24
2.1.4.4	Elementos básicos do controle semafórico	26
2.2	Método de Webster	32
2.3	Método do Grau de Saturação Máximo	33
2.4	Tempos de sinalização semafórica.....	35
2.4.1	Tempo de Verde Efetivo.....	35
2.4.2	Capacidade	36
2.4.3	Grau de Saturação.....	36
2.5	Método Onda Verde.....	37
2.6	Trabalhos Realizados.....	39

3	METODOLOGIA	40
3.1	Trecho estudado	41
3.2	Levantamento de dados	44
3.3	Reprogramação Semafórica	49
3.3.1	Método de Webster (Silveira, 2018) x Método Grau de Saturação Máximo	49
3.3.2	Método de Webster x Método Grau de Saturação Máximo: Novos intervalos de tempo	50
3.3.3	Fenômeno da Onda Verde	51
4	RESULTADOS	53
4.1	Método de Webster (Silveira, 2018) x Método Grau de Saturação Máximo	53
4.2	Método de Webster x Método Grau de Saturação Máximo: Novos intervalos de tempo	57
4.3	Fenômeno da Onda Verde	65
4.4	Comparativo entre os Tempos de Ciclo obtidos com os Tempos de Ciclo atuais	69
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
	REFERÊNCIAS	74
	APÊNDICES	77

1 INTRODUÇÃO

De acordo com dados da Organização Mundial da Saúde, o Brasil ocupa o quinto lugar entre os países com maior índice de mortes no trânsito, os quais, além de vítimas fatais, também geram custos. Somente em 2015, o Seguro de Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre (DPVAT,2015) pagou 42.501 indenizações por morte, e 515.751 por invalidez permanente.

Os números crescentes de acidentes de trânsito no país tem relação com o aumento da frota de veículos nas vias, que chegam a 207.660.929, o que equivale a dois habitantes para cada veículo. Entre suas principais causas, além do sono, alcoolismo e alta velocidade, está a desobediência às sinalizações – cerca de 10%, segundo a Polícia Rodoviária Federal.

Uma sinalização inexistente ou deficiente implica em risco aos usuários de uma via. Desta forma, o relatório de pesquisa de acidentes do IPEA (2015) destaca a importância da melhoria da infraestrutura viária que englobe sinalização para pedestres e condutores de veículos, com a identificação de trechos críticos que podem ser melhorados através de intervenções de engenharia.

Assim, para garantir uma operação mais eficiente dos semáforos e permitir que os usuários trafeguem com segurança pela via, a busca por melhoria dos tempos de ciclo através da programação semaforica fomenta a elaboração deste trabalho.

1.1 Objetivos

As sinalizações de trânsito mostram-se essenciais para o bom funcionamento de uma via e para a segurança de seus usuários. Desse modo, os objetivos do presente trabalho, em relação a este assunto, dividem-se em objetivo geral e objetivos específicos.

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar as sinalizações semaforica nas interseções da Rua General Sampaio na cidade de Alegrete-RS através de métodos de programação das mesmas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Calcular os tempos de ciclo através de métodos matemáticos de programação semafórica;
- Comparar os métodos matemáticos utilizados;
- Realizar ajuste de Onda Verde;
- Comparar os tempos de ciclo obtidos com os tempos utilizados atualmente na sinalização semafórica;

1.2 Justificativa

A sinalização possui grande influência na segurança de pedestres, ciclistas e motoristas, pois é ela que regulamenta seus direitos e deveres através de características como cores e legendas. Porém, para que a sinalização seja eficaz, é necessário que seja de fácil visualização e entendimento, e permita que os usuários concluam seu trajeto de maneira ordenada e segura. Por isso, o CONTRAN (2014) salienta que para operação de uma sinalização semafórica, a mesma deve ter uma avaliação contínua e criteriosa no que se refere a sua necessidade, e programação adequada.

Desta forma, o local escolhido para este estudo foi a cidade de Alegrete, pois esta possui uma frota de 36.762 veículos (DENATRAN, 2017), o que soma cerca de 2 habitantes para cada veículo, mesma média nacional. Assim, tendo como premissa a relação entre sinalização e segurança viárias, justifica-se a importância de se avaliar os tempos de ciclo de uma sinalização semafórica.

1.3 Estrutura do trabalho

Com o intuito de obter os objetivos propostos, este trabalho divide-se em cinco capítulos. O primeiro apresenta a introdução, os objetivos, a justificativa e a estrutura sugerida. O segundo traz a fundamentação teórica, em que aborda os principais tipos de sinalizações de trânsito, os principais métodos de programação semafórica e os trabalhos realizados no assunto deste estudo.

O terceiro capítulo expõe a metodologia utilizada para a realização do trabalho. No quarto são apresentados os resultados, e no quinto, e último, capítulo, são feitas as considerações finais sobre o presente trabalho.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura trará os principais tipos de sinalizações de trânsito, indispensáveis para descrever o tema deste trabalho. Os temas abordados, referentes a este assunto, serão os seguintes: sinalização horizontal, dispositivos auxiliares, sinalizações verticais de regulamentação, advertência e indicação, e sinalização semaforica, assim como métodos para a programação do seu tempo de ciclo - Webster, Grau de Saturação Máximo - seu ajuste de Onda Verde, e alguns trabalhos já realizados neste âmbito de pesquisa.

2.1 Sinalizações de trânsito

Segundo Berwig (2013), o trânsito é o conjunto de deslocamentos diários das pessoas no espaço público, ou seja, pelas calçadas e vias públicas. Além disso, essa movimentação geral engloba também os diferentes tipos de veículos.

O trânsito evoluiu rapidamente no Brasil, pois quando os primeiros veículos chegaram no país já houve a preocupação em criar regulamentação, de modo que não prejudicasse os pedestres e outros usuários da via. Pode-se dizer, ainda, que desde que existe o ser-humano, existe trânsito, e que, foi a partir do desenvolvimento das primeiras civilizações, que surgiu a necessidade de implementar normas para regulamentar a utilização das vias. Entretanto, somente após a revolução industrial, com a maior acessibilidade dos veículos à população, houve a necessidade de readequar as leis de trânsito para garantir maior fluidez e segurança aos usuários. (FRANS; SEBERINO, 2012).

Com a evolução do tráfego, e um número crescente de veículos nas vias, o Departamento Nacional de Trânsito, DENATRAN (2016), determinou que condições seguras de trânsito é um direito de todos, e que é dever dos órgãos que fazem parte do Sistema Nacional de Trânsito, adotarem medidas que assegurem esse direito. Desta forma, a fim de garantir um trânsito seguro aos motoristas e pedestres, assim como regulamentar suas obrigações, limitações e proibições ou restrições, utiliza-se a sinalização de trânsito como forma de certificar que estes possam chegar ao seus destinos de maneira ordenada e segura (CASTILHO, 2009).

A sinalização de trânsito consiste num dos componentes mais importantes do sistema de trânsito, pois é ela que fornece informações aos usuários sobre como utilizar de maneira adequada o sistema viário, levando em consideração sua segurança, eficiência e comodidade (FERRAZ et al., 2012).

O sistema de sinalização desempenha papel fundamental no que se refere a segurança e mobilidade dos usuários, e, a conciliação entre eles resulta numa maior ou menor eficácia do sistema de sinalização. Ao melhorar as condições de legibilidade da via, e ao permitir a adaptação dos veículos às suas características tem-se uma melhoria das condições de mobilidade (GREGÓRIO, 2011).

De modo geral, o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2007c) determina que para a implantação de uma sinalização de trânsito deve haver condições de percepção dos usuários da via para que seja garantida a eficácia dos sinais. Para tal, tem-se os princípios da sinalização no trânsito, descritos no Quadro 2.1.

Quadro 2.1- Princípios da sinalização de trânsito

Legalidade	De acordo com CTB e legislação complementar;
Suficiência	Permitir fácil percepção, com quantidade de sinalização compatível com a necessidade;
Padronização	Seguir o padrão legalmente estabelecido;
Uniformidade	Situações iguais devem ser sinalizadas com os mesmos critérios;
Clareza	Transmitir mensagens objetivas de fácil compreensão
Precisão e confiabilidade	Ser precisa e confiável; corresponder à situação existente; ter credibilidade;
Visibilidade e legibilidade	Ser vista à distância necessária; ser interpretada em tempo hábil para a tomada de decisão;
Manutenção e conservação	Estar permanentemente limpa, conservada e visível.

Fonte: adaptado de CONTRAN (2007c)

Além disso, existem três tipos básicos de sinalização empregados nas vias: horizontal, vertical e semaforica. Aquela que utiliza da combinação de sinalizações horizontal e vertical, dá-se o nome de sinalização estatigráfica. Há, ainda, outros elementos utilizados pela Engenharia de Tráfego, como tachões, prismas de concreto e gradis, os quais são tratados como dispositivos auxiliares (CUCCI NETO, 1996).

2.1.1 Sinalização horizontal

A sinalização horizontal utiliza-se de linhas, símbolos e legendas com a finalidade de organizar o fluxo de usuários; controlar e orientar deslocamentos em situações com problema de geometria, topografia ou obstáculos; complementar as sinalizações verticais; e, em alguns casos, regulamentar a via. (DENATRAN, 2016). Conforme o CONTRAN (2007c), a sinalização horizontal, ao transmitir mensagens aos condutores e pedestres, deve possibilitar sua percepção e entendimento, sem que estes desviem a atenção da via. Este tipo de sinalização deve, também, ser compreendida por todos que fazem uso da via, independentemente de sua origem ou frequência de utilização.

A sinalização horizontal define alguns padrões de formas e cores que caracterizam os diferentes tipos de sinais. No que se refere às formas, utiliza-se de linhas contínuas e tracejada ou seccionada em trechos específicos da via. Também faz-se uso de setas, símbolos e legendas para indicar uma situação, ou completar a sinalização vertical existente. De acordo com o DENATRAN (2016), para a padronização de cores, a sinalização horizontal se apresenta em cinco tipos: amarela, vermelha, branca e azul.

A cor amarela é utilizada para regular fluxo de sentidos opostos, delimitar espaços onde é proibido parar e/ou estacionar, e para marcar obstáculos. A vermelha tem como objetivo proporcionar contraste entre a marca viária e o pavimento das ciclofaixas/ciclovias, nos símbolos de hospitais e farmácias. A cor branca, é utilizada para regularizar fluxos de mesmo sentido, e delimitar trechos viários destinados ao estacionamento de veículos em condições especiais, e a azul serve para demarcar pinturas de símbolos de pessoas portadoras de deficiência física, em áreas especiais. Já a cor preta serve para proporcionar contraste entre o pavimento e a pintura.

O sistema de sinalização horizontal classifica-se em: marcas longitudinais; marcas transversais; marcas de canalização; marcas de delimitação e controle de

estacionamento e/ou parada; e inscrições no pavimento. Todas essas sinalizações são descritas no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume IV – Sinalização Horizontal, conforme o DENATRAN (2016).

As marcas longitudinais são responsáveis por ordenar as correntes de tráfego e estabelecer regras de ultrapassagem e transposição. Já as marcas transversais possuem a função de ordenar os deslocamentos frontais dos veículos e harmonizar com os deslocamentos de outros usuários da via, informar aos condutores quando há necessidade de reduzir a velocidade, e indicar travessia de pedestres e posições de parada.

Além das marcas longitudinais e transversais, tem-se também as marcas de canalização, que são responsáveis por orientar os fluxos de tráfego em uma via e regulamentar as áreas de pavimento não utilizáveis. Já as marcas de delimitação e controle de estacionamento e/ou parada, quando associadas à sinalização vertical de regulamentação, delimitam e controlam as áreas onde o estacionamento e a parada são proibidos ou regulamentados. Essas marcas subdividem-se nos seguintes tipos:

As inscrições no pavimento, de acordo com o DNIT (2010) são usadas para orientar e advertir o condutor quanto às condições de operação da via, e subdividem-se em: setas direcionais, que indicam o correto posicionamento dos veículos; símbolos, que indicam alerta sobre situações específicas; e legendas, que advertem sobre condições particulares de operação da via.

No que se refere a materiais, os mais utilizados nos diversos tipos de sinalização horizontal descritos são tintas, massas termoplásticas e películas pré-fabricadas, e estes devem ser sempre retrorrefletivos. A escolha do material deve, ainda, considerar alguns aspectos, como: se o serviço é provisório ou permanente; o volume e composição do tráfego; o tipo; e o estado de conservação e vida útil do pavimento. (DNIT, 2010).

De acordo com Ferraz et al. (2012), se comparado com a sinalizações verticais, o sistema de sinalização horizontal apresenta vantagem em relação à visibilidade, já que se localiza no centro do campo visual do motorista, possibilitando transmitir mensagem sem que este desvia a atenção da pista. Castilho (2009), complementa que outra vantagem da sinalização horizontal é ser mais visível e legível durante a noite, pois recebe cerca de 1000 vezes mais luz dos faróis dos veículos. Em contrapartida, apresenta falta de visibilidade diante da existência de neblina, pavimento molhado ou tráfego intenso.

2.1.2 Dispositivos auxiliares

Cucci Neto (1996) define os dispositivos auxiliares como elementos de formas variadas que auxiliam os outros tipos de sinalização, ou seja, são dispositivos delimitadores de pista. Enquanto para Ferraz et al. (2012), esses dispositivos servem para aumentar a visibilidade da sinalização e de obstáculos da via.

Segundo o CONTRAN (2016), os dispositivos auxiliares tornam mais eficiente e segura a operação do trânsito, e são compostos de materiais, formas e cores diversas, as vezes dotados de retrorrefletividade, com as funções de aumentar a visibilidade da sinalização, reduzir a velocidade do trânsito, assim como a incidência e a severidade dos acidentes; e alertar quanto a situações de perigo.

Esses dispositivos são agrupados, segundo sua função, em diferentes categorias: dispositivos delimitadores; dispositivos de canalização; dispositivos de sinalização de alerta; alterações nas características do pavimento; dispositivos de contenção veicular; barreiras antiofuscamento e acústica; dispositivos de proteção para pedestres e/ou ciclistas; dispositivos luminosos; dispositivos de uso temporário; e dispositivos de controle de acesso. (CONTRAN, 2016)

Os dispositivos delimitadores são, de acordo com o DENATRAN (2016), elementos utilizados para melhorar a percepção do usuário da via no que se refere aos limites do espaço destinado ao rolamento e sua separação em faixas de circulação, podendo ser mono ou bidirecionais, de acordo com o número de unidades refletivas. Como exemplo de dispositivos delimitadores, as unidades refletivas mais conhecidas são: balizadores, que são afixados em suporte; tachas e tachões, aplicados diretamente no pavimento.

De acordo com a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET, 2005), os dispositivos de canalização servem para delimitar fluxos, para que os veículos não ultrapassem os limites da faixa de rolamento. Os tipos mais utilizados deste dispositivo são prismas de concreto, com cor de acordo com as linhas longitudinais, e segregador, sempre na cor amarela, podendo, ambos serem acompanhados de sinalização horizontal. Nos casos em que há situações de perigo na via ou áreas adjacentes, são utilizados marcadores de obstáculos e perigo na via ou áreas adjacentes para alertar e melhorar a percepção dos usuários.

Como forma de alterar as condições normais das pistas de rolamento, são feitas alterações nas características do pavimento, tais como faixa elevada para

travessia de pedestres e sonorizador (DENATRAN, 2016). Já os dispositivos de contenção veicular são implantados de forma contínua ao longo da via, com o intuito de conter veículos e minimizar a severidade dos acidentes através de defensas metálicas de contenção lateral e atenuadores de impacto (CONTRAN, 2016).’

Conforme o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2016), as barreiras antiofuscamento e acústica servem para proteção visual e sonora dos usuários da via, diminuindo o ofuscamento dos condutores provocado pela luz dos faróis, e bloquear a propagação do som proveniente dos veículos automotores, respectivamente. No que se refere a dispositivos de proteção para pedestres e ciclistas, para reter seu fluxo e evitar pontos de conflitos com veículos, utilizam-se dispositivos de retenção, contenção e bloqueio para garantir um arranjo adequado do espaço viário.

Com a finalidade de proporcionar melhores condições visuais para a sinalização, emprega-se dispositivos luminosos, como painéis eletrônicos com mensagem e com setas luminosas. Em situações especiais e temporárias, ou que caracteriza-se como emergência, faz-se uso de dispositivos de uso temporário, como cones e tambores, com o objetivo de proteger e alertar os usuários do espaço viário. (CET, 2005)

Por fim, como forma de bloquear o fluxo de veículos, em determinados ponto ou trecho de pista/via, faixa ou área, o CONTRAN (2016) cita os dispositivos de acesso ou passagem. Os dispositivos mais utilizados para esta finalidade são cancela e bloqueador retrátil, que permitem o ingresso apenas de veículos autorizados, podendo ser apenas em dia e horários pré-determinados.

Conforme o CONTRAN (2016), salienta-se que todos os dispositivos auxiliares descritos devem atender às normas internacionais consagradas, ou do Sistema Nacional de Trânsito, devendo, ainda, atenderem no mínimo às normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

2.1.3 Sinalização vertical



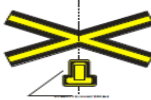

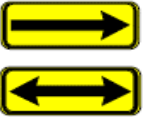
De acordo com o DENATRAN (2016), a sinalização vertical é considerada um subsistema da sinalização viária, que comunica-se com seus usuários através de placas, na posição vertical, que trazem mensagens permanentes ou variáveis. Cabe a ela, ainda, informar sobre a regulamentação do uso da via, advertir sobre os riscos ou a presença de transeuntes, indicar direções, distâncias e serviços, além de educar

os usuários. A sinalização vertical tem como finalidade o controle do trânsito por meio de placas e painéis aplicados sobre as faixas de trânsito ou em pontos laterais à rodovia. (DAER, 2013)

Para que a sinalização vertical seja eficiente e efetiva, ela deve ser posicionada dentro do campo visual do motorista, respeitar a padronização, e garantir que suas mensagens e símbolos sejam legíveis, objetivos e claros, de modo que garanta uma rápida compreensão por parte dos usuários. Para atender a estes quesitos, existe a padronização por meio de cores que garantem a diferenciação visual das seguintes categorias de sinais: vermelho para regulamentação; amarelo para advertência; verde para indicação; azul para serviços auxiliares; branco para sinais educativos e marrom para indicar turismo (DNIT, 2010).

Segundo DNER (1999), além da padronização de cores, há também a diferenciação por formas, para facilitar ainda mais a identificação das sinalizações. Assim, os sinais de regulamentação utilizam, predominantemente, a forma circular, enquanto os sinais de advertência têm a forma quadrada. Já os sinais de indicação, educativos, turísticos e de serviços auxiliares são, em sua maioria, retangulares. Há ainda, casos particulares de formatos e cores, como mostra o Quadro 2.2.

Quadro 2.2- Casos particulares de sinalizações verticais

	Parada obrigatória: e forma octogonal e com fundo vermelho
	Dê a preferência: forma triangular, com o vértice na parte inferior, com fundo branco e borda vermelha.
	Cruzamento de ferrovia em nível: forma de Cruz de Santo André
	Obras: fundo na cor laranja
	Sentido único e sentido duplo: forma retangular

Fonte: adaptado de DNIT (2010)

De modo geral, o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) divide as placas de sinalização vertical em três grupos: sinalização vertical de regulamentação; sinalização vertical de advertência; e sinalização vertical de indicação.

2.1.4 Sinalização Semafórica



A sinalização semafórica tem como finalidade transmitir aos usuários informações sobre o direito de passagem onde o espaço viário é disputado entre movimentos conflitantes, ou advertir sobre situações que possam comprometer a segurança de pedestres e motoristas (CONTRAN, 2014b). De acordo com o DENATRAN (2016), a sua principal função é controlar os deslocamentos através de indicações luminosas que são acionadas através de um sistema elétrico ou eletrônico. Sua classificação divide-se, segundo sua função, em dois grupos, que são: sinalização semafórica de regulamentação e sinalização semafórica de advertência.

2.1.4.1 Sinalização Semafórica de Regulamentação

A sinalização semafórica de regulamentação utiliza de indicações luminosas com a função de controlar o trânsito num cruzamento ou seção da via, alternando o direito de passagem entre os vários fluxos de veículos e os pedestres. Além disso, este tipo de sinalização possui, ainda, cores preestabelecidas, agrupadas em conjunto e dispostas verticalmente ao lado da via ou suspensas sobre ela. (DENATRAN, 2016).

Conforme o CONTRAN (2014b), para o controle do fluxo de veículos, o grupo focal possui as verde, amarelo e vermelho, sendo acionados nessa ordem, e retornando ao verde, e podendo, também, ser composto por setas direcionais. Quando o controle de fluxo veicular apresenta direção livre, o grupo focal é constituído somente pelo foco verde com seta, enquanto para o controle de acesso específico, como pedágio e balsa, possui os focos vermelho e verde. Essas também são as cores para controle ou faixa reversível, porém, o grupo focal apresenta um “X” no foco vermelho e, no verde, uma seta orientada para baixo. O quadro 2.6 apresenta as cores e sinais semafóricos para condutores de veículos.

Quadro 2.3 - Cores e sinais semafóricos para condutores de veículos.

COR	SINAL	SIGNIFICADO	AÇÃO DO USUÁRIO DA VIA
Vermelha		Proibição do direito de passagem.	Obrigatoriedade em parar o veículo.
Amarela		Término do direito de passagem.	O condutor deve parar o veículo, a menos que não seja possível fazê-lo em condições de segurança.
Verde		Permissão do direito de passagem.	Permissão de iniciar ou prosseguir em marcha.
Amarela (intermitente)		Adverte da existência de situação perigosa ou obstáculo	Reduzir a velocidade e observar as normas de circulação e conduta.
Amarela com seta (opcional)		Término do direito de passagem em semáforo direcional.	O condutor deve parar o veículo, a menos que não seja possível fazê-lo em condições de segurança.
Vermelha com seta		Proibição do direito de passagem de acordo com o sentido da seta.	Obrigatoriedade em parar o veículo de acordo com a indicação luminosa.
Verde com seta		Permissão do direito de passagem de acordo com o sentido da seta.	Permissão de iniciar ou prosseguir em marcha, de acordo com a indicação luminosa.
Vermelha		Proibição de circulação na faixa sinalizada.	O condutor não deve circular pela faixa sinalizada.

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014b)

Já para pedestres e ciclistas, o CONTRAN (2014b) menciona que os grupos focais apresentam pictogramas respectivos. Para os pedestres, as cores utilizadas são vermelho e verde, enquanto para os ciclistas, utiliza-se as cores vermelho, amarelo e verde. O acionamento das indicações luminosas de semáforos de pedestres deve respeitar a seguinte sequência: verde, vermelho intermitente - este corresponde ao tempo que permite ao pedestre que iniciou sua travessia no intervalo de verde concluí-la em segurança e na sua velocidade normal de caminhada - e vermelho, retornando ao verde, conforme o Quadro 2.7.

Quadro 2.4- Cores e sinais semaforicos para pedestres e ciclistas.

USUÁRIO DA VIA	COR	SINAL	SIGNIFICADO	AÇÃO DO USUÁRIO DA VIA
Pedestres	Vermelha		Proibição da travessia.	Não deve iniciar a travessia.
	Vermelha (intermitente)		Término do direito de iniciar a travessia.	Não deve iniciar a travessia. Se o pedestre já iniciou a travessia no tempo verde, deve concluí-la.
	Verde		Permissão do direito de travessia.	Permissão de iniciar a travessia.
Ciclistas	Vermelha		Proibição do direito de passagem.	Obrigatoriedade em parar o veículo.
	Verde		Permissão do direito de passagem.	Permissão de iniciar ou prosseguir em marcha.

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014b).

2.1.4.2 Sinalização Semafórica de Advertência

De acordo com o DNIT(2010), a sinalização semafórica de advertência possui a função de advertir, seja a existência de obstáculos ou situações de perigo, informando que o condutor deve dirigir e realizar qualquer manobra com atenção. Esta sinalização é composta por uma ou duas luzes amarelas, com funcionamento intermitente ou piscante alternado, para o caso de duas luzes, como mostra o Quadro 2.8.

Quadro 2.5 - Semáforos para sinalização semafórica de advertência com dois focos

TIPO DE SEMÁFORO	POSIÇÃO VERTICAL	POSIÇÃO HORIZONTAL
Veicular		

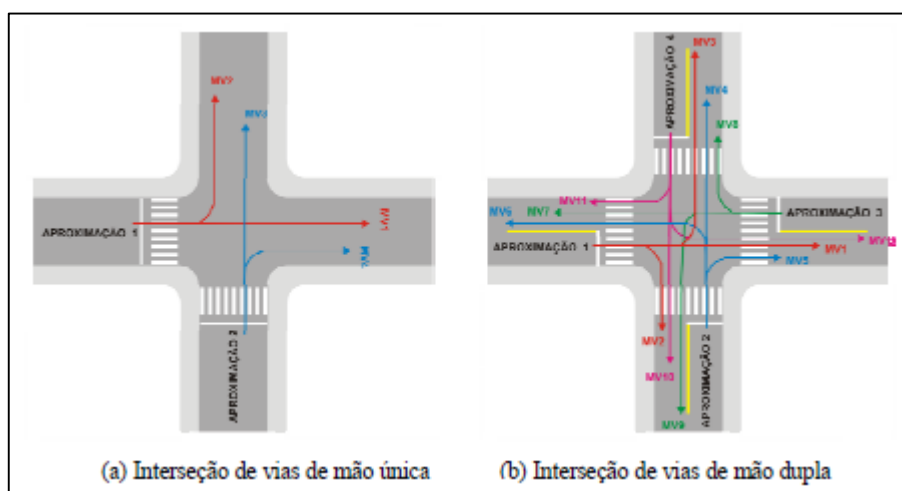
Fonte: adaptado de CONTRAN (2014b).

Seja qual for o tipo de sinalização semafórica, ela deve vir acompanhada por linha de retenção, conforme descrito no item 2.1.1 (sinalização horizontal), assim como Faixas de Travessias de Pedestres, para o caso de grupos focais específicos para pedestres. Quando houver a intersecção de ciclovias ou ciclofaixas, onde há semáforos para ciclistas, deve-se implantar Marcação de Cruzamento Rodocicloviário (DNIT, 2010).

2.1.4.3 Via

Os trechos de uma via onde há movimentos de pedestres ou de veículos que chegam a uma intersecção são denominados aproximações, e nas intersecções, onde há movimentos de veículos procedentes de diferentes aproximações, podendo interferir entre si, dá-se o nome de área de conflito, como mostrado na figura 2 (CONTRAN, 2014b).

Figura 2.1- Representação das aproximações de interseções



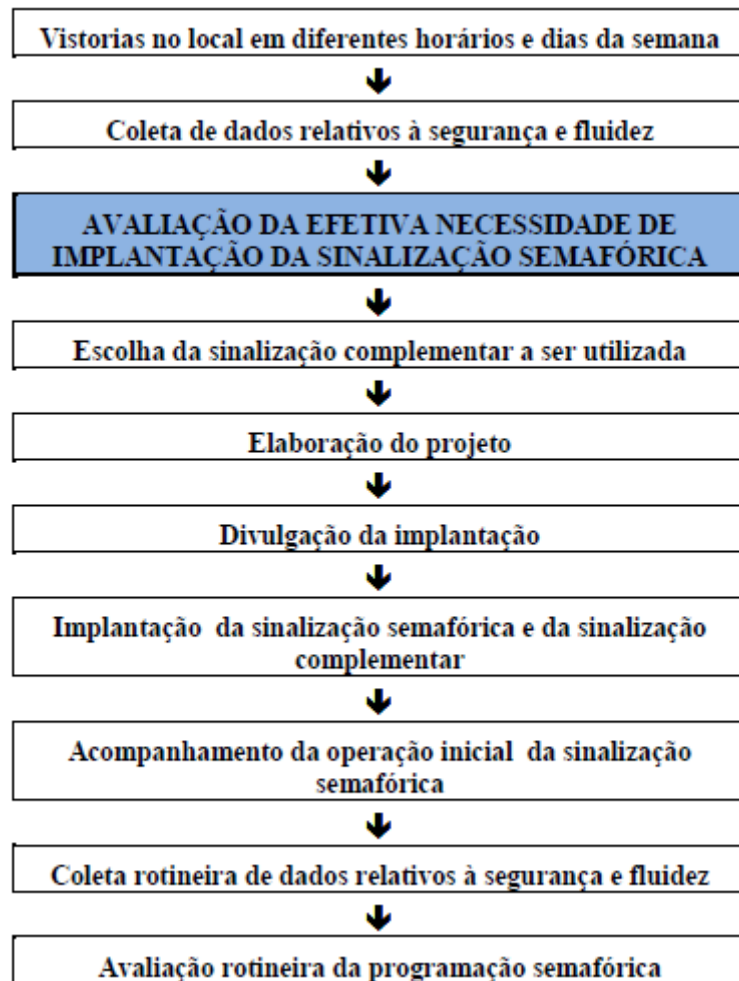
Fonte: CONTRAN (2014b, Pág. 31)

No que se refere à interação de trajetórias, o CONTRAN (2014, b), define que os movimentos em uma intersecção podem ser convergentes, divergentes, interceptantes e não-interceptantes. Os movimentos são convergente quando possuem origem em diferentes aproximações e o mesmo destino, e divergentes quando a origem ocorre na mesma aproximação e os destinos são diferente. Os movimentos interceptantes são aqueles que iniciam em aproximações diferentes e se cruzam em algum ponto da área de conflito, e não-interceptantes, são os casos em que as trajetórias não se cruzam em nenhum ponto da área de conflito.

Para fins de controle semafórico, os movimentos também podem ser classificados em conflitantes e não-conflitantes. Este ocorre quando as trajetórias não se interceptam nem convergem em nenhum ponto da área de conflito. Já os movimentos conflitantes ocorrem quando há origens diferentes e as trajetórias se interceptam ou convergem em algum ponto da área de conflito.

Para garantir segurança aos usuários de uma via, deve-se haver o gerenciamento de conflitos, baseado em verificação constante de problemas, prováveis causas e alternativas de soluções para os mesmos. A utilização de sinalização semafórica deve ser fundamentada em estudo detalhado de engenharia de tráfego, a fim de que se avaliem a operação de tráfego local, as características das vias envolvidas, a ocorrência de pedestres e o ambiente operacional, pois, o DNIT (2010) determina que se houver mais de três acidentes com vítimas é preciso verificar se existe solução sem a implantação de semáforo. Assim, segue-se procedimentos para a sua implantação e avaliação, conforme a figura 2 a seguir.

Figura 2.2 - Procedimentos para a implantação e avaliação da sinalização semafórica



Fonte: CONTRAN (2014b, Pág. 31)

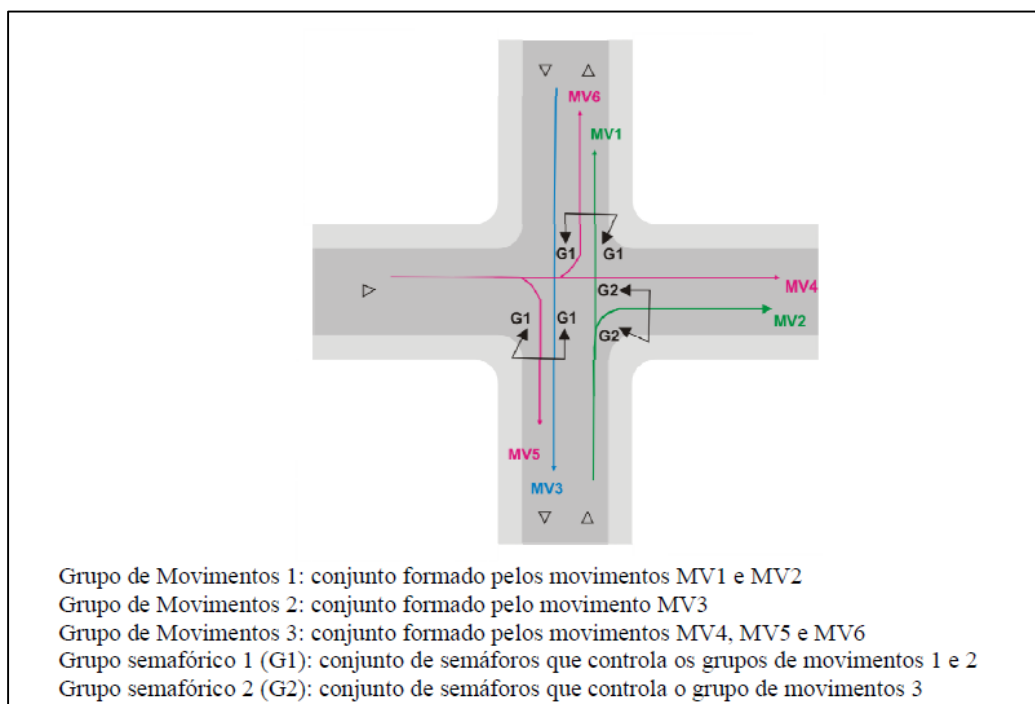
2.1.4.4 Elementos básicos do controle semafórico

Para definir o controle semafórico, o CONTRAN (2014b) define alguns termos fundamentais e os elementos básicos que caracterizam o mesmo, descritos a seguir:

- a) Grupo de movimentos: consiste no conjunto de movimentos em uma mesma aproximação que recebem simultaneamente o direito de passagem.
- b) Grupo semafórico: é o conjunto de grupos focais que controlam os grupos de movimentos que recebem simultaneamente o direito de passagem.

A Figura 2.3 abaixo exemplifica grupos de movimentos e grupos semafórico em uma via.

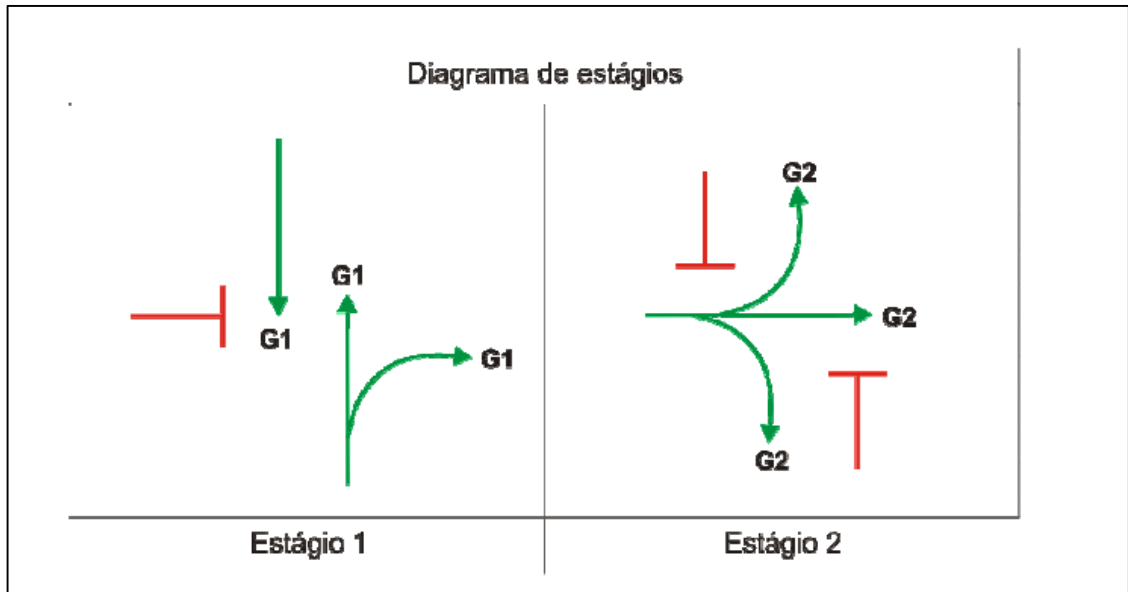
Figura 2.3 – Ilustração do conceito de grupo de movimentos e grupo semafórico



Fonte: CONTRAN (2014b, Pág. 62)

- c) Estágio: compreende o tempo de verde e entreverdes, ou seja, o intervalo de tempo em que um ou mais grupos de movimentos recebem o direito de passagem, simultaneamente.
- d) Ciclo: é definido como a sequência completa dos estágios de uma sinalização semafórica, e o tempo de ciclo de uma interseção consiste na soma dos tempos de todos os estágios programados para o controle do tráfego.
- e) Intervalo luminoso: é o tempo em que a configuração luminosa dos semáforos permanece inalterada.
- f) Plano semafórico: é assim chamado o conjunto de elementos que caracteriza a programação semafórica, como o diagrama de estágios e o diagrama de intervalos luminosos.
- g) Diagrama de Estágios: corresponde à alocação gráfica dos movimentos que podem ser realizados em cada estágio do ciclo, em que a cor verde indica o direito de passagem, enquanto a cor vermelha indica a obrigatoriedade de quem está na aproximação em parar, conforme a Figura 2.4.

Figura 2.4 – Exemplos de diagramas de estágios



Fonte: CONTRAN (2014b, Pág. 64)

- h) Diagrama de intervalos luminosos ou diagrama de barras: representa a sequência e duração dos intervalos luminosos e estágios através de barras horizontais, como mostrado na Figura 2.5.

Figura 2.5 – Exemplo de diagrama de intervalos luminosos

DIAGRAMA DE INTERVALOS LUMINOSOS							
INSTANTE (s)	0		30	34	36		74 78 80
G1	[Barra verde]			[Barra amarela]	[Barra vermelha]		
G2	[Barra vermelha]			[Barra amarela]	[Barra verde]		
INTERVALOS	1	2	3	4		5	6
DURAÇÃO (s)	30	4	2	38		4	2
% CICLO	38	5	2	48		5	2
ESTÁGIOS	1			2			

Fonte: CONTRAN (2014b, Pág. 65)

- i) Volume de tráfego: é o número de usuários que passa por uma determinada seção da via durante o período de realização de uma contagem, e são usualmente registradas a cada 15 minutos.
- j) Volume de tráfego equivalente: representa o volume de tráfego veicular expresso em unidades de carros de passeio (ucp). Assim, o veículo equivalente corresponde ao automóvel, em que se adota $ucp=1$, e converte-se os demais veículos com um fator de equivalência que reflete o desempenho de sua circulação na via, comparando com um automóvel. Os valores de equivalência usualmente utilizados estão apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2. 1– Valores de equivalência

Tipo de veículo	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 (2014b)

- k) Taxa de fluxo: é o número de veículos projetado para o período de uma hora a partir do volume de tráfego ou volume de tráfego equivalente.
- l) Fluxo de saturação: corresponde ao número máximo de veículos que poderia passar em uma aproximação no caso de receber indicação verde durante uma hora. O fluxo de saturação varia de acordo com as condições da via, do tráfego e do ambiente.
- m) Tempo de percepção e reação do pedestre (T_{pr}) : Usualmente, adota-se T_{pr} igual a 1 e sua velocidade de 1,2 m/s.
- n) Linha de retenção (d_2): corresponde à extensão da trajetória do veículo entre a linha de retenção e o término da área de conflito, em metros.
- o) Tempo de amarelo: É o intervalo de tempo entre o final do verde e o início do vermelho, em que o condutor deve parar o veículo, a menos que não seja possível fazê-lo em condições de segurança. No caso da via em estudo, com velocidade máxima regulamentada igual ou inferior a 40 Km/h, o tempo de amarelo não deve ser inferior a 3s, e pode ser calculado pela Equação 1.

$$T_a = T_{pr} + \frac{v}{2 * (a_{ad} \pm i * g)} \quad \dots(1)$$

Onde,

T_{pr} = tempo de percepção do pedestre, geralmente utiliza-se 1s.

a_{ad} = máxima taxa de frenagem admissível na via. Usualmente, adota-se 3m/s;

i = inclinação da via na aproximação, sendo positiva em rampas ascendentes e negativa em rampas descendentes.

p) Tempo de Vermelho Geral (T_{vg}): é o intervalo de tempo entre o final do amarelo (ou vermelho intermitente) de um estágio e o início do verde do próximo. O tempo de Vermelho Geral é calculado pela Equação 2.

$$T_{vg} = \frac{d_2 + c}{v} \quad \dots(2)$$

Onde,

T_{vg} = tempo de vermelho geral;

d_2 = linha de retenção;

c = comprimento do veículo, em metros. Usualmente, $c=5m$;

v = velocidade regulamentada da via.

q) Tempo perdido (entreverdes): é o intervalo de tempo entre o final do verde de um estágio e o início do verde do estágio subsequente. Ou seja, é a parte do ciclo que não é utilizada, efetivamente, pelos veículos, seja pela existência de um estágio de pedestres ou pela alternância de passagem entre as correntes de tráfego veicular. A Equação 3 apresenta forma de calcular o Entreverdes.

$$T_p = T_a + T_{vg} \quad \dots(3)$$

Onde,

T_p = tempo perdido;
 T_a = tempo de amarelo;
 T_{vg} = tempo de vermelho geral.

r) Taxa de ocupação: é a relação entre a taxa de fluxo e seu respectivo fluxo de saturação. Com a Equação 4 calcula-se a Taxa de ocupação

$$Y_i = \frac{F_i}{FS_i} \quad \dots(4)$$

Onde,

Y_i = taxa de ocupação;

F_i = Taxa de fluxo do grupo de movimentos, em veíc/h, ou ucp/h.

FS_i = Fluxo de saturação do grupo de movimentos, em veíc/h, ou ucp/h.

- s) Grupo de movimentos crítico: em um estágio, o grupo de movimentos crítico corresponde àquele com maior taxa de ocupação dentre os que recebem verde nesse estágio, e utiliza-se para os cálculos de tempo de ciclo e tempos de verde.
- t) Tempo de Ciclo: Sequência completa das indicações de uma sinalização semafórica, que não deve ultrapassar 120 s.

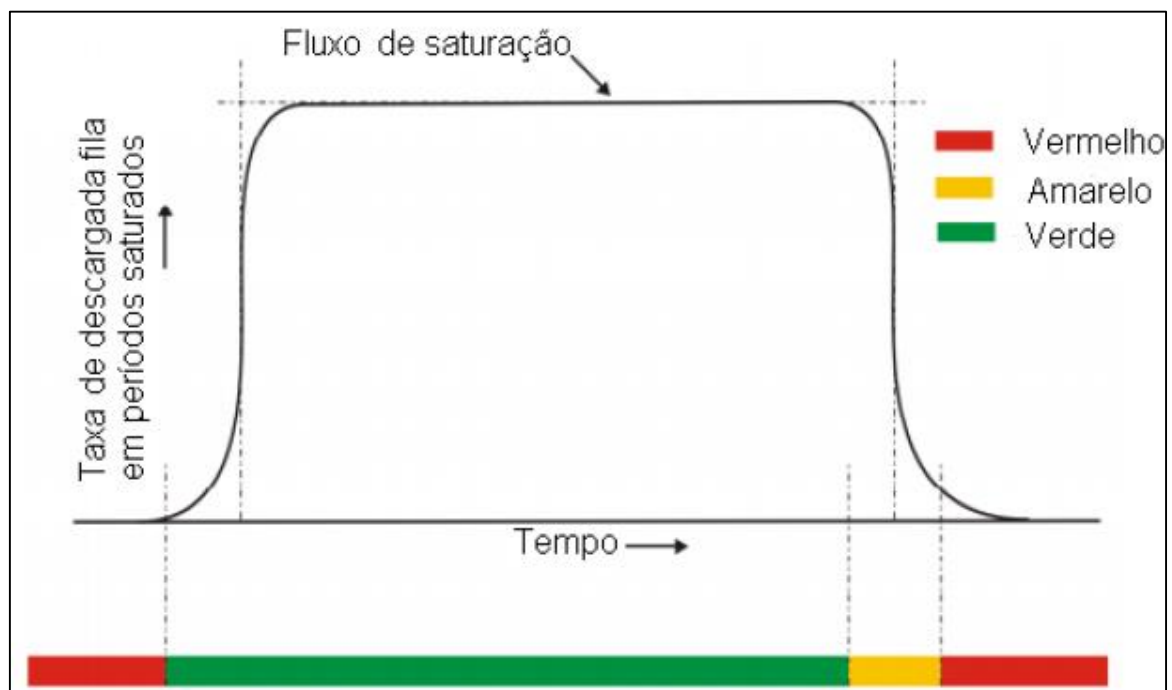
Nesse sentido, existem diferentes formas de programação semafórica, como o Método Webster, o Método do Grau de Saturação Máximo, e o Método da Onda Verde, para a determinação dos tempos de ciclo. Vilanova (2005) estabelece que a diferença entre os dois primeiros métodos está na sua concepção teórica, em que, no Método Webster, assume-se que a chegada de veículos ocorre de maneira aleatória, enquanto no Método do Grau de Saturação, os veículos chegam na forma de pelotões. Já o ajuste de Onda Verde garante a sincronia entre os semáforos, independentemente do método utilizado.

2.2 Método de Webster

O Método de Webster consiste em um modelo de determinação dos tempos fixos de semáforos isolados, desenvolvido no Reino Unido, por volta de 1950, em que fornece a base dos demais métodos de cálculo para determinar tempos para semáforos (DENATRAN,1984). Este método calcula o tempo de ciclo ótimo de uma via, ou seja, de forma que o tempo de espera de um veículo, para poder deslocar-se pela via, seja mínimo.

O modelo considera o máximo de combinações possíveis entre os tempos de ciclo de um semáforo, e adota um modelo de dissipação de filas considerando o comportamento de desmanche no momento de abertura do verde (Luna, 2003). Para isso, considera-se que quando o tempo de verde se inicia, leva algum tempo para que os veículos iniciem seu deslocamento e cheguem a sua velocidade normal, e, após alguns segundos, ocorre o fluxo de saturação, onde a fila é desfeita a uma taxa de veículos relativamente constante, como mostra a Figura 2.6.

Figura 2.6 - Comportamento do tráfego por Webster



Fonte: Luna (2003, p. 13)

Conforme a Figura 2.6, a curva do diagrama é simplificada para um retângulo, onde, sob ele, é indicado o número de veículos que passam pelo semáforo durante o

tempo de verde. Para o cálculo do tempo de ciclo ótimo através deste método, utiliza-se a Equação 5:

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

Onde,

t_{co} : tempo de ciclo ótimo (s);

Tp : tempo perdido total (s);

n : número de estágios;

y_i : taxa de ocupação do grupo de movimentos críticos do estágio i .

Este método considera chegadas aleatórias de veículos nas aproximações, e, portanto, não é indicado quando não houver essa condição, assim como no caso de interseções com alto grau de saturação (DENATRAN,2014). Por isso, tempos de ciclo entre 0,75 e 1,5 do tempo de ciclo ótimo resultam em atrasos médios de no máximo 20% superiores ao valor obtido com o tempo de ciclo ótimo.

2.3 Método do Grau de Saturação Máximo

De acordo com Vilanova (2005), pode-se definir o grau de saturação como o número de veículos que deseja passar em uma via em determinado período de tempo, e o número de veículos que consegue passar. Desta forma, o Método do Grau de Saturação constitui uma ferramenta eficaz para a programação de semáforos, uma vez que escolhe-se, inicialmente, o grau de saturação desejado para cada um dos links, e, posteriormente, quais os tempos de ciclo e de verde necessários para atingir o objetivo.

Este método baseia-se no grau máximo de saturação definido pelo projetista para um grupo de movimentos no período de 15 minutos de volume máximo, e inicia-se pelo cálculo da fração de verde necessária para cada estágio, conforme a Equação 6 (CONTRAN, 2014):

$$p_i = \frac{y_i}{x_{mi}} \quad \dots(6)$$

Onde,

p_i : fração de verde requerida para o estágio i ;

y_i : taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio i ;

xm_i : grau de saturação máximo definido para o grupo de movimentos crítico do estágio i .

Após determinar a fração de verde para cada estágio, é possível calcular o tempo de ciclo para o mesmo, conforme a Equação 7.

$$t_c = \frac{Tp}{1 - \sum_{t=1}^n p_i} \quad \dots(7)$$

Onde,

t_c : tempo de ciclo (s);

Tp : tempo perdido total (s);

n : número de estágios;

p_i : fração de verde requerida para o estágio i .

Há ainda o caso em que se deseja adotar o mesmo grau de saturação xm para os grupos de movimentos críticos de todos os estágios. Então o tempo de ciclo é determinado pela Equação 8:

$$t_c = \frac{xm Tp}{xm - \sum_{t=1}^n y_i} \quad \dots(8)$$

Onde,

t_c : tempo de ciclo (s);

Tp : tempo perdido total (s);

xm : grau de saturação máximo definido para o grupo de movimentos crítico do estágio;

y_i : taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio i .

Costuma-se usar valores de grau de saturação entre 0,75 e 0,90. Valores inferiores utilizam-se de tempos de ciclo elevados para o fluxo da via, enquanto valores superiores levam à insuficiência da absorção aleatória do fluxo de veículos (CONTRAN, 2014b).

2.4 Tempos de sinalização semafórica

A partir dos tempos de ciclo determinados, é possível determinar o tempo de verde efetivo que compõem a sinalização semafórica, sua capacidade e grau de saturação.

2.4.1 Tempo de Verde Efetivo

De acordo com CONTRAN (2014, b), o tempo de verde efetivo corresponde ao tempo de verde do estágio que seria efetivamente utilizado pelo fluxo do grupo de movimentos críticos, caso este fosse descarregado com valor igual ao fluxo de saturação, e utiliza-se equações diferentes, dependendo do método de tempo de ciclo utilizado.

Para o Método do Grau de Saturação Máximo, utiliza-se a Equação 9:

$$t_{v,ef,i} = p_i \times t_c \quad \dots(9)$$

Onde,

$t_{v,ef,i}$ = tempo de verde efetivo (s);

p_i = fração de verde requerida pelo estágio;

t_c = tempo de ciclo (s).

Já para o Método Webster, calcula-se com a Equação 10:

$$t_{v,ef,i} = \frac{(t_c - t_p) * Y_i}{\sum Y} \quad \dots(10)$$

Onde,

$t_{v,ef,i}$ = tempo de verde efetivo (s);

t_p = tempo perdido total (s)

t_c = tempo de ciclo (s)

Y_i = taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico

Y = taxa de ocupação de cada estágio.

Neste caso, tempos de ciclo na faixa de 0,75 à 1,5 do tempo de ciclo ótimo resultam em atrasos médios por veículos no máximo 20% superiores ao valor de atraso obtidos com ciclo ótimo.

2.4.2 Capacidade

A capacidade de um grupo de movimento corresponde ao número máximo de veículos que pode passar em uma aproximação controlada por sinalização semafórica durante uma hora, considerando-se a sua operação normal, conforme a Equação 11 (CONTRAN, 2014b).

$$Cap = FS \times \frac{t_{v,ef,i}}{t_c} \quad \dots(11)$$

Onde,

Cap = capacidade, em veíc/h ou ucp/h;

FS = fluxo de saturação, em veículos por hora ou ucp/h;

$t_{v,ef,i}$ = tempo de verde efetivo (s);

t_c = tempo de ciclo (s).

2.4.3 Grau de Saturação

Grau de Saturação é a relação entre a taxa de fluxo do grupo de movimentos e a capacidade para o atendimento desse fluxo durante o período de uma hora (CONTRAN, 2014b).

$$X = \frac{F}{Cap} \quad \dots(12)$$

Onde,

X = grau de saturação;

F = taxa de fluxo do grupo de movimentos, em veículos por hora, ou ucp (unidades de carro de passeio) por hora;

Cap = capacidade, em veículos por hora, ou ucp por hora.

2.5 Método Onda Verde

CONTRAN (2014b) define onda verde como um sistema de coordenação semafórica entre interseções ao longo de uma via, normalmente arterial, que tem como objetivo a progressão contínua da corrente de tráfego ao longo do trecho onde há essas interseções.

O sincronismo entre os semáforos é proporcional à melhor fluidez do trânsito, resultando em segurança para os usuários. Em contrapartida, a falta de sincronismo pode induzir o motorista a cometer infrações e erros, além de ocasionar problemas, como: bloqueio dos cruzamentos pelos veículos, aumento do risco de colisão traseira, perda de tempo no deslocamento e formação de trânsito lento. Portanto, para evitar tais transtornos, quanto menores forem as distâncias entre os cruzamentos semafóricos, maior a necessidade de sua sincronização (Azeredo, 2014).

Para tanto, o tempo de ciclo para as interseções devem ser determinados empregando os métodos de Webster ou Grau de Saturação Máximo, e usa-se os valores de tempo de ciclo das interseções críticas, ou seja, aquelas que apresentam o maior valor. Salienta-se, ainda, que os tempos de ciclo que foram determinados de modo a atender os critérios de verde de segurança não influenciam na definição do tempo de ciclo da rede. (CONTRAN, 2014b).

De acordo com Bezerra (2007), há diversos métodos que possibilitam a sincronização dos semáforos. Dentre eles, destacam-se os sistemas simultâneo, reverso e progressivo. No sistema simultâneo, todos os sinais ao longo da via abrem e fecham ao mesmo tempo, e sua vantagem está na travessia de pedestres, quando o movimento de conversões for leve e a distância entre interseções pequena. Já no sistema reverso, ou onda vermelha, abre-se primeiramente o último semáforo, depois o penúltimo e assim sucessivamente, de modo a dar fluxo a via em quando há congestionamento da mesma.

O sistema progressivo consiste em se obter progressão ao longo da via, ajustando-se os tempos de verde entre interseções adjacentes. Quando há baixas condições de tráfego, este sistema pode acarretar em atrasos, visto que ele prioriza a

via principal, em detrimento da secundária, e é mais comum em vias de sentido único. Este caso permite a passagem de todos os veículos do pelotão a partir do momento em que o primeiro veículo chega ao cruzamento, e abrem-se os verdes progressivamente (BEZERRA, 2007). Assim, o valor da defasagem entre os inícios dos tempos de verde da sequência de semáforos é dada pela equação 7.

$$T_{ij} = \frac{D_{ij}}{V_{ij}} \quad \dots(13)$$

Onde,

T_{ij} : tempo de percurso entre os semáforos i e j;

D_{ij} : distância entre os semáforos i e j (m)

V_{ij} : velocidade no trecho entre os semáforos i e j (m/s)

Desta forma, Bezerra (2007) determina que para um bom funcionamento do método de onda verde, além de providenciar sinalização indicativa da velocidade da via, deve-se utilizar o mesmo tempo de ciclo para todos os semáforos que farão parte do sistema adotado. O período de tempo que permite que os veículos se movimentem sem paradas ao longo de semáforos sincronizados é denominado Janela Verde, e consiste no menor valor entre as somas de verde e amarelo.

Considera-se, também, o verde efetivo como sendo o verde do sistema de sincronização de semáforos, já que este é muito próximo ao verde real, e, na prática, podem ser considerados iguais. Porém, quando existem veículos parados nos semáforos a jusante quando o pelotão se aproxima, devido às vias secundárias ou estacionamentos e garagens, pode-se antecipar o início dos verdes para que eles possam se movimentar antes que o pelotão se aproxime, de acordo com a Equação 14 (BEZERRA, 2007).

$$A = l + qh \quad \dots(14)$$

Onde,

A: antecipação do verde (s);

l: tempo perdido na partida e aceleração (usualmente adotado como 2 s)

q : número de veículos na fila por faixa;

h : intervalo entre os veículos (usualmente adotado como 2 s)

2.6 Trabalhos Realizados

Silveira (2018) apresentou um estudo da situação operacional dos semáforos implantados ao longo da Rua General Sampaio na cidade de Alegrete/RS, a fim de propor melhorias para aumentar a eficiência operacional do sistema semafórico através da programação de cada indicação luminosa. Para isso, determinou-se geometria da intersecção, as larguras das travessias de pedestres e as distâncias d_2 , a inclinação das aproximações e, por meio de observação de campo, os movimentos nelas permitidos, assim como a quantidade de aproximações de cada intersecção e os tempos, de ciclo e de cada indicação luminosa, em vigor nas aproximações.

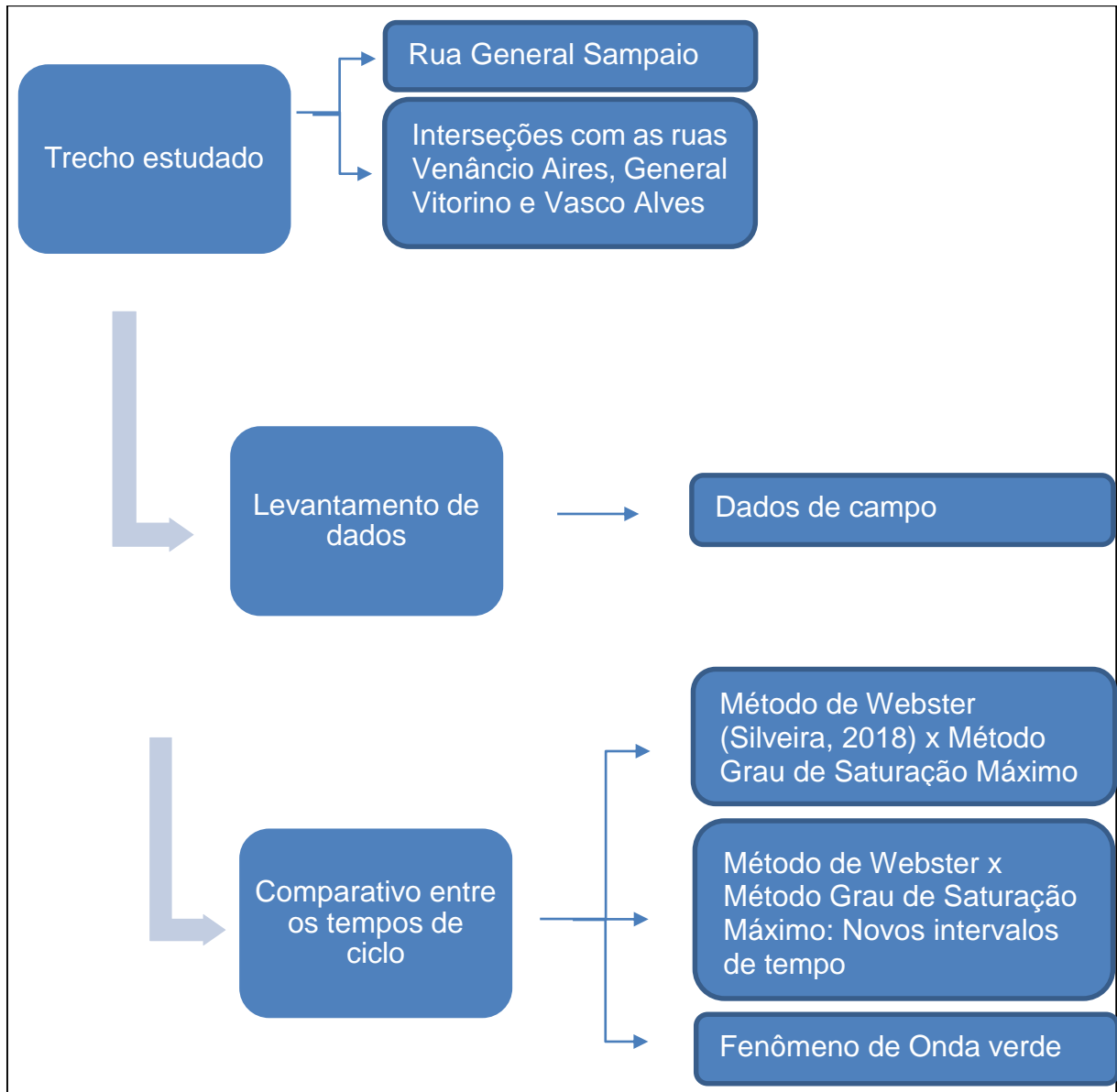
Com a observação de campo, foi possível determinar o fluxo de saturação, a capacidade da via e os entreverdes mínimos necessários para garantir segurança no cruzamento por meio da contagem quantitativa e classificatória do fluxo de veículos em cada uma das aproximações. A contagem dos veículos foi feita por meio de videoteipe, utilizando câmera da marca Sony modelo HDRCX210/B, e o período total de contagem foi de 24h em cada cruzamento, do início da quarta-feira ao início da quinta-feira, em três semanas distintas, sem nenhuma excepcionalidade. Desta forma, foram produzidas contagens dos veículos a cada 15 minutos, diferenciando-os entre os que seguiam reto e os que realizavam conversão nas aproximações, e os classificando através do fator de equivalência que tem como referência um automóvel.

Com isso, determinou-se o valor da taxa de fluxo, que serviu como base para os demais cálculos de tempos semafóricos, sendo que os tempos de ciclo ótimo e de verde foram calculados através do Método de Webster. Posteriormente, fez-se um estudo comparativo entre a operação atual e a ideal, calculada através deste método de programação. Assim, foi apresentado o comportamentos do tráfego em relação a oferta cedida pelos tempos de ciclo aos cruzamentos, e concluiu-se que é possível promover um aumento da fluidez no trânsito na extensão da Rua em estudo através do ajuste dos tempos de ciclo nos semáforos em relação ao fluxo de veículos e do aumento da capacidade por meio de modificações de sinalizações auxiliares.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia deste trabalho, através da apresentação dos locais e dos trechos que serão estudados, assim como os métodos que serão utilizados para o levantamento de dados, como esquematiza a Figura 3.1.

Figura 3.1- Sequência adotada para os procedimentos metodológicos

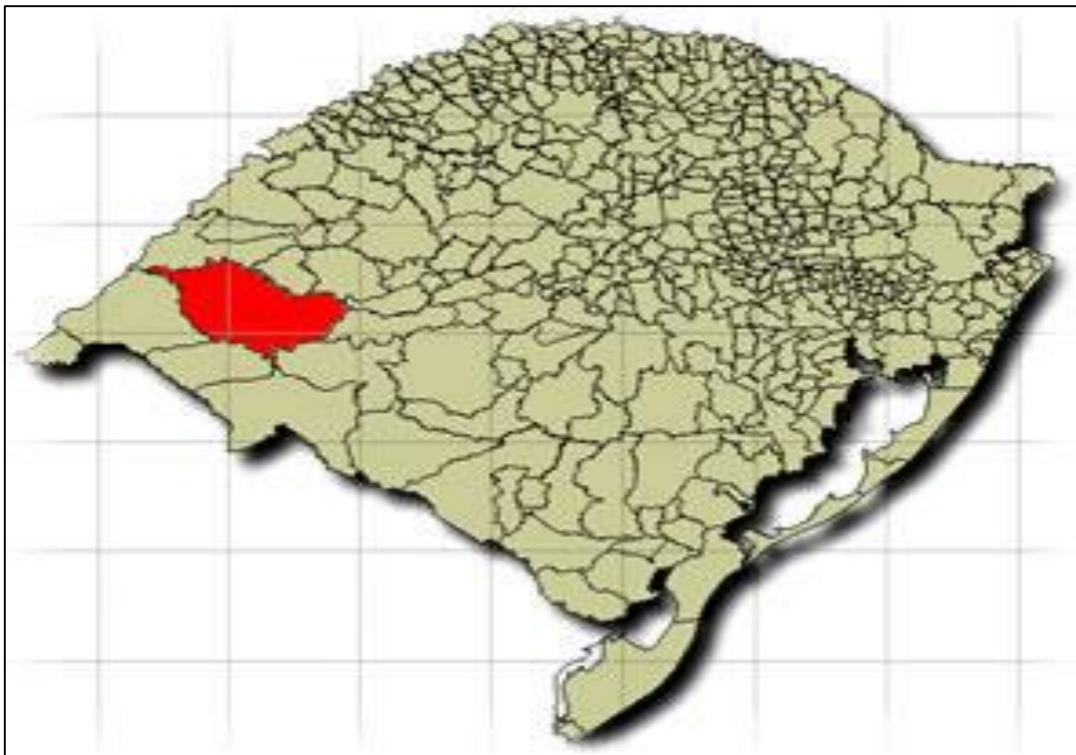


Fonte: Elaboração própria

3.1 Trecho estudado

O trecho de estudo a ser avaliado localiza-se na cidade de Alegrete, na fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, ilustrada na Figura 3.2. A área escolhida situa-se na região central da cidade, nas proximidades da praça Getúlio Vargas, conforme pode ser visualizado na Figura 3.3. Escolheu-se esta região por se tratar de uma área comercial, havendo um grande fluxo de pedestres e veículos.

Figura 3. 2 - Mapa do Rio Grande do Sul destacando Alegrete



Fonte: Prefeitura Municipal de Alegrete (201-, não paginado)

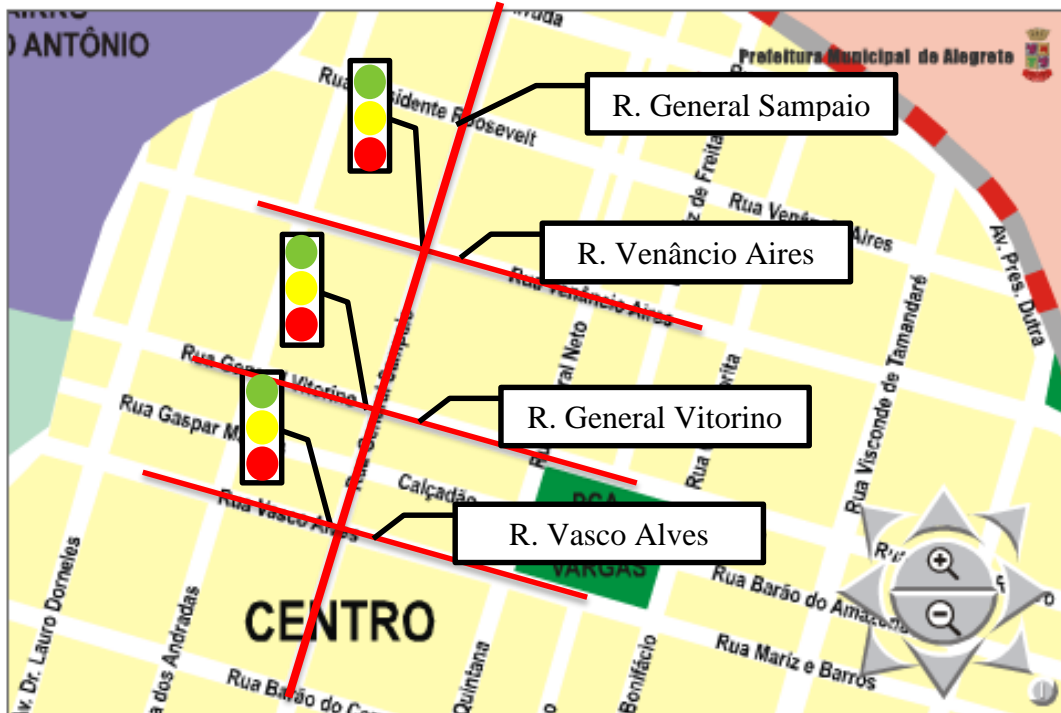
Figura 3. 3 - Região central a ser estudada



Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Alegrete (201-)

Optou-se por estudar a extensão da rua General Sampaio, nas interseções com as ruas Venâncio Aires, General Vitorino e Vasco Alves, conforme a Figura 3.4. Essas vias representam as principais ligações de acesso de todas às zonas (norte/sul e leste/oeste) a região central da cidade, e, portanto, onde há maior fluxo de usuários.

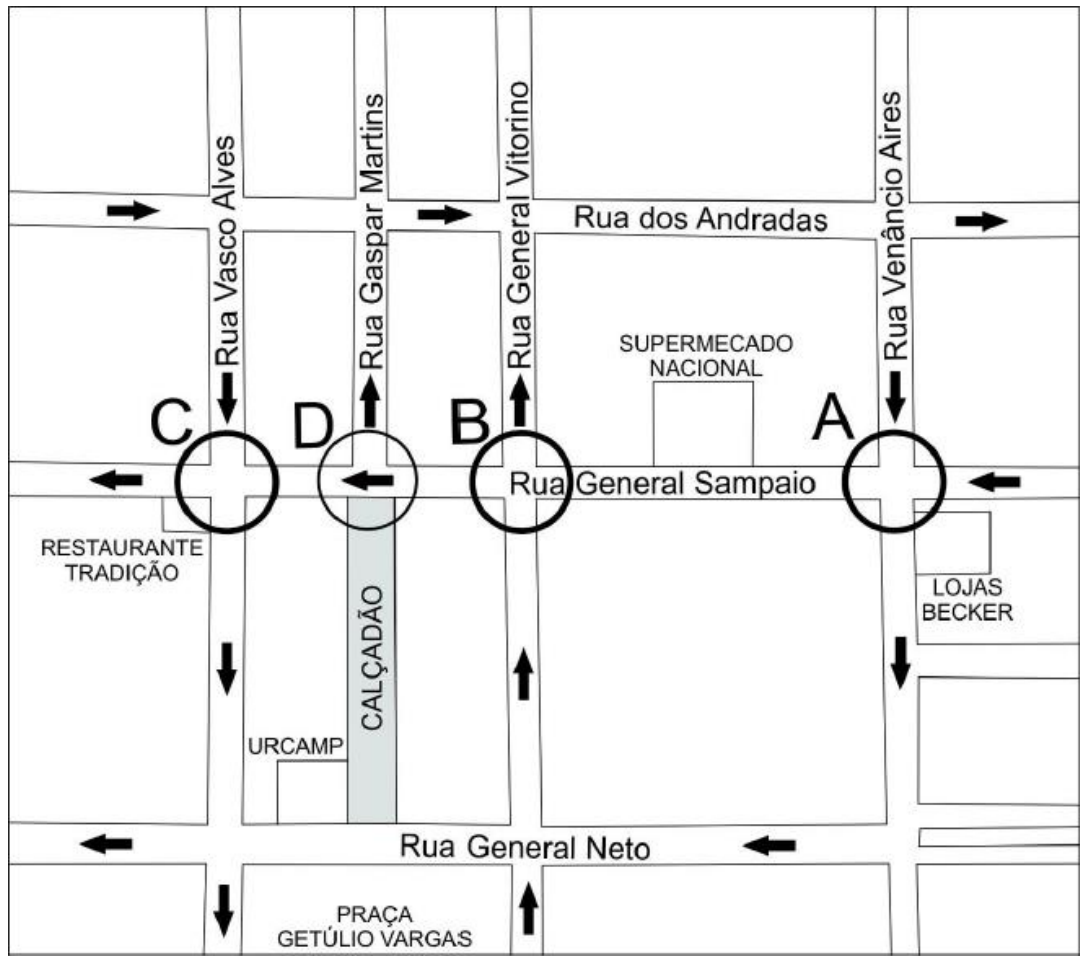
Figura 3.4 - Cruzamentos a serem estudados



Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Alegrete (201-)

Há, ainda, um semáforo para pedestres, acionado manualmente, na interseção da rua General Sampaio com a rua Gaspar Martins, onde, na direção norte, localiza-se o calçadão da cidade. A Figura 3.5 representa todas as interseções e sentidos da extensão da Rua General Sampaio: Rua Venâncio Aires (A), Rua General Vitorino (B), Rua Vasco Alves (C) e Rua Gaspar Martins (D), sendo A, B e C os cruzamentos a serem estudados.

Figura 3.5 - Localização dos cruzamentos

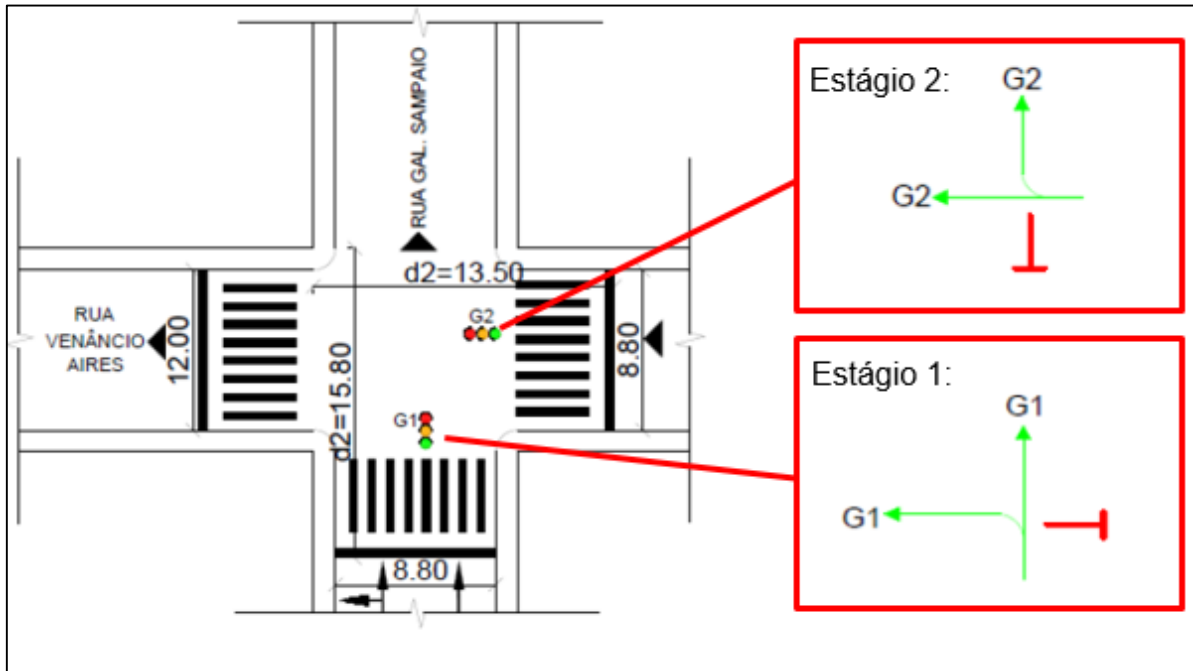


Fonte: Silveira (2018)

3.2 Levantamento de dados

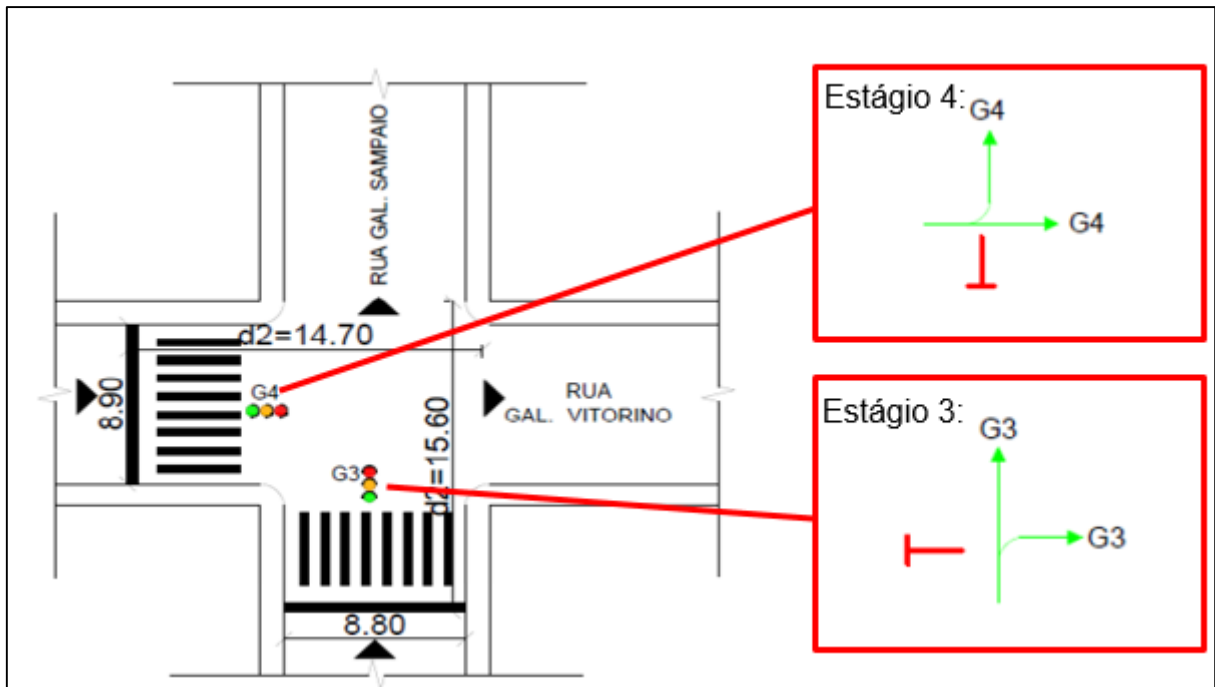
Primeiramente, utilizou-se os dados obtidos por Siveira (2018) referentes às sinalizações semafóricas na extensão da rua General Sampaio, nos encontros desta com as Ruas Venâncio Aires, General Vitorino e Vasco Alves. Desta forma, tem-se as larguras das vias e as distâncias desde a barra de retenção até o final da área de conflito de cada aproximação, assim como as e os movimentos permitidos em cada interseção, e os tempos de ciclo vigentes em cada indicação luminosa, como mostram as Figuras 3.6, 3.7 e 3.8, com o croqui representativo de cada interseção, apresentando dimensões em metro, e seus respectivos grupos e movimentos.

Figura 3.6 - Croqui representativo da Interseção A.



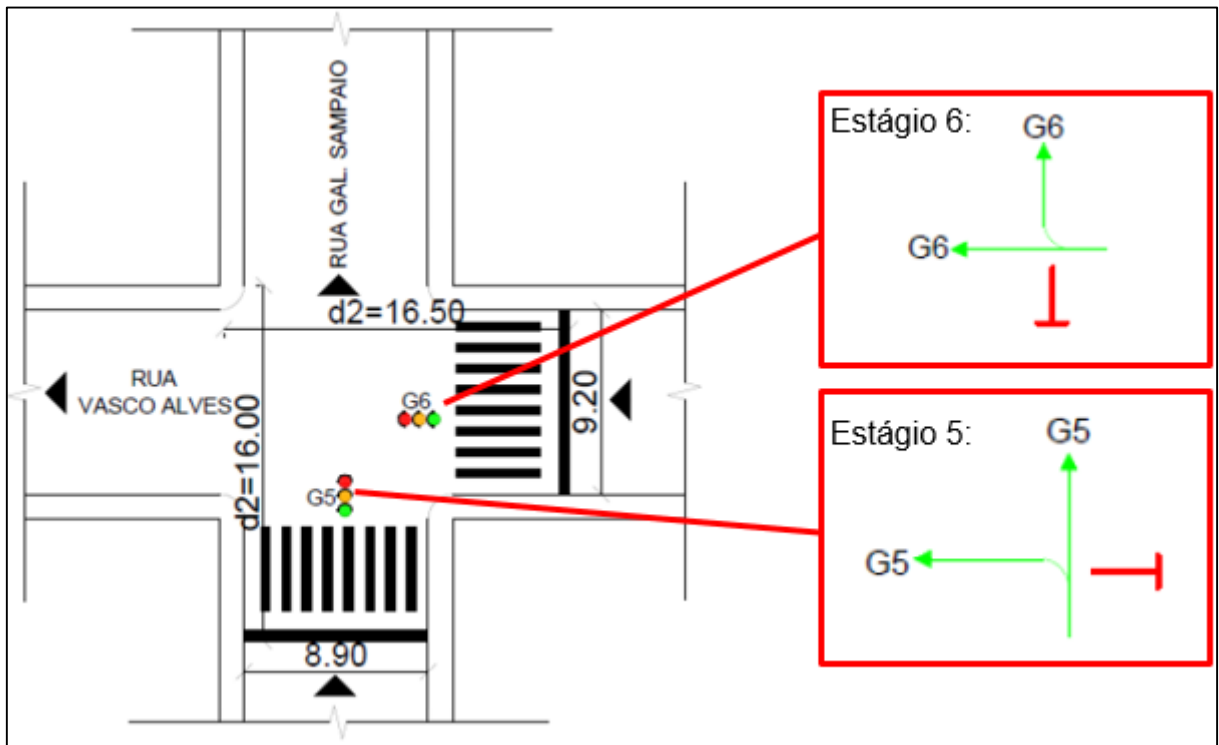
Fonte: Adaptado de Silveira (2018)

Figura 3.7 - Croqui representativo da Interseção B.



Fonte: Adaptado de Silveira (2018)

Figura 3.8 - Croqui representativo da Interseção C.



Fonte: Adaptado de Silveira (2018)

Todas as interseções mostradas localizam-se em zona comercial, com exceção do cruzamento A, que se caracteriza como zona mista. Ao classificar as vias em estudo, constatou-se que a sua velocidade máxima admitida é de 40 Km/h e que as mesmas são classificadas como coletoras.

Aproveitou-se, também de Silveira (2018), a contagem de veículos para cada cruzamento, obtida através da câmera da marca Sony modelo HDRCX210/B, conforme a Figura 3.9, e o período de contagem de 24h para cada cruzamento, de um dia comum, sem excepcionalidades, tendo começado no primeiro horário de uma quarta-feira. Desta forma, a contagem dos veículos foram feitas a cada 15 minutos, diferenciando-os entre os que seguiam na extensão da Rua general Sampaio, e os que realizavam conversão nas aproximações.

Figura 3.9 - Câmera utilizada para captação das imagens



Fonte: Silveira (2018)

Concluído o levantamento do número de veículos passantes nas vias em estudos, Silveira (2018) classificou os mesmos levando em conta o fator de equivalência para a cada tipo de veículo, tendo como referência um automóvel, conforme a Tabela 2.1. Com isso, foi possível obter a taxa de fluxo através do volume máximo de veículos que trafegaram em uma hora de contagem, observados em intervalos de 15 minutos. A observação em campo também foi utilizada para determinar o Fluxo de Saturação.

Posteriormente, Silveira (2018) analisou a demanda do tráfego e padronizou em intervalos de horários os fluxos com valores significativos entre si, com o intuito de obter tempos de ciclo para conjuntos de horários com demanda semelhante. Após os dados obtidos através de observação, foram determinados os tempos de amarelo, vermelho geral e o tempo perdido, ou seja, o tempo tomado pelos entretverdes dentro de um ciclo, através das Equações 1, 2, e 3, respectivamente. Assim, os intervalos foram estabelecidos conforme a Tabela 4.1, levando em consideração as duas aproximações de cada cruzamento.

Tabela 3.1 – Intervalos e fluxo de saturação de cada cruzamento

Cruz.	Intervalo	HORÁRIO	Aproximação	Grupo	FS
A	I	00h:00 - 07h:00 22h:00 - 00h:00	Ven. Aires	G2	1600
			Gal. Sampaio	G1	3600
	II	07h:00 - 10h:00 19h:00 - 22h:00	Ven. Aires	G2	1600
			Gal. Sampaio	G1	3600
	III	10h:00 - 17h:00	Ven. Aires	G2	1600
			Gal. Sampaio	G1	3600
	IV	17h:00 - 19h:00	Ven. Aires	G2	1600
			Gal. Sampaio	G1	3600
B	I	00h:00 - 07h:00	Gal. Vitorino	G4	1400
			Gal. Sampaio	G3	1400
	II	07h:00 - 10h:00	Gal. Vitorino	G4	1400
			Gal. Sampaio	G3	1400
	III	10h:00 - 11h:00	Gal. Vitorino	G4	1400
			Gal. Sampaio	G3	1400
	IV	11h:00 - 12h:00	Gal. Vitorino	G4	1400
			Gal. Sampaio	G3	1400
	V	12h:00 - 13h:00	Gal. Vitorino	G4	1400
			Gal. Sampaio	G3	1400
	VI	13h:00 - 19h:00	Gal. Vitorino	G4	1400
			Gal. Sampaio	G3	1400
	VII	19h:00 - 00h:00	Gal. Vitorino	G4	1400
			Gal. Sampaio	G3	1400
C	I	00h:00 - 07h:00	Vasco Alves	G6	1400
			Gal. Sampaio	G5	1400
	II	07h:00 - 10h:00	Vasco Alves	G6	1400
			Gal. Sampaio	G5	1400
	III	10h:00 - 11h:00	Vasco Alves	G6	1400
			Gal. Sampaio	G5	1400
	IV	11h:00 - 12h:00	Vasco Alves	G6	1400
			Gal. Sampaio	G5	1400
	V	12h:00 - 13h:00	Vasco Alves	G6	1400
			Gal. Sampaio	G5	1400
	VI	13h:00 - 19h:00	Vasco Alves	G6	1400
			Gal. Sampaio	G5	1400

Fonte: Adaptado de Silveira (2018)

3.3 Reprogramação Semafórica

Através dos dados de campo obtidos por Silveira (2018), foi possível determinar os tempos de ciclo através dos métodos Grau de Saturação Máximo, Webster e Onda Verde para diferentes períodos de tempo. Calculou-se os tempos de ciclo através do método Grau de Saturação Máximo utilizando a Equação 7, para os mesmo intervalos de tempo em que Silveira (2018) determinou o tempo de ciclo ótimo pelo método Webster.

Após, foram analisados novos tempos, em períodos menores, levando em consideração o fluxo de veículos em intervalos de 15 minutos, agrupando-os de modo que não houvesse grande discrepância em cada agrupamento de fluxo formado. Com isso, utilizou-se, novamente, os métodos Grau de Saturação Máximo e Webster para determinar os tempos de ciclo de cada grupo semafórico.

O tempo de ciclo pelo método do Grau de Saturação Máximo foi calculado novamente pela Equação 8, já o cálculo pelo método do Webster foi feito pela Equação 5. Por fim, observou-se, para esses períodos de tempo menores, os valores encontrados para cada método já citado. Assim, através de sua compatibilização para cada cruzamento, e com base nos casos críticos, determinou-se os tempos de ciclos a serem utilizados para a via através do fenômeno denominado Onda Verde.

3.3.1 Método de Webster (Silveira, 2018) x Método Grau de Saturação Máximo

O tempo de ciclo, calculado por Silveira (2018), chamado de tempo de ciclo ótimo, foi determinado através do Método de Webster, pela Equação 5, e, com ele, foi possível chegar ao tempo de verde efetivo, por meio da Equação 10. Com essas informações, tornou-se possível obter a Capacidade da Via, através da Equação 11, e o Grau de Saturação da mesma, pela Equação 12.

Para os mesmos intervalos de tempo determinados por Silveira (2018), e com os mesmos dados determinados no item 3.1, utilizou-se o Método Grau de Saturação Máximo. Neste caso, o grau de saturação é fixado, antes de se calcular o tempo de ciclo, de modo a se obter um melhor uso da via, para que esta não trabalhe de maneira ociosa, tampouco de maneira saturada.

Desta forma, estipulou-se o valor ideal de saturação da via como sendo de 0,88, conforme mencionado por Vila Nova (2005), a fim de se determinar novos tempos de

ciclo e de verde efetivo para cada cruzamento. Para tal, calculou-se, primeiramente, a fração de verde necessária para cada estágio, conforme a Equação 6, e, a partir dela, os tempo de ciclo e o tempo de verde efetivo, através das Equações 8 e 9, respectivamente.

De posse desses tempos, calculou-se, também, a Capacidade de cada cruzamento, pela Equação 11. Quando algum dos itens calculados não atenderam aos limites estabelecidos, os mesmos foram recalculados, através de retroanálise, de modo a satisfazer os pré-requisitos estipulados pelos órgãos responsáveis, e garantir segurança aos usuários da via.

Por fim, recalculou-se os tempos de verde de cada estágio, conforme a Equação 9, e, assim, a composição de tempos para cada grupo semafórico. Com isso, comparou-se os resultados obtidos pelo Método Grau de Saturação Máximo aos resultados obtido por Silveira (2018) que utilizou o Método de Webster.

3.3.2 Método de Webster x Método Grau de Saturação Máximo: Novos intervalos de tempo

Para este caso, utilizou-se os dados Para este caso, utilizou-se os dados de contagem de volume de tráfego, tempos de amarelo e vermelho geral, obtidos por Silveira (2018), para cada aproximação de cada cruzamento. Silveira (2018) agrupou as demandas de tráfego em períodos de hora cheia (uma hora, duas horas, três horas, etc.) conforme a semelhança que existia entre o número de veículos, tendo assim planos semafóricos de horas cheias.

Neste trabalho fez-se uma nova análise de demanda de tráfego, organizando minuciosamente os fluxos de veículos semelhantes de tal forma a não haver grande discrepância entre eles, para os intervalos de 15 minutos. Desta forma, os novos períodos de tempo foram agrupados independente do tempo total, podendo, assim, os novos planos semafóricos serem de 15, 30, 45 minutos, 1 hora, 1 hora e 15 minutos, etc. de acordo com o comportamento e as semelhanças, do número de veículos, existentes em cada cruzamento.

Para os novos planos semafóricos determinados para cada cruzamento, em um período de 24 horas, fez-se novos cálculos para se obter o fluxo máximo de veículos equivalentes que trafegou em cada aproximação e a taxa de veículos da mesma, determinada pelo produto entre o fluxo máximo do período e o fluxo de

saturação caracterizado para a aproximação para o mesmo período, conforme a Equação 4.

A partir dos dados descritos, calculou-se novos tempos de ciclo e demais parâmetros referentes a cada um dos métodos: Webster e Grau de Saturação Máximo. Para isso, utilizou-se da mesma sequência de cálculos da metodologia descrita no item 3.3.1 para que fosse possível comparar os dois métodos e verificar qual o mais adequado para cada um dos cruzamento, em cada intervalo de tempo.

3.3.3 Fenômeno da Onda Verde

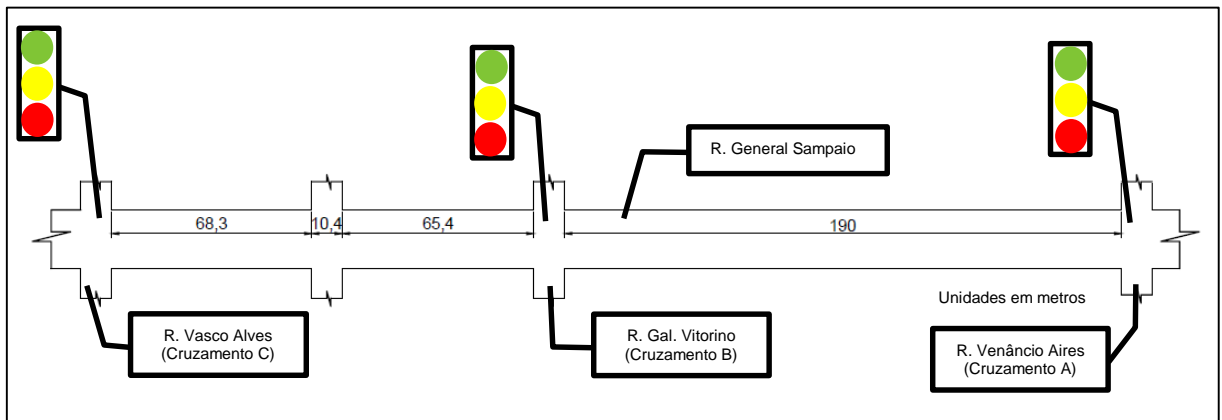
Para obter os tempos de ciclo através da sincronização entre os semáforos, analisou-se cada intervalo de tempo, de cada cruzamento, calculados no item 3.3.2, através do Método de Webster e do Método Grau de Saturação Máximo. A partir dos tempos de ciclo determinados por cada método, observou-se o grau de saturação dos mesmos.

Quando, em determinado tempo de ciclo de uma interseção, o grau de saturação encontrado foi inferior a 0,5, considerou-se como fluxo de veículos com chegadas aleatórias, e, assim, o tempo de ciclo foi determinado pelo Método de Webster, já que é mais adequado para este tipo de situação. Para graus de saturação iguais ou superiores a 0,5, considerou-se o fluxo de veículos com chegadas em pelotões, e, portanto, o tempo de ciclo utilizado foi o determinado através do Método Grau de Saturação Máximo.

Após determinar qual o método a ser utilizado em cada caso, e de posse dos tempos de ciclo para cada cruzamento, analisou-se as 3 interseções simultaneamente, e determinou-se os casos críticos, que consiste no maior tempo de ciclo entre as 3 interseções, como sendo o tempo de ciclo da via para o fenômeno de onda verde para cada período estabelecido. O sistema adotado foi o progressivo, com o objetivo de se obter progressão ao longo da via, ou seja, os focos semaforicos de verde vão abrindo a medida que o pelotão avança. Optou-se por este sistema pelo fato dele priorizar a via principal, que é o caso da Rua General Sampaio, onde deseja-se adotar a sincronização entre os semáforos. O tempo de verde, para o sistema progressivo, será considerado como sendo o mesmo tempo de verde efetivo calculado (BEZERRA, 2007).

Assim, o tempo de percurso entre os semáforos foram calculados através da Equação 13. Já a antecipação do verde, que permite a movimentação de veículos vindos de vias secundárias ou estacionamento antes que o pelotão se aproxime, foi calculada pela Equação 14. Para isso, mediu-se, em campo, a distância entre os semáforos, conforme a Figura 3.10 e os tempos de ciclo atualmente vigentes em cada cruzamento, como mostra a Tabela 3.1.

Figura 3.10 – Distância entre os semáforos



Fonte: Elaboração própria

Tabela 3.2 – Tempos atualmente em vigor

Cruzamento	Horário	Verde (s)	Amarelo (s)	Vermelho Geral (s)	Vermelho (s)	Tc (s)
A	Integral	20	3	25	2	50
B						
C						

Fonte: Elaboração própria

4 RESULTADOS

Neste capítulo encontram-se os resultados obtidos através de diferentes métodos de programação semafórica, assim como a comparação entre eles, de modo a verificar a eficiência de cada um.

4.1 Método de Webster (Silveira, 2018) x Método Grau de Saturação Máximo

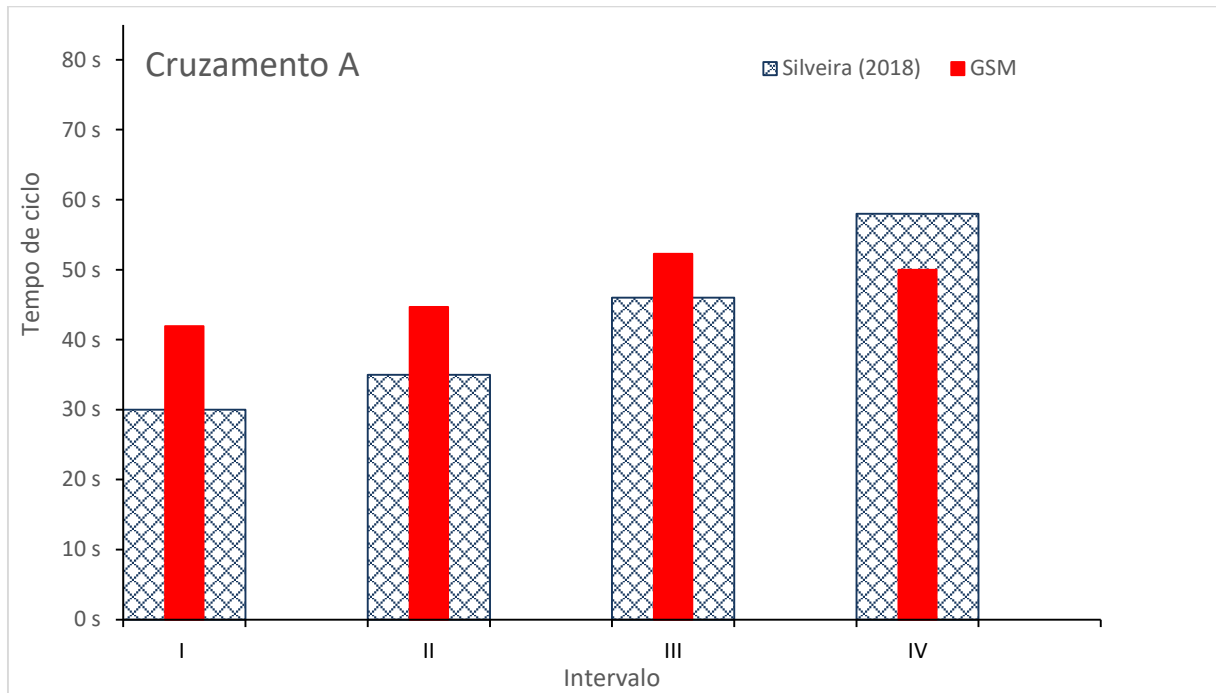
A partir dos intervalos de tempo determinados ao analisar o comportamento horário do tráfego, obtiveram-se os tempos de ciclo ótimos para cada um dos planos semafóricos, calculados pelo Método de Webster. Para esses mesmos planos e volume de tráfego, determinou-se os tempos de ciclo pelo Método do Grau de Saturação Máximo e obteve-se os resultados mostrados nas Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4, assim como nos Gráficos 4.1, 4.2 e 4.3, que representam os resultados comparativos para cada cruzamento, A, B e C, respectivamente.

Tabela 4.1 – Comparativo entre os métodos para o cruzamento A

Dados do cruzamento			Silveira (2018)				GSM			
Cruz.	Intervalo	Fmax (veic/h)	t _{vef,i} (s)	TC _o (s)	Cap (ucp/h)	X _{máx}	t _{vef,i} (s)	TC (s)	Cap (ucp/h)	X _{máx}
A	I	103	10	30	533	0,19	22 s	42	837	0,12
		105	10		933	0,11	10 s		859	0,12
	II	389	15	35	686	0,57	25 s	45	884	0,44
		355	10		800	0,44	10 s		805	0,44
	III	625	26	46	904	0,69	32 s	52	988	0,63
		436	10		609	0,72	10 s		689	0,63
	IV	732	34	58	938	0,78	30 s	50	960	0,76
		549	14		676	0,81	10 s		720	0,76

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 4.1 – Tempos de ciclo para o cruzamento A



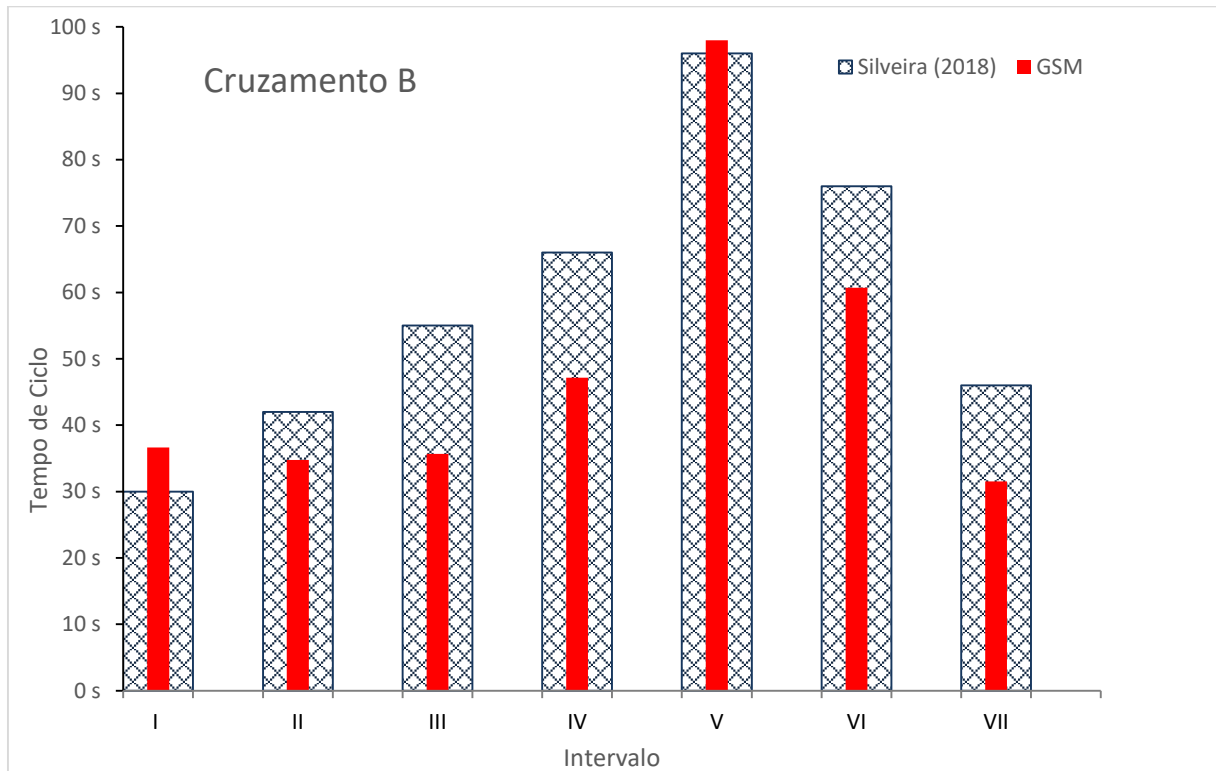
Fonte: Elaboração própria

Tabela 4.2 – Comparativo entre os métodos para o cruzamento B

Dados do cruzamento			Silveira (2018)				GSM			
Cruz.	Intervalo	Fmax (veic/h)	t _{vef,i} (s)	TC (s)	Cap (ucp/h)	X _{máx}	t _{vef,i} (s)	TC (s)	Cap (ucp/h)	X _{máx}
B	I	122	10	30	467	0,26	17	37	636	0,19
		73	10		467	0,16	10		382	0,19
	II	435	20	42	667	0,65	15	35	595	0,73
		295	12		400	0,74	10		403	0,73
	III	523	27	55	687	0,76	15	36	594	0,88
		364	18		458	0,79	11		413	0,88
	IV	579	34	66	721	0,80	22	47	658	0,88
		392	22		467	0,84	15		445	0,88
	V	576	45	96	656	0,88	46	98	655	0,88
		530	41		598	0,89	42		603	0,88
	VI	576	37	76	682	0,85	28	61	655	0,88
		453	29		534	0,85	22		515	0,88
	VII	418	20	46	609	0,69	12	32	512	0,82
		362	16		487	0,74	10		444	0,82

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 4.2 - Tempos de ciclo para o cruzamento B



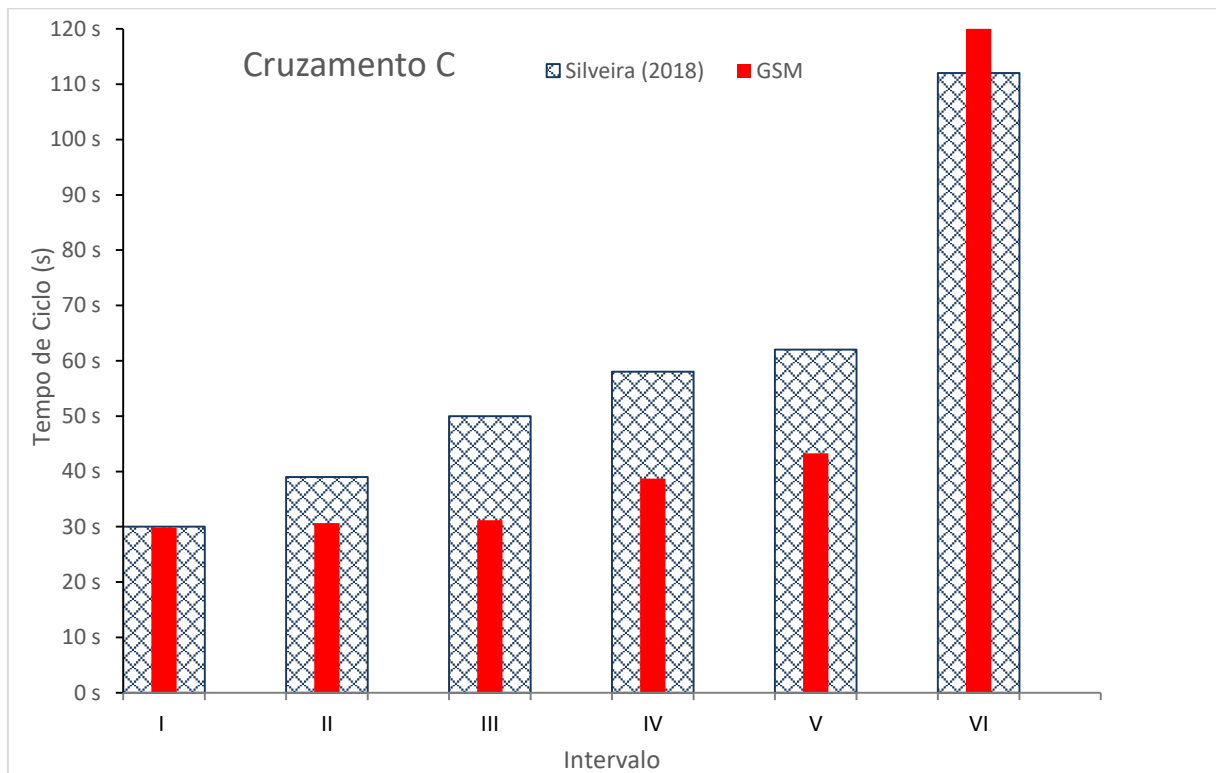
Fonte: Elaboração própria

Tabela 4.3– Comparativo entre os métodos para o cruzamento C

Dados do cruzamento		Silveira (2018)					GSM			
Cruz.	Intervalo	Fmax (veic/h)	tvef,i (s)	TC (s)	Cap (ucp/h)	Xmáx	tvef,i (s)	TC (s)	Cap (ucp/h)	Xmáx
	I	196	10	30	467	0,42	10 s	30	469	0,42
		199	10		467	0,43	10 s		469	0,42
	II	328	15	39	538	0,61	11 s	31	486	0,67
		349	14		503	0,69	10 s		457	0,76
	III	441	22	50	616	0,72	11 s	31	501	0,88
		396	18		504	0,78	10 s		450	0,88
	IV	390	21	58	507	0,77	12 s	39	443	0,88
		524	27		652	0,80	16 s		595	0,88
	V	449	25	62	565	0,80	16 s	43	510	0,88
		498	27		610	0,82	18 s		566	0,88
	VI	597	54	112	675	0,88	55 s	120	642	0,93
		552	48		600	0,92	55 s		642	0,86

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 4. 3 - Tempos de ciclo para o cruzamento C



Fonte: Elaboração própria

Ao analisar os resultados obtidos pelo Método do Grau de Saturação Máximo com os obtidos anteriormente por Silveira (2018), observa-se que os tempos de ciclo semafórico pelo Método do Grau de Saturação Máximo têm valores maiores que pelo Método de Webster, para fluxos de veículos considerados pequenos, e menores a medida que esses fluxos cresceram consideravelmente. Isso ocorre porque o Método de Webster é considerado mais adequado para fluxos pequenos, com chegadas aleatórias, não havendo necessidade da formação de pelotões.

Enquanto isso o Método do Grau de Saturação Máximo precisa da formação de pelotões para o melhor desempenho, o que faz com que quando há baixo fluxo de veículos, aumente o tempo de espera de formação de pelotão, aumentando o tempo de ciclo. Já para fluxos maiores o Método do Grau de Saturação Máximo otimiza o tempo de ciclo, sendo considerado o método ideal para chegadas de veículos em forma de pelotões, tornando os tempos de ciclo semafórico menores e mais bem aproveitados.

Desta forma, considerando os cruzamentos de maneira isolada, é possível observar que, para o cruzamento A, nos intervalos I, II e III a chegada de veículos ocorre em pequenos fluxos, se comparado aos demais planos semafóricos, e,

portanto, de maneira aleatória. Por esse motivo, sugere-se, que sejam adotados os resultados de tempo de ciclo encontrados pelo Método de Webster. Já no intervalo IV, onde ocorre o horário de pico da interseção A, a chegada de veículos ocorre em pelotões, e, por isso, o tempo de ciclo encontrado através do Método do Grau de Saturação Máximo foi inferior ao encontrado por Silveira (2018), pois ele otimiza a via de modo que não haja folgas significativas entre um veículo e outro.

No cruzamento B, as chegadas aleatórias são consideradas apenas no período da madrugada, que consiste no intervalo I, e, portanto, pode ser utilizado o tempo de ciclo obtido pelo primeiro método. Nos demais intervalos, considera-se mais adequada a utilização do segundo método, Grau de Saturação Máximo. Neste caso, observa-se que, no intervalo V, onde ocorre um horário de pico, o tempo de ciclo resultou em 2 segundos superior ao método anterior. Isso ocorre devido ao melhor aproveitamento do espaço disponível, já que, por este método, está sendo utilizado 88% da via nas duas interseções, que é o valor recomendado por Vila Nova (2005) para um bom andamento do fluxo de veículos, sem haver desperdício de espaço, nem sobrecarregar a via. Se o grau de saturação, para o segundo método, fosse fixado de modo a utilizar o mesmo do método calculado por Silveira (2018), de 88% em uma interseção e 89% em outra, o tempo de ciclo seria reduzido para 89 segundos, o que mostra que o Método do Grau de Saturação Máximo otimiza a utilização da via.

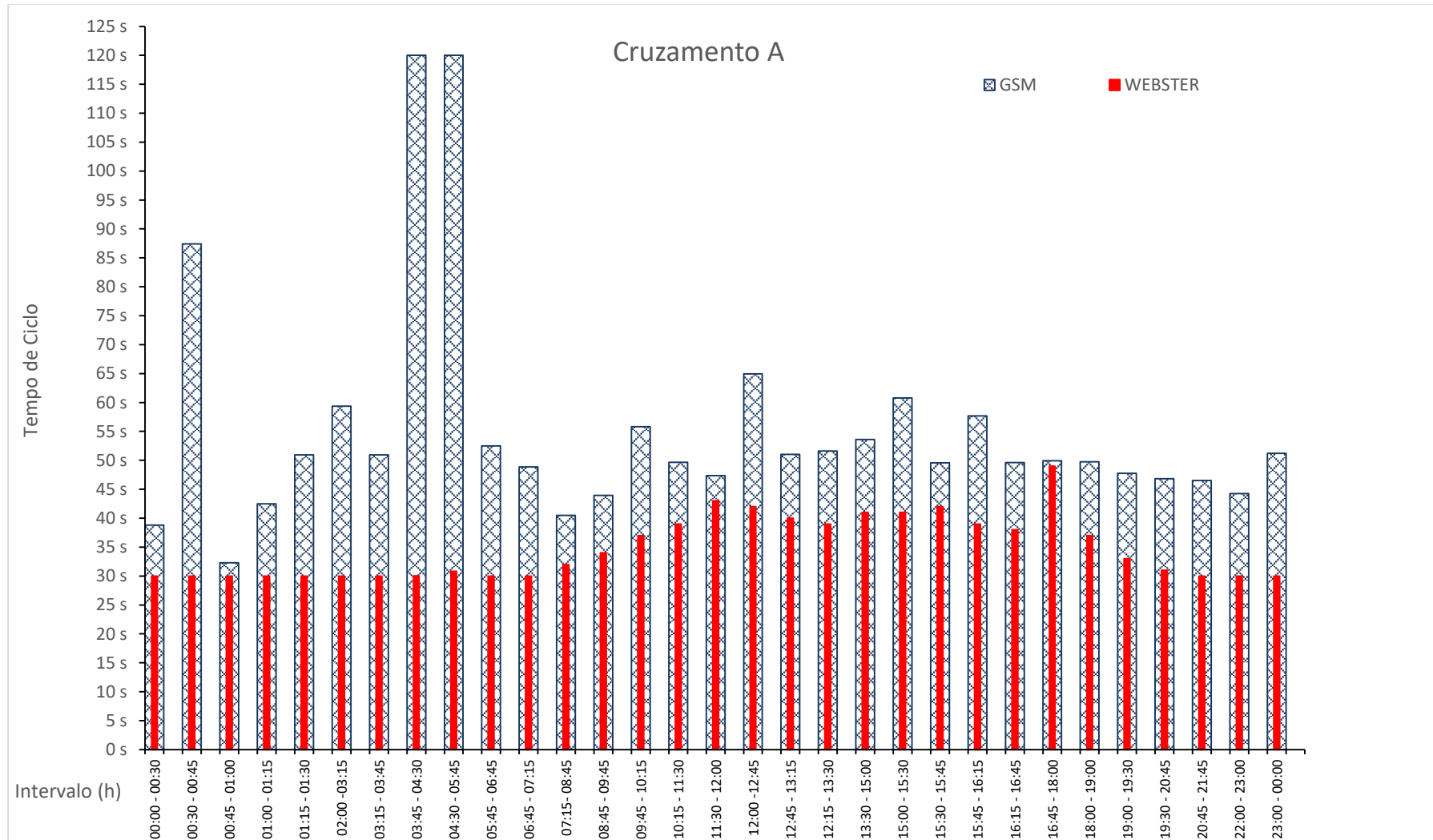
No cruzamento C, somente no período da madrugada, representado pelo intervalo I, as chegadas foram consideradas aleatórias, devido ao baixo volume de tráfego. Os demais intervalos tiveram seus tempos de ciclo considerados através do Método do Grau de Saturação Máximo, já que neles é possível formar pelotões antes de passar pelo grupo semafórico. Em contrapartida, independentemente do método utilizado, o fluxo de veículos encontra-se saturado no intervalo VI, com graus de saturação superiores a 0,88 pelos dois métodos.

4.2 Método de Webster x Método Grau de Saturação Máximo: Novos intervalos de tempo

Para os fluxos equivalentes de veículos determinados em campo por Silveira (2018), para períodos de 15 minutos, adotou-se novos intervalos de tempo (planos semafóricos) de modo que os horários que o compõem fossem agrupados em fluxos de veículos menores e similares entre si, através da análise dos grupos semafóricos

de cada cruzamento. Com isso, calculou-se novos tempos de ciclo pelo Método de Webster e pelo Método do Grau de Saturação Máximo para cada um dos planos semaforicos. Desta forma, os Gráficos 4.4, 4.5 e 4.6 apresentam os resultados comparativos entre os tempos de ciclo determinados por ambos os métodos, para os cruzamentos A, B e C respectivamente.

Gráfico 4.4 – Tempos de Ciclo para o cruzamento A

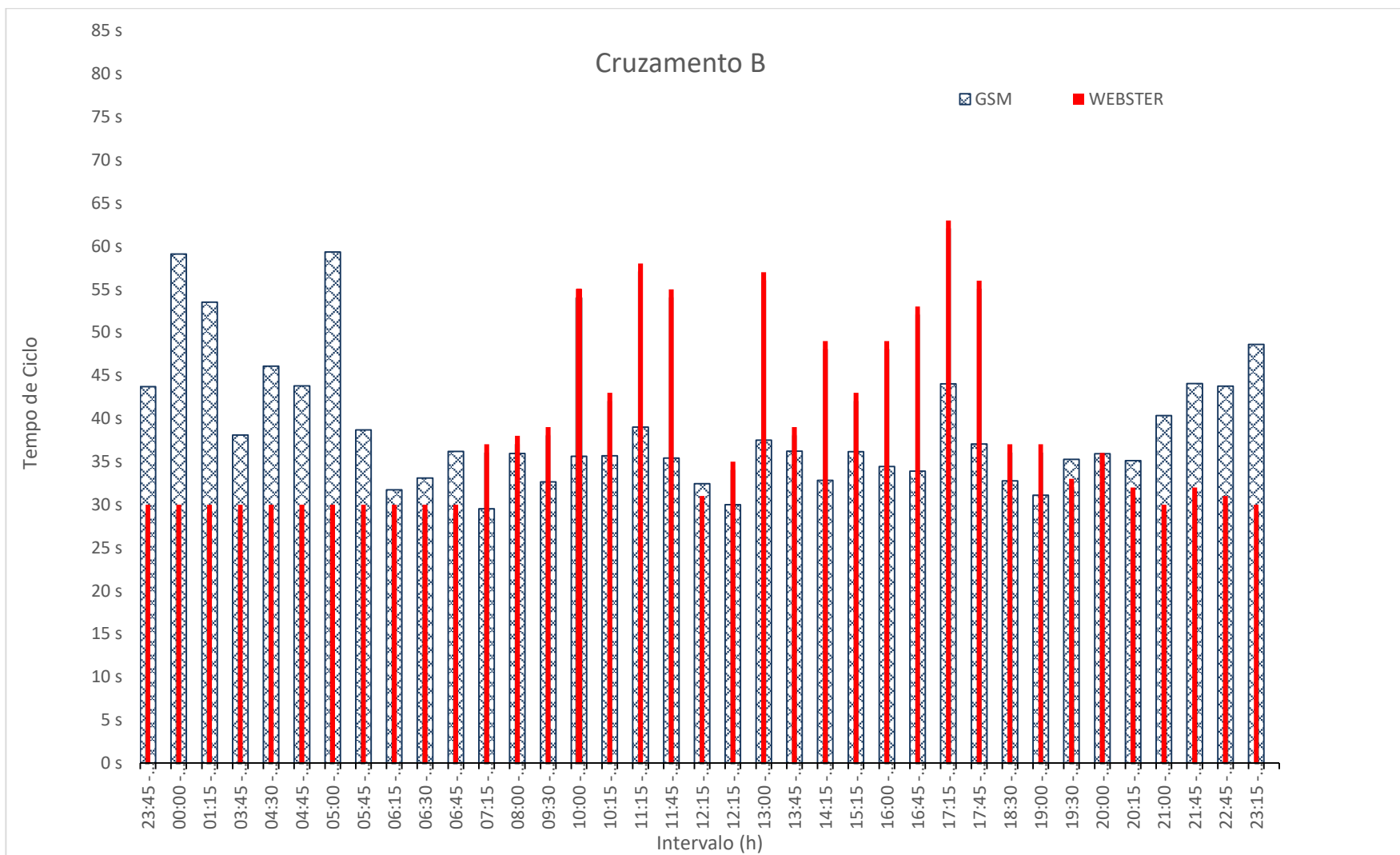


Fonte: Elaboração própria

No cruzamento A, é possível observar que há diferença significativa entre os tempos de ciclo determinados por cada método. Essa discrepância entre os resultados pode ser explicada através do apêndice A, ao analisar o fluxo máximo de veículos de cada intervalo escolhido com o fluxo de saturação de cada aproximação do grupo semaforico, onde pode-se observar que este fluxo é demasiadamente superior a quantidade de veículos que transitam pela via. Essa diferença também pode ser observada pela sua capacidade, em que o número máximo de veículos que a via suporta é até 99% superior ao número de veículos que realmente passa em cada aproximação, como mostrado no período de 1:00 hora à 1:15 horas, tornando-a ociosa, e até mesmo perigosa enquanto o usuário aguarda para seguir.

Desta forma, o cruzamento A consiste na interseção com menor fluxo de veículos, se comparado aos demais, pois a chegada dos mesmos é considerada como aleatória, ou seja, onde não há veículos passantes em quantidade suficiente para formar um pelotão, ou, para que seja possível forma-lo, faz-se necessário um tempo de espera muito alto, e, por consequência, este tempo ocioso resulta em grandes tempos de ciclo, como se observa pelo Método do Grau de Saturação Máximo. Por este motivo, considerando a análise dos semáforos de maneira isolada, no cruzamento A é mais adequada a utilização do tempo de ciclo determinado pelo método de Webster, em que não é necessário esperar a formação de um pelotão para o sinal abrir.

Gráfico 4.5 – Tempos de Ciclo para o Cruzamento B



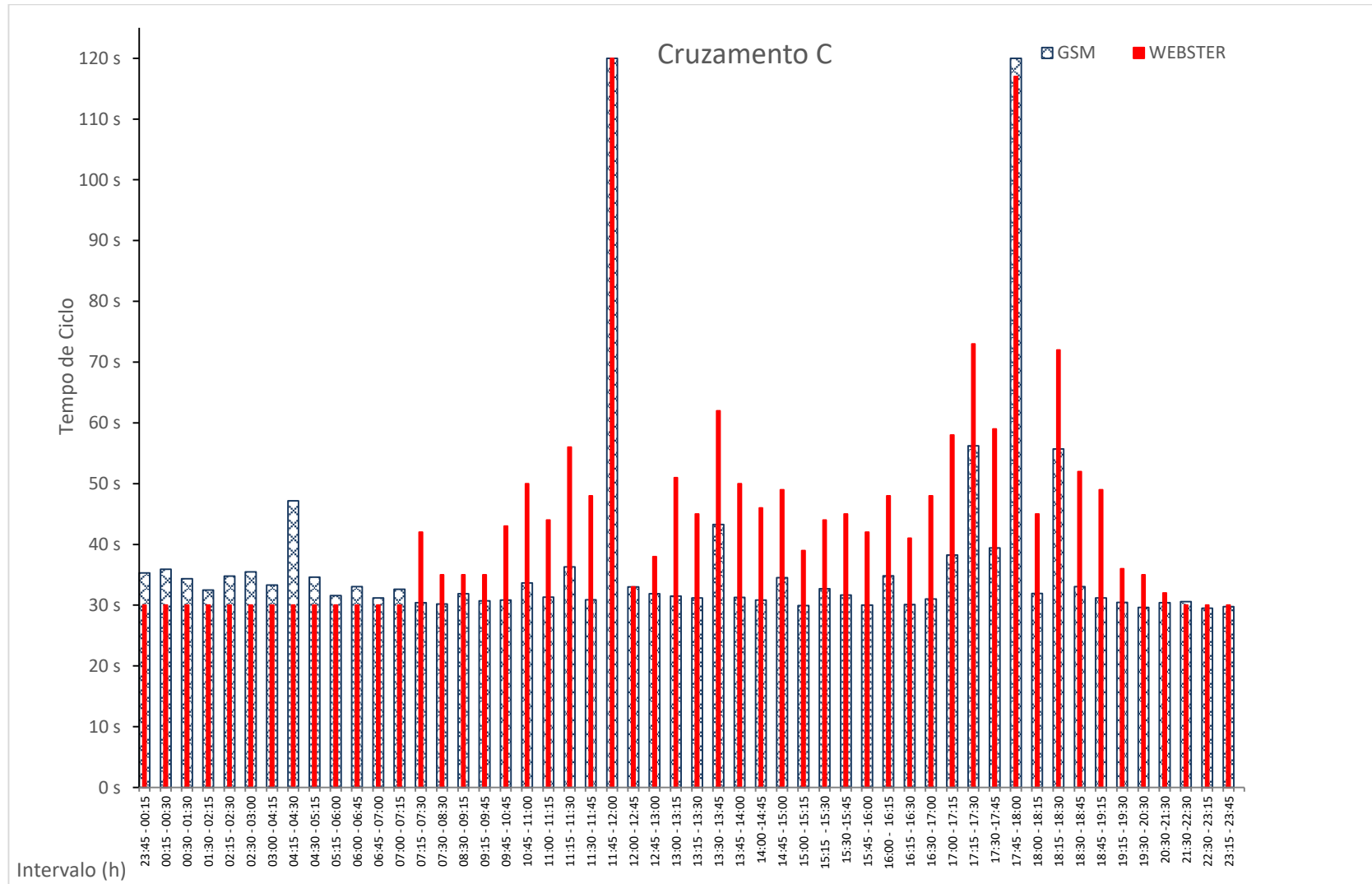
Fonte: Elaboração própria

No Gráfico 4.5, referente ao cruzamento B, observa-se que nos intervalos que correspondem aos veículos que transitam entre às 7:15 horas e às 19:30 horas, assim como o horário considerado de pico, das 20:00 horas às 20:15 horas, os tempos de ciclo calculados pelo método do Grau de Saturação Máximo mostram-se inferiores aos calculados através do Método de Webster. Isso ocorre devido ao fluxo de veículos, que, nestes períodos, é considerado suficiente para que sua passagem pela indicação luminosa ocorra em grupos.

Em contrapartida, nos demais intervalos de tempo, se que representam no início da noite até o amanhecer, é possível observar que ocorre o inverso, e os tempos de ciclo calculados pelo Método do Grau de Saturação Máximo (GSM) mostram-se superiores aos calculados pelo Webster. Tal fato ocorre devido ao baixo número de veículos que transitam pela via, se comparados à capacidade da mesma, conforme o apêndice B, pois provocam frequentes folgas, e as chegadas até o grupo semaforico ocorrem de maneira eventual, demandando maior tempo de ciclo ao utilizar o primeiro método – GSM -- que leva em consideração a formação de grupos de veículos antes de ser iniciada a passagem pelo semáforo.

Portanto, a escolha do método utilizado nos semáforos deste cruzamento, de maneira independente aos demais semáforos, muda de acordo com comportamento do tráfego, e pode ser utilizado o mais adequado para cada período de tempo. Assim, ao longo do dia é mais eficiente a utilização do Grau de Saturação Máximo, enquanto no período entre o entardecer e o início da manhã, em que há folgas entre as chegadas de veículos, torna-se mais segura a utilização do Método de Webster

Gráfico 4.6 – Tempos de ciclo para o cruzamento C



Fonte: Elaboração própria

De acordo com gráfico 4.6, que traz os resultados referentes ao cruzamento C, observa-se que ao longo do dia, do período das 07:15 horas até às 21:30 horas os tempos de ciclo calculados pelo Método GSM obtiveram valores inferiores ao Método de Webster. Assim como no cruzamento B, essa diferença ocorre devido ao fluxo de veículos acontecerem por meio de pelotões, fazendo com que mais veículos passem pelo grupo focal, do que se considerasse, para o mesmo tempo de ciclo, suas chegadas de forma aleatória.

Assim, considerando o período citado, e o mesmo fluxo máximo nos dois métodos, para o Grau de Saturação Máximo, o tempo de ciclo diminuirá no caso das chegadas em grupo, ou aumentará considerando chegadas ocasionais. Já para o Método de Webster ocorrerá o inverso, e isso pode ser observado no período compreendido entre as 21:30 horas e às 07:15 horas, em que o fluxo de veículos reduz consideravelmente.

Observa-se, ainda, que há dois períodos em que o tempo de ciclo aumenta significativamente em relação aos demais. Esses períodos compreendem os horários de pico das 11:45 horas às 12:00 horas e das 17:45 horas às 18:00 horas, os quais tiveram seus tempos de ciclo fixados em 120 segundos, que é o limite máximo estabelecido pelo CONTRAN (2015b), e, por esse motivo, ainda não são suficientes para garantir a fluidez da via, que permanece saturada, independentemente do método utilizado, como pode-se analisar no apêndice C, onde o grau de saturação de apenas uma das aproximações é inferior à 0,90, estando, as demais, trabalhando acima da capacidade.

Cabe salientar, também, que como mostrado no intervalo 23 do apêndice C, o cálculo do tempo de ciclo utilizando o Método do Grau de Saturação Máximo é inconsistente, pois nele deve ser considerado um fluxo de saturação ideal para o dimensionamento das indicações luminosas. Porém, quando o somatório entre as taxas de ocupação de cada grupo de um intervalo for superior ao grau de saturação estabelecido, o tempo de ciclo tende a ser superior a 120 segundos, e ao fixá-lo como tal, o método perde sua eficiência, já que ele sozinho não será suficiente para garantir que a via não trabalhe de maneira saturada. Desta forma, é necessário realizar alterações na via, aumentando a oferta, como por exemplo, retirando os estacionamentos e assim aumentando o número de faixas de rolamento, para atender a demanda especificamente naquele período de tempo.

4.3 Fenômeno da Onda Verde

Para determinar o tempo de ciclo a ser considerado no método conhecido como Onda Verde, onde ocorrerá a sincronização entre os semáforos dos 3 cruzamentos, A, B e C, analisou-se o comportamento do tráfego de veículos em cada um deles, apresentados nos apêndices A, B e C, respectivamente, e comparou-se os dois métodos: Grau de Saturação Máximo e Webster. Desta forma, após analisar qual dos métodos era considerado mais adequado para cada intervalo, avaliando os semáforos isoladamente, determinou-se o tempo de ciclo a ser utilizado quando os 3 cruzamentos trabalham juntos, escolhendo-se o tempo de ciclo crítico, ou seja, o maior entre os 3, como sendo o tempo de ciclo do trecho onde será adotado o fenômeno da Onda Verde, para cada plano semaforico.

A escolha do método mais adequado para cada horário, em cada um dos cruzamentos, foi baseada no grau de saturação resultante dos tempos de ciclo calculados. Assim, para graus de saturação inferiores a 0,5, considerou-se que a chegada de veículos ocorre de maneira aleatória, uma vez que a via se encontra com pelo menos 50% da sua capacidade sem utilização, e, para estes casos, utilizou-se o Método de Webster.

Já para graus de saturação a partir de 0,5, fez-se uso do Método do Grau de Saturação Máximo, onde a passagem dos veículos é considerada em forma de pelotões. Observou-se, neste caso, que embora este método seja recomendado para intervalos de grau de saturação entre 0,75 e 0,90, em que se otimiza a utilização da via e os pelotões já estão formados, nos intervalos compreendidos entre 0,5 e 0,74 o método também se aplica, visto que há um acúmulo de chegadas aleatórias ao decorrer da via, e os pelotões começam a se compor, até formarem um grupo que passará pelas indicações luminosas em forma de pelotões.

Em alguns casos, como no intervalo 24 do apêndice A, observa-se que o grau de saturação é superior a 0,5, e, portanto, o método a ser utilizado é Grau de Saturação Máximo. Porém, por este método, embora considerado mais eficaz, seu tempo de ciclo é superior ao encontrado pelo método de Webster. Isso se explica pelo fato do primeiro método considerar o mesmo grau de saturação para os dois grupos focais de uma interseção, que neste caso é de 0,51 para ambos, enquanto o segundo não considera um fluxo de saturação ideal para o dimensionamento, e apresenta graus de saturação diferentes para cada grupo, de 0,39 em um, e 0,65 em outro, e,

portanto, a passagem de veículos ocorreria de maneira aleatória em apenas uma das aproximações.

Há, ainda, alguns casos, como nos intervalos 14 e 15 do apêndice C, em que mesmo ocorrendo chegadas em forma de grupos, ao utilizar o método do Grau de Saturação Máximo, este resulta em graus de saturação diferentes para cada aproximação. Tal fato ocorre, excepcionalmente, em casos onde tanto o tempo de verde efetivo quanto o fluxo de saturação são iguais para os dois grupos focais, o que implica no mesmo valor de capacidade da via para ambos, e, como o fluxo máximo de veículos se difere em cada um deles, resulta em graus de saturação diferentes.

Desta forma, a Tabela 4.4 apresenta os valores de tempo de ciclo considerados mais eficazes para cada cruzamento, e o tempo de ciclo crítico, adotado para a sincronização entre os semáforos.

Tabela 4.4 – Tempo de ciclo para o ajuste de Onda Verde

Intervalo (h)	Tempo de ciclo do cruzamento (s)			Tempo de ciclo da via (s)
	A	B	C	Onda Verde
00:00 - 7:00	30	30	30	30
07:00 - 08:00	32	30	30	32
08:00 - 10:15	37	36	32	37
10:15 - 11:45	50	39	36	50
11:45 - 12:00	47	35	120	120
12:00 - 12:45	65	35	33	65
12:45 - 15:00	54	37	43	54
15:00 - 15:30	61	36	33	61
15:30 - 15:45	50	36	32	50
15:45 - 16:15	39	36	35	39
16:15 - 17:15	50	34	38	50
17:15 - 17:30	50	44	56	56
17:30 - 17:45	50	44	39	50
17:45 - 18:00	50	37	120	120
18:00 - 18:15	37	37	32	37
18:15 - 18:30	37	37	56	56
18:30 - 19:00	37	33	31	37
19:00 - 20:00	33	33	31	33
20:00 - 20:15	31	36	30	36
20:15 - 23:15	31	32	30	32
23:15 - 00:00	30	30	30	30

Fonte: Elaboração própria

O tempo de percurso entre os semáforos, e a antecipação do tempo de verde, que considera o trânsito de veículos das vias secundárias, ou de saídas de estacionamentos, antes da chegada do pelotão são apresentados na Tabela 4.6.

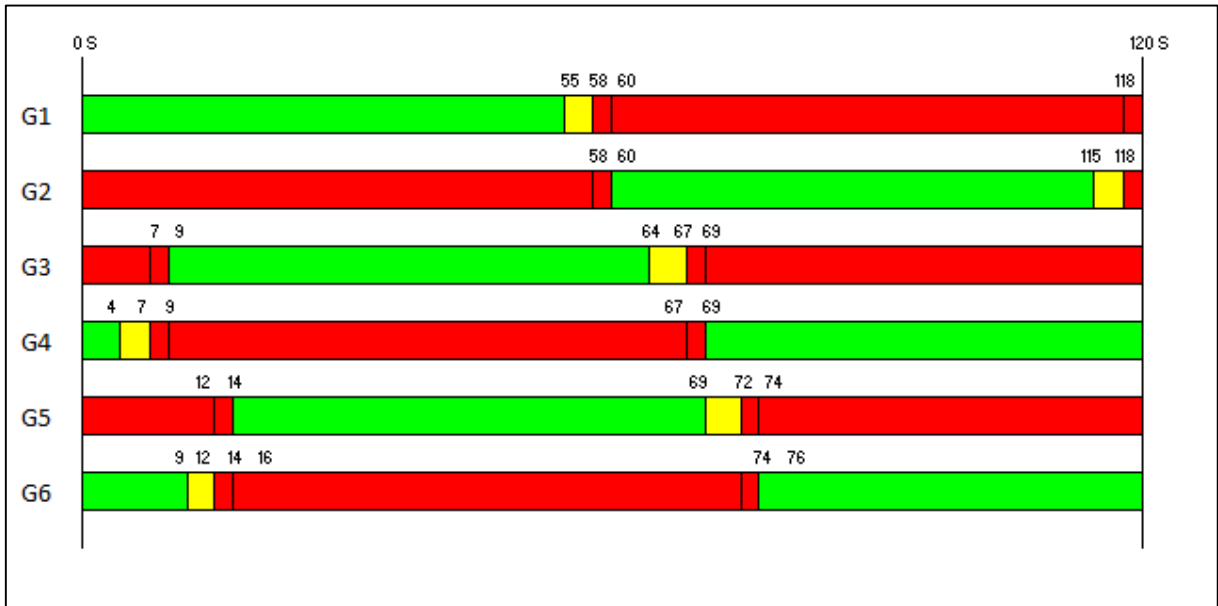
Tabela 4.5 – Tempo de percurso e antecipação

Cruzamento	Distância entre semáforos (m)	Velocidade da via (m/s)	Fila (veíc/s)	Tempo de percurso (s)	Tempo de antecipação (s)	Tempo de Sincronismo (s)
A/B	190	11,11	3,5	17	8	9
B/C	144,1	11,11	1,5	13		5

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 4.5 mostra que, após iniciar o tempo de verde no cruzamento A, para os veículos que trafegam na Rua General Sampaio, será necessário um tempo de percurso de 17 segundos até o veículo chegar ao cruzamento B, além de um tempo de antecipação no início de verde de 8 segundos, devido a presença de veículos que formam filas nesta aproximação, isso faz com que o tempo de verde do cruzamento B, para quem trafega na Rua General Sampaio, inicie 9 segundos após o início no cruzamento A. É possível verificar também que a identificação luminosa na coloração verde deve iniciar 5 segundos para o cruzamento C após o início do tempo de verde no cruzamento B. Assim, o diagrama de barras da Figura 4.7 apresenta os tempos de ciclo para cada cruzamento, considerando a sincronização entre os seus semáforos, e a antecipação de verde em cada um.

Figura 4.1 – Diagrama de barras para cada grupo focal



Fonte: Elaboração própria

Observa-se, pela Figura 4.7, que se abre primeiro o tempo de verde do G1, do cruzamento A. Enquanto o tempo de verde está aberto para o G1 e deve permanecer fechado para o G2, ou seja, com seu tempo de vermelho vigente, e vive-versa. Há, ainda, o tempo de vermelho geral, que corresponde ao período de tempo em que o grupo focal permanece fechado para os dois grupos, G1 e G2. O tempo de vermelho geral ocorre devido a necessidade de haver um tempo de segurança para o veículo que ainda não completou sua travessia, termine antes que a indicação luminosa verde da outra aproximação se inicie e autorize a passagem dos veículos.

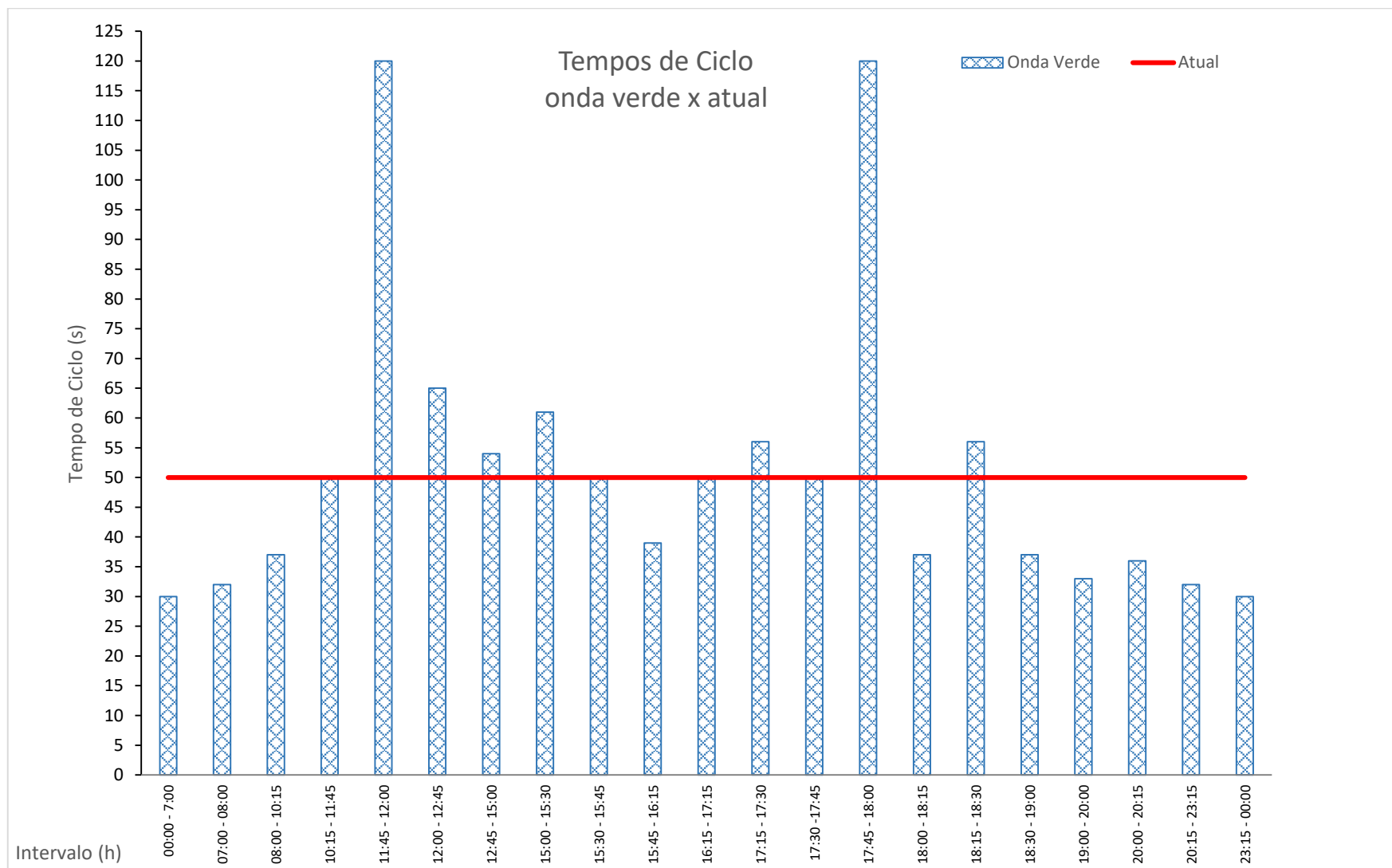
O grupo G3, que controla os veículos na aproximação pela Rua General Sampaio no Cruzamento B, só abre seu tempo de verde 9 segundos após o G1, que representa o cruzamento A da mesma rua. Esse tempo de sincronismo de verde permite que os veículos vindos do G2, que dobram em direção à Rua General Sampaio possam passar antes que o pelotão formado no G1 o alcance, evitando, assim, a formação de filas.

O mesmo ocorre com o G5, que leva em consideração os veículos que dobram em G4, e, portanto, o sincronismo do tempo de verde corresponde ao somatório dos tempos de antecipação do cruzamento A até o B que é de 9 segundos, e 5 segundos do B até o C, tendo um tempo de sincronismo em relação a G1 de 14 segundos. Já o grupo semafórico G6 só abrirá seu tempo de verde após o mesmo fechar em G5.

4.4 Comparativo entre os Tempos de Ciclo obtidos com os Tempos de Ciclo atuais

A partir do ajuste de onda verde ilustrado na Tabela 4.5 e dos tempos de ciclo atualmente em vigor na via, conforme a Tabela 4.6, pode-se comparar a eficiência do sistema semaforico, de acordo com o Gráfico 4.7

Gráfico 4.7 – Comparativos entre os tempos de ciclo



Fonte: Elaboração própria

Observa-se, através do Gráfico 4.7, que o tempo de ciclo atual da via é constante durante todo o período do dia, e permanece o mesmo em tempo integral para todos os cruzamentos, como mostrado também na Tabela 3.1. Desta forma, o tempo de ciclo vigente mostra-se ineficiente, uma vez que não leva em consideração a variação horária do fluxo de veículos que transita pela via.

Já os tempos de ciclo determinados pelo ajuste de Onda Verde, que permite a sincronização entre os semáforos, variam ao longo do dia. Isso ocorre porque, através da reprogramação semaforica, é possível considerar a variação do fluxo máximo de veículos ao longo do dia, que alternam entre períodos em que o número de veículos passantes está próximo, ou excedendo, o fluxo de saturação da via. Essas considerações ocorrem nos horários de pico, compreendidos entre às 11:45 horas e às 12:00 horas, e das 17:45 horas até às 18:00 horas, e períodos em que o fluxo é tão pequeno, que os grupos focais trabalham apenas com os tempos mínimos de segurança estabelecidos pelo CONTRAN (2015b), como ocorre no período entre às 23:15 horas até às 07:00 horas.

Logo, com essas avaliações mais precisas, é possível otimizar os ciclos semaforicos e realizar o sincronismo dos semáforos em diferentes cruzamentos aumento o aproveitamento dos deslocamentos dos usuário. Assim, há maior segurança, conforto e economia nos percursos das pessoas que utilizam a via para locomover-se da sua origem até seu destino.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Gerenciar o tráfego de veículos e sua demanda são fundamentais para garantir a fluidez do trânsito. Desta forma, a análise e a comparação do comportamento do fluxo de veículos utilizando diferentes métodos de cálculo é a maneira mais eficaz de garantir a otimização da programação semafórica de uma via, utilizando os benefícios de cada um deles.

Fazendo uso das características dos cruzamentos dos fluxos de veículos em cada aproximação, foi possível calcular os tempos de ciclo semafórico de cada interseção de forma isolada e em rede através dos Métodos de Webster e Grau de Saturação Máximo. Com isso, concluiu-se que há dois períodos de pico no cruzamento C em que ocorre a saturação da via, e nenhum dos métodos utilizados foram suficientes para garantir que a via não trabalhe acima de sua capacidade. Nesses casos, faz-se necessário a utilização de medidas alternativas, que complementem a reprogramação semafórica e aumentem o fluxo de saturação durante os horários críticos, como proibir a utilização dos estacionamentos e realocar as paradas de ônibus existentes nesse local.

Conclui-se, ainda, que no período da madrugada, compreendido entre a 01:00 hora e às 06:00 horas, o grupo semafórico trabalha utilizando o tempo de ciclo mínimo, de 30s. Portanto, devido ao baixo número de veículos que transitam pelos cruzamentos nesses períodos, torna-se mais seguro substituir o tempo de ciclo calculado pelo sinal amarelo piscante, uma vez que, na ausência de outros veículos na via, o condutor não precisará permanecer esperando o sinal verde abrir para prosseguir.

Além disso, a observação minuciosa das características da via estudada, e dos tempos de ciclo obtidos através de cada método de programação semafórico permitiu concluir qual seria mais adequado em cada situação, seja para os semáforos trabalhando de maneira isolada, ou através de sua sincronização. Nos casos em que o grau de saturação for inferior a 0,5, é mais eficiente a utilização do Método de Webster, pois as chegadas de veículos ocorrem de forma aleatória, com intervalos significativos entre si. Já nos casos onde o grau de saturação da via for igual ou superior a 0,5, torna-se mais eficaz o método do Grau de Saturação Máximo, uma vez que os veículos estão chegando grupo semafórico agrupados em pelotões.

No que diz respeito a utilização do Método da Onda Verde, que utiliza da sincronização entre os semáforos dos cruzamentos, na extensão da rua General Sampaio, é possível agilizar o fluxo e reduzir paradas. Para isso, faz-se necessário a implantação de placas de sinalização vertical ao longo da via, que enfatizem a sua velocidade, já que mantê-la constante ao longo do percurso é essencial para garantir a eficiência do sistema.

Já a comparação entre os tempos de ciclo do ajuste de Onda Verde e os tempos atualmente em vigor na extensão da Rua General Sampaio e nos cruzamentos A, B e C, permitiu concluir que a reprogramação semafórica é de fundamental importância para uma melhor utilização da via ao longo do dia. Assim, é possível utilizar o tempo de ciclo ideal para cada período, considerando tanto os períodos em que as chegadas de veículos ocorrem de maneira aleatória, quanto nos períodos em que o fluxo ocorre em pelotões, e deste modo, evitando que a via trabalhe de maneira ociosa em determinados horários, e saturada em outros.

Neste contexto, constatou-se que levando em consideração a variação diária da demanda de veículos na extensão da Rua General Sampaio e nas interseções A, B e C, é possível melhorar significativamente a qualidade e a fluidez do tráfego nesses locais. Deste modo, a reprogramação semafórica e as alternativas sugeridas trazem melhorias às condições de mobilidade urbana e garantem segurança aos usuários.

REFERÊNCIAS

- AZEREDO, L. **Seis fatores essenciais para o sincronismo entre semáforos**. 2014. EMDEC - Campinas-SP.
- BERWIG, A. **Direito do trânsito**. Ijuí, RS. Ed. Unijuí, 2013. 102 p.
- BEZERRA, Barbara Stolte. **Semáforos: gestão técnica, percepção do desempenho, duração dos tempos**. 2007. Tese (Doutorado em Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. doi:10.11606/T.18.2007.tde-18062007-093237. Acesso em: 20 jun. 2019
- CASTILHO, F. **Sobre a conspicuidade, legibilidade e retrorrefletividade das placas de sinalização viária**. 2009. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009.
- CET. COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO. **Manual de Sinalização Urbana – obras**. V.8. 2ª ed. São Paulo, 2005.
- CONTRAN. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume I – Sinalização Vertical de Regulamentação**. 2ª edição, Brasília, 2007a. 220 p.
- CONTRAN. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume II – Sinalização Vertical de Advertência**. 1ª edição, Brasília, 2007b. 218 p.
- CONTRAN. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume III – Sinalização Vertical de Indicação**. 1ª edição, Brasília, 2014a. 218 p.
- CONTRAN. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume IV – Sinalização Horizontal**. 1ª edição, Brasília, 2007c. 128 p.
- CONTRAN. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V – Sinalização Semafórica**. Brasília, 2014b.
- CONTRAN. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume VI – Dispositivos Auxiliares**. Brasília, 2016.
- CUCCI NETO, J. **Aplicação da engenharia de tráfego na segurança dos pedestres**. 1996. 299f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.
- DAER-RS. DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO RIO GRANDE DO SUL. **Instruções sobre Sinalizações Rodoviárias**. 3ª ed. Porto Alegre, 2013.

DENATRAN. DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Código de trânsito brasileiro**. 1ª edição. Brasília, 2016. 202 p.

DENATRAN. DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Frota de veículos**. [S.l.], 2017. Disponível em: < <http://www.denatran.gov.br/estatistica/237-frota-veiculos> > Acesso em: 11 nov. 2017.

DNER. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de sinalização rodoviária**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1999, 176 p.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Sinalização Rodoviária**. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2010. 412p.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Catálogo de Soluções Referencial para Implantação de Sinalização**. [S.l.], 2012. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviaras/programa-br-legal/produto-complementar-catalogo-de-solucoes-referencial-para-implantacao-de-sinalizacao.pdf>> Acesso em: 11 nov. 2017.

DPVAT. SEGURO DE DANOS PESSOAIS CAUSADOS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES DE VIA TERRESTRE. **Boletim estatístico – Ano 05 – Volume 04**. [S.l.], 2015. Disponível em < <http://www.seguradoralider.com.br/Documents/boletim-estatistico/Boletim-Estatistico-Ano-05-Volume-04.pdf> > Acesso em: 11 nov. 2017.

FERRAZ, A.C.P. et al. **Segurança viária**. São Carlos, SP: ed. Suprema, 2012.

FRANZ, C; SEBERINO, J. **A história do trânsito e sua evolução**. 2012, 24 f. Monografia (Especialista em gestão, educação e direito de trânsito). Joinville, 2012.

FREIRE, R.T.S. **Trânsito: Um Problema Urbano**. 2011. 86f. Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Engenharia Urbana – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

GREGÓRIO, N. D. F. **Sinalização rodoviária em meio urbano**. 2011. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. Portugal, 2011.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras**. Brasília, 2015, 34 p.

LUNA, Marcelo Dos Santos de. **Sobre o fluxo de saturação: conceituação, aplicação, determinação e variação**. 2003. Tese (Mestrado em Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza – CE.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ALEGRETE. **Mapa Virtual**. Alegrete, [201-]. Disponível em: <<http://www.alegrete.rs.gov.br/site/>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

SILVEIRA, E. L. M. **Avaliação da sinalização semafórica na extensão longitudinal da rua general Sampaio na cidade de Alegrete/RS.** 2018. Unipampa. Alegrete – RS.

VILANOVA, L. M. **Programação de um semáforo usando o método do grau de saturação.** 7 de set 2005. São Paulo.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Determinação dos Tempos de Ciclo e demais Parâmetros do Cruzamento A

Cruz.	Dados das Aproximações							GSM										WEBSTER					
	Intervalo	HORÁRIO (h)	Aproximação	Grupo	F _{máx} (ucp/h)	FS(ucp/h)	Y _{max}	X	Pi	tc	t _{vef,i}	t _{vef,i} (segurança)	Tc	Cap	P	X _{máx}	X _{máx} Verificação	Tco (s)	t _{v1ef,i} (s)	t _{v1ef,i} (s) (Segurança)	Tc	Cap (ucp/h)	x _{max}
A	1	00:00 - 00:30	Gal . Sampaio	G1	37	3600	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s	39 s	927,42	0,26	0,04	0,04	21	4 s	10 s	30 s	1200,00	0,03
			Ven. Aires	G2	31	1600	0,02	0,88	0,02	10 s	0 s	19 s		775,63	0,48	0,04	0,04	21	7 s	10 s		533,33	0,06
	2	00:30 - 00:45	Gal . Sampaio	G1	8	3600	0,00	0,88	0,00	10 s	0 s	10 s	87 s	411,96	0,11	0,02	0,02	21	1 s	10 s	30 s	1200,00	0,01
			Ven. Aires	G2	24	1600	0,01	0,88	0,02	10 s	0 s	67 s		1233,81	0,77	0,02	0,02	21	10 s	10 s		533,33	0,04
	3	00:45 - 01:00	Gal . Sampaio	G1	29	3600	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s	32 s	1115,30	0,31	0,03	0,03	21	5 s	10 s	30 s	1200,00	0,02
			Ven. Aires	G2	16	1600	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	12 s		608,62	0,38	0,03	0,03	21	6 s	10 s		533,33	0,03
	4	01:00 - 01:15	Gal . Sampaio	G1	12	3600	0,00	0,88	0,00	10 s	0 s	10 s	43 s	847,06	0,24	0,01	0,01	21	3 s	10 s	30 s	1200,00	0,01
			Ven. Aires	G2	12	1600	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	23 s		847,06	0,53	0,01	0,01	21	8 s	10 s		533,33	0,02
	5	01:15 - 01:30	Gal . Sampaio	G1	21	3600	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s	51 s	706,68	0,20	0,03	0,03	21	3 s	10 s	30 s	1200,00	0,02
			Ven. Aires	G2	29	1600	0,02	0,88	0,02	10 s	0 s	31 s		971,84	0,61	0,03	0,03	21	8 s	10 s		533,33	0,05
	6	02:00 - 03:15	Gal . Sampaio	G1	8	3600	0,00	0,88	0,00	10 s	0 s	10 s	59 s	606,60	0,17	0,01	0,01	21	2 s	10 s	30 s	1200,00	0,01
			Ven. Aires	G2	14	1600	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s		269,60	0,17	0,05	0,05	21	9 s	10 s		533,33	0,03
	7	03:15 - 03:45	Gal . Sampaio	G1	5	3600	0,00	0,88	0,00	10 s	0 s	10 s	51 s	706,46	0,20	0,01	0,01	21	3 s	10 s	30 s	1200,00	0,00
			Ven. Aires	G2	7	1600	0,00	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s		313,98	0,20	0,02	0,02	21	8 s	10 s		533,33	0,01
	8	03:45 - 04:30	Gal . Sampaio	G1	4	3600	0,00	0,88	0,00	10 s	0 s	10 s	120 s	300,00	0,08	0,01	0,01	21	1 s	10 s	30 s	1199,59	0,00
			Ven. Aires	G2	18	1600	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s		133,33	0,08	0,13	0,13	21	10 s	10 s		533,70	0,03
	9	04:30 - 05:45	Gal . Sampaio	G1	1	3600	0,00	0,88	0,00	10 s	0 s	10 s	120 s	300,00	0,08	0,00	0,00	21	0 s	10 s	31 s	1167,49	0,00
			Ven. Aires	G2	19	1600	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s		133,33	0,08	0,14	0,14	21	11 s	11 s		562,23	0,03
	10	05:45 - 06:45	Gal . Sampaio	G1	44	3600	0,01	0,88	0,01	11 s	0 s	10 s	52 s	685,94	0,19	0,06	0,06	22	3 s	10 s	30 s	1200,00	0,04
			Ven. Aires	G2	64	1600	0,04	0,88	0,05	11 s	0 s	32 s		990,28	0,62	0,06	0,06	22	9 s	10 s		533,33	0,12
	11	06:45 - 07:15	Gal . Sampaio	G1	113	3600	0,03	0,88	0,04	12 s	0 s	10 s	49 s	736,56	0,20	0,15	0,15	23	3 s	10 s	30 s	1200,00	0,09
			Ven. Aires	G2	145	1600	0,09	0,88	0,10	12 s	1 s	29 s		945,28	0,59	0,15	0,15	23	10 s	10 s		533,33	0,27
	12	07:15 - 08:45	Gal . Sampaio	G1	310	3600	0,09	0,88	0,10	14 s	1 s	10 s	41 s	888,67	0,25	0,35	0,35	28	6 s	10 s	32 s	1125,00	0,28
			Ven. Aires	G2	282	1600	0,18	0,88	0,20	14 s	3 s	21 s		810,07	0,51	0,35	0,35	28	12 s	12 s		605,01	0,47
	13	08:45 - 09:45	Gal . Sampaio	G1	340	3600	0,09	0,88	0,11	16 s	2 s	10 s	44 s	819,49	0,23	0,42	0,42	30	6 s	10 s	34 s	1058,82	0,32
			Ven. Aires	G2	362	1600	0,23	0,88	0,26	16 s	4 s	24 s		871,57	0,54	0,42	0,42	30	14 s	14 s		663,79	0,55
	14	09:45 - 10:15	Gal . Sampaio	G1	283	3600	0,08	0,88	0,09	17 s	2 s	10 s	56 s	644,87	0,18	0,44	0,44	32	5 s	10 s	37 s	972,97	0,29
			Ven. Aires	G2	450	1600	0,28	0,88	0,32	17 s	5 s	36 s		1026,78	0,64	0,44	0,44	32	17 s	17 s		743,75	0,60
	15	10:15 - 11:30	Gal . Sampaio	G1	387	3600	0,11	0,88	0,12	19 s	2 s	10 s	50 s	725,08	0,20	0,53	0,53	35	6 s	10 s	39 s	923,08	0,42
			Ven. Aires	G2	510	1600	0,32	0,88	0,36	19 s	7 s	30 s		955,49	0,60	0,53	0,53	35	19 s	19 s		766,97	0,66
	16	11:30 - 12:00	Gal . Sampaio	G1	485	3600	0,13	0,88	0,15	23 s	4 s	10 s	47 s	760,33	0,21	0,64	0,64	41	8 s	10 s	43 s	837,21	0,58
			Ven. Aires	G2	590	1600	0,37	0,88	0,42	23 s	10 s	27 s		924,15	0,58	0,64	0,64	41	23 s	23 s		844,64	0,70
	17	12:00 - 12:45	Gal . Sampaio	G1	295	3600	0,08	0,88	0,09	20 s	2 s	10 s	65 s	554,26	0,15	0,53	0,53	37	5 s	10 s	42 s	857,14	0,34
			Ven. Aires	G2	590	1600	0,37	0,88	0,42	20 s	9 s	45 s		1107,32	0,69	0,53	0,53	37	22 s	22 s		841,39	0,70

...Continua

...Continuação

18	12:45 - 13:15	Gal. Sampaio	G1	378	3600	0,10	0,88	0,12	20 s	2 s	10 s	51 s	705,32	0,20	0,54	0,54	36	6 s	10 s	40 s	900,00	0,42
		Ven. Aires	G2	521	1600	0,33	0,88	0,37	20 s	7 s	31 s		973,05	0,61	0,54	0,54	36	20 s	20 s		786,59	0,66
19	12:15 - 13:30	Gal. Sampaio	G1	412	3600	0,11	0,88	0,13	22 s	3 s	10 s	52 s	697,58	0,19	0,59	0,59	39	7 s	10 s	39 s	923,08	0,45
		Ven. Aires	G2	578	1600	0,36	0,88	0,41	22 s	9 s	32 s		979,93	0,61	0,59	0,59	39	22 s	22 s		903,80	0,64
20	13:30 - 15:00	Gal. Sampaio	G1	372	3600	0,10	0,88	0,12	21 s	2 s	10 s	54 s	671,61	0,19	0,55	0,55	37	6 s	10 s	41 s	878,05	0,42
		Ven. Aires	G2	556	1600	0,35	0,88	0,39	21 s	8 s	34 s		1003,01	0,63	0,55	0,55	37	21 s	21 s		812,01	0,68
21	15:00 - 15:30	Gal. Sampaio	G1	313	3600	0,09	0,88	0,10	20 s	2 s	10 s	61 s	592,35	0,16	0,53	0,53	36	5 s	10 s	41 s	878,05	0,36
		Ven. Aires	G2	566	1600	0,35	0,88	0,40	20 s	8 s	41 s		1073,46	0,67	0,53	0,53	36	21 s	21 s		814,80	0,70
22	15:30 - 15:45	Gal. Sampaio	G1	432	3600	0,12	0,88	0,14	22 s	3 s	10 s	50 s	726,05	0,20	0,59	0,59	39	7 s	10 s	42 s	857,14	0,50
		Ven. Aires	G2	568	1600	0,35	0,88	0,40	22 s	9 s	30 s		954,62	0,60	0,59	0,59	39	22 s	22 s		825,66	0,69
23	15:45 - 16:15	Gal. Sampaio	G1	307	3600	0,09	0,88	0,10	19 s	2 s	10 s	58 s	624,02	0,17	0,49	0,49	34	5 s	10 s	39 s	923,08	0,33
		Ven. Aires	G2	515	1600	0,32	0,88	0,37	19 s	7 s	38 s		1045,32	0,65	0,49	0,49	34	19 s	19 s		778,16	0,66
24	16:15 - 16:45	Gal. Sampaio	G1	371	3600	0,10	0,88	0,12	19 s	2 s	10 s	50 s	725,63	0,20	0,51	0,51	34	6 s	10 s	38 s	947,37	0,39
		Ven. Aires	G2	489	1600	0,31	0,88	0,35	19 s	6 s	30 s		955,00	0,60	0,51	0,51	34	18 s	18 s		755,42	0,65
25	16:45 - 18:00	Gal. Sampaio	G1	527	3600	0,15	0,88	0,17	30 s	5 s	10 s	50 s	720,89	0,20	0,73	0,73	49	10 s	10 s	49 s	734,69	0,72
		Ven. Aires	G2	701	1600	0,44	0,88	0,50	30 s	15 s	30 s		959,21	0,60	0,73	0,73	49	29 s	29 s		954,61	0,73
26	18:00 - 19:00	Gal. Sampaio	G1	353	3600	0,10	0,88	0,11	18 s	2 s	10 s	50 s	723,57	0,20	0,49	0,49	33	6 s	10 s	37 s	972,97	0,36
		Ven. Aires	G2	467	1600	0,29	0,88	0,33	18 s	6 s	30 s		956,83	0,60	0,49	0,49	33	17 s	17 s		744,40	0,63
27	19:00 - 19:30	Gal. Sampaio	G1	257	3600	0,07	0,88	0,08	14 s	1 s	10 s	48 s	754,00	0,21	0,34	0,34	28	5 s	10 s	33 s	1090,91	0,24
		Ven. Aires	G2	317	1600	0,20	0,88	0,23	14 s	3 s	28 s		929,78	0,58	0,34	0,34	28	13 s	13 s		641,51	0,49
28	19:30 - 20:45	Gal. Sampaio	G1	175	3600	0,05	0,88	0,06	13 s	1 s	10 s	47 s	768,87	0,21	0,23	0,23	25	4 s	10 s	31 s	1161,29	0,15
		Ven. Aires	G2	209	1600	0,13	0,88	0,15	13 s	2 s	27 s		916,56	0,57	0,23	0,23	25	11 s	11 s		563,94	0,37
29	20:45 - 21:45	Gal. Sampaio	G1	114	3600	0,03	0,88	0,04	12 s	0 s	10 s	47 s	774,13	0,22	0,15	0,15	23	4 s	10 s	30 s	1200,00	0,10
		Ven. Aires	G2	135	1600	0,08	0,88	0,10	12 s	1 s	27 s		911,89	0,57	0,15	0,15	23	9 s	10 s		533,33	0,25
30	22:00 - 23:00	Gal. Sampaio	G1	81	3600	0,02	0,88	0,03	11 s	0 s	10 s	44 s	813,50	0,23	0,10	0,10	22	4 s	10 s	30 s	1200,00	0,07
		Ven. Aires	G2	87	1600	0,05	0,88	0,06	11 s	1 s	24 s		876,89	0,55	0,10	0,10	22	8 s	10 s		533,33	0,16
31	23:00 - 00:00	Gal. Sampaio	G1	33	3600	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s	51 s	702,83	0,20	0,05	0,05	21	3 s	10 s	30 s	1200,00	0,03
		Ven. Aires	G2	45	1600	0,03	0,88	0,03	10 s	0 s	31 s		975,26	0,61	0,05	0,05	21	8 s	10 s		533,33	0,08

Dados do Cruzamento

Cruzamento	Aproximação	Travessia de pedestres	d1	d2	Tpr (s)	V (m/s)	aad (m/s)	i(m/m)	g(m/s ²)	C (m)
A	Gal. Sampaio	8,80 m	5,00 m	15,80 m	1	11,11	3	0	9,81	5
	Ven. Aires	12,00 m	5,00 m	13,50 m	1	11,11	3	0	9,81	5

Tempos calculados de entreverdes

Cruzamento	Aproximação	Amarelo	Vermelho Geral	Entreverdes	FS (ucp/h)	Tempo perdido - Tp (s)
A	1 Gal. Sampaio	3 s	2 s	5 s	3600	10 s
	2 Ven. Aires	3 s	2 s	5 s	1600	10 s

APÊNDICE B – Determinação dos Tempos de Ciclo e demais Parâmetros do Cruzamento B

Dados das Aproximações									GSM								WEBSTER						
Cruz.	Intervalo	HORÁRIO (h)	Aproximação	Grupo	F _{máx} (ucp/h)	FS(ucp/h)	Y _{max}	X	Pi	tc	t _{vef,i}	t _{vef,i} (segurança)	Tc	Cap	P	X _{máx}	X _{máx} Verificação	Tco (s)	t _{v1ef,i} (s)	t _{v1ef,i} (s) (Segurança)	Tc	Cap (ucp/h)	x _{max}
B	1	23:45 - 00:00	Gal. Sampaio	G3	36	1400	0,03	0,88	0,03	11 s	0 s	10 s	44 s	320,25	0,23	0,11	0,11	22	4 s	10 s	30 s	466,67	0,08
			Gal. Vitorino	G4	85	1400	0,06	0,88	0,07	11 s	1 s	24 s		759,49	0,54	0,11	0,11	22	8 s	10 s		466,67	0,18
	2	00:00 - 01:15	Gal. Sampaio	G3	22	1400	0,02	0,88	0,02	11 s	0 s	10 s	59 s	236,89	0,17	0,09	0,09	22	2 s	10 s	30 s	466,67	0,05
			Gal. Vitorino	G4	85	1400	0,06	0,88	0,07	11 s	1 s	39 s		926,22	0,66	0,09	0,09	22	10 s	10 s		466,67	0,18
	3	01:15 - 03:45	Gal. Sampaio	G3	10	1400	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s	54 s	261,57	0,19	0,04	0,04	21	3 s	10 s	30 s	466,67	0,02
			Gal. Vitorino	G4	35	1400	0,02	0,88	0,03	10 s	0 s	34 s		876,87	0,63	0,04	0,04	21	8 s	10 s		466,67	0,07
	4	03:45 - 04:30	Gal. Sampaio	G3	17	1400	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s	38 s	367,62	0,26	0,05	0,05	21	4 s	10 s	30 s	466,67	0,04
			Gal. Vitorino	G4	31	1400	0,02	0,88	0,03	10 s	0 s	18 s		664,77	0,47	0,05	0,05	21	7 s	10 s		466,67	0,07
	5	04:30 - 04:45	Gal. Sampaio	G3	7	1400	0,00	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s	46 s	303,79	0,22	0,02	0,02	21	3 s	10 s	30 s	466,67	0,01
			Gal. Vitorino	G4	17	1400	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	26 s		792,42	0,57	0,02	0,02	21	8 s	10 s		466,67	0,04
	6	04:45 - 05:00	Gal. Sampaio	G3	25	1400	0,02	0,88	0,02	10 s	0 s	24 s	44 s	760,69	0,54	0,03	0,03	21	8 s	10 s	30 s	466,67	0,05
			Gal. Vitorino	G4	11	1400	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s		319,66	0,23	0,03	0,03	21	3 s	10 s		466,67	0,02
	7	05:00 - 05:45	Gal. Sampaio	G3	11	1400	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s	59 s	235,92	0,17	0,05	0,05	21	2 s	10 s	30 s	466,67	0,02
			Gal. Vitorino	G4	42	1400	0,03	0,88	0,03	10 s	0 s	39 s		928,17	0,66	0,05	0,05	21	9 s	10 s		466,67	0,09
	8	05:45 - 06:15	Gal. Sampaio	G3	21	1400	0,01	0,88	0,02	11 s	0 s	10 s	39 s	362,09	0,26	0,06	0,06	21	4 s	10 s	30 s	466,67	0,04
			Gal. Vitorino	G4	39	1400	0,03	0,88	0,03	11 s	0 s	19 s		675,81	0,48	0,06	0,06	21	7 s	10 s		466,67	0,08
	9	06:15 - 06:30	Gal. Sampaio	G3	45	1400	0,03	0,88	0,04	11 s	0 s	12 s	32 s	529,46	0,38	0,09	0,09	22	6 s	10 s	30 s	466,67	0,10
			Gal. Vitorino	G4	39	1400	0,03	0,88	0,03	11 s	0 s	10 s		441,21	0,32	0,09	0,09	22	6 s	10 s		466,67	0,08
	10	06:30 - 06:45	Gal. Sampaio	G3	73	1400	0,05	0,88	0,06	11 s	1 s	13 s	33 s	553,95	0,40	0,13	0,13	23	7 s	10 s	30 s	466,67	0,16
			Gal. Vitorino	G4	56	1400	0,04	0,88	0,05	11 s	1 s	10 s		423,02	0,30	0,13	0,13	23	6 s	10 s		466,67	0,12
	11	06:45 - 07:15	Gal. Sampaio	G3	93	1400	0,07	0,88	0,08	12 s	1 s	10 s	36 s	386,81	0,28	0,24	0,24	25	6 s	10 s	30 s	466,67	0,20
Gal. Vitorino			G4	150	1400	0,11	0,88	0,12	12 s	2 s	16 s	626,38		0,45	0,24	0,24	25	9 s	10 s	466,67		0,32	
12	07:15 - 08:00	Gal. Sampaio	G3	322	1400	0,23	0,88	0,26	20 s	5 s	10 s	30 s	473,97	0,34	0,68	0,68	37	14 s	14 s	37 s	522,90	0,62	
		Gal. Vitorino	G4	307	1400	0,22	0,88	0,25	20 s	5 s	10 s		452,06	0,32	0,68	0,68	37	13 s	13 s		498,72	0,62	
13	08:00 - 09:30	Gal. Sampaio	G3	253	1400	0,18	0,88	0,21	21 s	4 s	10 s	36 s	389,49	0,28	0,65	0,65	38	11 s	11 s	38 s	397,62	0,64	
		Gal. Vitorino	G4	403	1400	0,29	0,88	0,33	21 s	7 s	16 s		621,01	0,44	0,65	0,65	38	17 s	17 s		633,96	0,64	
14	09:30 - 10:00	Gal. Sampaio	G3	294	1400	0,21	0,88	0,24	22 s	5 s	10 s	33 s	429,05	0,31	0,68	0,68	39	13 s	13 s	39 s	460,02	0,64	
		Gal. Vitorino	G4	371	1400	0,27	0,88	0,30	22 s	7 s	13 s		541,90	0,39	0,68	0,68	39	16 s	16 s		581,01	0,64	
15	10:00 - 10:15	Gal. Sampaio	G3	364	1400	0,26	0,88	0,30	36 s	11 s	11 s	36 s	413,45	0,30	0,88	0,88	55	18 s	18 s	55 s	470,30	0,77	
		Gal. Vitorino	G4	522	1400	0,37	0,88	0,42	36 s	15 s	15 s		593,55	0,42	0,88	0,88	55	27 s	27 s		675,15	0,77	
16	10:15 - 11:15	Gal. Sampaio	G3	288	1400	0,21	0,88	0,23	25 s	6 s	10 s	36 s	392,58	0,28	0,73	0,73	43	13 s	13 s	43 s	418,68	0,69	
		Gal. Vitorino	G4	451	1400	0,32	0,88	0,37	25 s	9 s	16 s		614,85	0,44	0,73	0,73	43	20 s	20 s		655,74	0,69	
17	11:15 - 11:45	Gal. Sampaio	G3	378	1400	0,27	0,88	0,31	39 s	12 s	12 s	39 s	429,20	0,31	0,88	0,88	58	20 s	20 s	58 s	477,67	0,79	
		Gal. Vitorino	G4	538	1400	0,38	0,88	0,44	39 s	17 s	17 s		611,86	0,44	0,88	0,88	58	28 s	28 s		680,95	0,79	
18	11:45 - 12:15	Gal. Sampaio	G3	410	1400	0,29	0,88	0,33	35 s	12 s	12 s	35 s	465,59	0,33	0,88	0,88	55	21 s	21 s	55 s	530,88	0,77	
		Gal. Vitorino	G4	474	1400	0,34	0,88	0,39	35 s	14 s	14 s		539,00	0,39	0,88	0,88	55	24 s	24 s		614,58	0,77	
19	12:15 - 12:45	Gal. Sampaio	G3	220	1400	0,16	0,88	0,18	17 s	3 s	10 s	32 s	431,76	0,31	0,51	0,51	31	9 s	10 s	31 s	451,61	0,49	
		Gal. Vitorino	G4	273	1400	0,20	0,88	0,22	17 s	4 s	12 s		536,48	0,38	0,51	0,51	31	12 s	12 s		525,48	0,52	
20	12:15 - 13:00	Gal. Sampaio	G3	316	1400	0,23	0,88	0,26	19 s	5 s	10 s	30 s	466,67	0,33	0,68	0,68	35	13 s	13 s	35 s	537,47	0,59	
		Gal. Vitorino	G4	272	1400	0,19	0,88	0,22	19 s	4 s	10 s		466,67	0,33	0,58	0,58	35	12 s	12 s		462,53	0,59	
21	13:00 - 13:45	Gal. Sampaio	G3	373	1400	0,27	0,88	0,30	37 s	11 s	11 s	37 s	424,00	0,30	0,88	0,88	57	19 s	19 s	57 s	476,75	0,78	
		Gal. Vitorino	G4	530	1400	0,38	0,88	0,43	37 s	16 s	16 s		602,66	0,43	0,88	0,88	57	28 s	28 s		677,64	0,78	

...Continua

...Continuação

22	13:45 - 14:15	Gal. Sampaio	G3	255	1400	0,18	0,88	0,21	22 s	5 s	10 s	36 s	386,58	0,28	0,66	0,66	39	11 s	11 s	39 s	397,11	0,64
		Gal. Vitorino	G4	414	1400	0,30	0,88	0,34	22 s	7 s	16 s		626,84	0,45	0,66	0,66	39	18 s	18 s		643,91	0,64
23	14:15 - 15:15	Gal. Sampaio	G3	362	1400	0,26	0,88	0,29	30 s	9 s	10 s	33 s	426,64	0,30	0,85	0,85	49	17 s	17 s	49 s	488,41	0,74
		Gal. Vitorino	G4	464	1400	0,33	0,88	0,38	30 s	11 s	13 s		546,72	0,39	0,85	0,85	49	22 s	22 s		625,87	0,74
24	15:15 - 16:00	Gal. Sampaio	G5	286,42	1400	0,20	0,88	0,23	25 s	6 s	10 s	36 s	387,38	0,28	0,74	0,74	43	13 s	13 s	43 s	411,01	0,70
		Gal. Vitorino	G6	462,3	1400	0,33	0,88	0,38	25 s	10 s	16 s		625,25	0,45	0,74	0,74	43	20 s	20 s		663,40	0,70
25	16:00 - 16:45	Gal. Sampaio	G3	338	1400	0,24	0,88	0,27	30 s	8 s	10 s	34 s	406,74	0,29	0,83	0,83	49	16 s	16 s	49 s	456,30	0,74
		Gal. Vitorino	G4	487	1400	0,35	0,88	0,40	30 s	12 s	14 s		586,52	0,42	0,83	0,83	49	23 s	23 s		657,99	0,74
26	16:45 - 17:15	Gal. Sampaio	G3	414	1400	0,30	0,88	0,34	34 s	11 s	11 s	34 s	470,11	0,34	0,88	0,88	53	20 s	20 s	53 s	540,97	0,76
		Gal. Vitorino	G4	455	1400	0,32	0,88	0,37	34 s	13 s	13 s		516,95	0,37	0,88	0,88	53	23 s	23 s		594,88	0,76
27	17:15 - 17:45	Gal. Sampaio	G3	420	1400	0,30	0,88	0,34	44 s	15 s	15 s	44 s	477,80	0,34	0,88	0,88	63	23 s	23 s	63 s	520,09	0,81
		Gal. Vitorino	G4	532	1400	0,38	0,88	0,43	44 s	19 s	19 s		604,20	0,43	0,88	0,88	63	30 s	30 s		657,69	0,81
28	17:45 - 18:30	Gal. Sampaio	G3	430	1400	0,31	0,88	0,35	37 s	13 s	13 s	37 s	488,32	0,35	0,88	0,88	56	22 s	22 s	56 s	549,44	0,78
		Gal. Vitorino	G4	470	1400	0,34	0,88	0,38	37 s	14 s	14 s		533,75	0,38	0,88	0,88	56	24 s	24 s		600,56	0,78
29	18:30 - 19:00	Gal. Sampaio	G3	278	1400	0,20	0,88	0,23	21 s	5 s	10 s	33 s	427,38	0,31	0,65	0,65	37	12 s	12 s	37 s	448,91	0,62
		Gal. Vitorino	G4	354	1400	0,25	0,88	0,29	21 s	6 s	13 s		545,24	0,39	0,65	0,65	37	15 s	15 s		572,71	0,62
30	19:00 - 19:30	Gal. Sampaio	G3	300	1400	0,21	0,88	0,24	21 s	5 s	10 s	31 s	450,00	0,32	0,67	0,67	37	13 s	13 s	37 s	483,92	0,62
		Gal. Vitorino	G4	333	1400	0,24	0,88	0,27	21 s	6 s	11 s		500,00	0,36	0,67	0,67	37	14 s	14 s		537,70	0,62
31	19:30 - 20:00	Gal. Sampaio	G3	189	1400	0,14	0,88	0,15	16 s	3 s	10 s	35 s	397,17	0,28	0,48	0,48	31	8 s	10 s	33 s	424,24	0,45
		Gal. Vitorino	G4	288	1400	0,21	0,88	0,23	16 s	4 s	15 s		605,65	0,43	0,48	0,48	31	13 s	13 s		538,06	0,54
32	20:00 - 20:15	Gal. Sampaio	G3	235	1400	0,17	0,88	0,19	20 s	4 s	10 s	36 s	389,85	0,28	0,60	0,60	36	10 s	10 s	36 s	390,21	0,60
		Gal. Vitorino	G4	373	1400	0,27	0,88	0,30	20 s	6 s	16 s		620,31	0,44	0,60	0,60	36	16 s	16 s		620,90	0,60
33	20:15 - 21:00	Gal. Sampaio	G3	184	1400	0,13	0,88	0,15	16 s	2 s	10 s	35 s	398,68	0,28	0,46	0,46	30	8 s	10 s	32 s	437,50	0,42
		Gal. Vitorino	G4	278	1400	0,20	0,88	0,23	16 s	4 s	15 s		602,64	0,43	0,46	0,46	30	12 s	12 s		526,61	0,53
34	21:00 - 21:45	Gal. Sampaio	G3	144	1400	0,10	0,88	0,12	15 s	2 s	10 s	40 s	347,15	0,25	0,41	0,41	30	7 s	10 s	30 s	466,67	0,31
		Gal. Vitorino	G4	292	1400	0,21	0,88	0,24	15 s	4 s	20 s		705,69	0,50	0,41	0,41	30	13 s	13 s		625,59	0,47
35	21:45 - 22:45	Gal. Sampaio	G3	98	1400	0,07	0,88	0,08	14 s	1 s	10 s	44 s	317,85	0,23	0,31	0,31	27	5 s	10 s	32 s	437,50	0,22
		Gal. Vitorino	G4	235	1400	0,17	0,88	0,19	14 s	3 s	24 s		764,30	0,55	0,31	0,31	27	12 s	12 s		525,30	0,45
36	22:45 - 23:15	Gal. Sampaio	G3	74	1400	0,05	0,88	0,06	13 s	1 s	10 s	44 s	319,82	0,23	0,23	0,23	25	4 s	10 s	31 s	451,61	0,16
		Gal. Vitorino	G4	176	1400	0,13	0,88	0,14	13 s	2 s	24 s		760,37	0,54	0,23	0,23	25	11 s	11 s		476,85	0,37
37	23:15 - 23:45	Gal. Sampaio	G3	39	1400	0,03	0,88	0,03	11 s	0 s	10 s	49 s	288,02	0,21	0,13	0,13	23	3 s	10 s	30 s	466,67	0,08
		Gal. Vitorino	G4	111	1400	0,08	0,88	0,09	11 s	1 s	29 s		823,97	0,59	0,13	0,13	23	10 s	10 s		466,67	0,24

Dados do Cruzamento

Cruzamento	Aproximação	Travessia de pedestres	d1	d2	Tpr (s)	V (m/s)	aad (m/s)	i(m/m)	g(m/s ²)	C (m)
B	Gal. Sampaio	8,80 m	5,00 m	15,80 m	1	11,11	3	0	9,81	5
	Gal. Vitorino	8,90 m	5,00 m	13,50 m	1	11,11	3	0	9,81	5

Tempos calculados de entreverdes (s)

Cruzamento	Aproximação	Amarelo	Vermelho Geral	Entreverdes	FS (ucp/h)	Tempo perdido - Tp (s)
B	Gal. Sampaio	3 s	2 s	5 s	1400	10 s
	Gal. Vitorino	3 s	2 s	5 s	1400	10 s

APÊNDICE C - Determinação dos Tempos de Ciclo e demais Parâmetros do Cruzamento C

Cruz.	Dados das Aproximações							GSM										WEBSTER					
	Intervalo	HORÁRIO (h)	Aproximação	Grupo	F _{máx} (ucp/h)	FS(ucp/h)	Y _{max}	X	Pi	t _c	t _{vef,i}	t _{vef,i} (segurança)	T _c	Cap	P	X _{máx}	X _{máx} Verificação	T _{co} (s)	t _{v1ef,i} (s)	t _{v1ef,i} (s) (Segurança)	T _c	Cap (ucp/h)	x _{max}
C	1	23:45 - 00:15	Gal. Sampaio	G5	57	1400	0,04	0,88	0,05	11 s	1 s	10 s	35 s	396,64	0,28	0,14	0,14	23	5 s	10 s	30 s	466,67	0,12
			Vasco Alves	G6	87	1400	0,06	0,88	0,07	11 s	1 s	15 s		606,73	0,43	0,14	0,14	23	8 s	10 s		466,67	0,19
	2	00:15 - 00:30	Gal. Sampaio	G5	36	1400	0,03	0,88	0,03	11 s	0 s	10 s	36 s	389,66	0,28	0,09	0,09	22	5 s	10 s	30 s	466,67	0,08
			Vasco Alves	G6	57	1400	0,04	0,88	0,05	11 s	1 s	16 s		620,68	0,44	0,09	0,09	22	7 s	10 s		466,67	0,12
	3	00:30 - 01:30	Gal. Sampaio	G5	47	1400	0,03	0,88	0,04	11 s	0 s	14 s	34 s	584,81	0,42	0,08	0,08	22	7 s	10 s	30 s	466,67	0,10
			Vasco Alves	G6	33	1400	0,02	0,88	0,03	11 s	0 s	10 s		407,60	0,29	0,08	0,08	22	5 s	10 s		466,67	0,07
	4	01:30 - 02:15	Gal. Sampaio	G5	23	1400	0,02	0,88	0,02	10 s	0 s	12 s	32 s	538,18	0,38	0,04	0,04	21	6 s	10 s	30 s	466,67	0,05
			Vasco Alves	G6	19	1400	0,01	0,88	0,02	10 s	0 s	10 s		430,91	0,31	0,04	0,04	21	5 s	10 s		466,67	0,04
	5	02:15 - 02:30	Gal. Sampaio	G5	37	1400	0,03	0,88	0,03	11 s	0 s	15 s	35 s	594,54	0,42	0,06	0,06	21	7 s	10 s	30 s	466,67	0,08
			Vasco Alves	G6	25	1400	0,02	0,88	0,02	11 s	0 s	10 s		402,73	0,29	0,06	0,06	21	4 s	10 s		466,67	0,05
	6	02:30 - 03:00	Gal. Sampaio	G5	23	1400	0,02	0,88	0,02	10 s	0 s	15 s	35 s	610,48	0,44	0,04	0,04	21	7 s	10 s	30 s	466,67	0,05
			Vasco Alves	G6	15	1400	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s		394,76	0,28	0,04	0,04	21	4 s	10 s		466,67	0,03
	7	03:00 - 04:15	Gal. Sampaio	G5	9	1400	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s	33 s	420,09	0,30	0,02	0,02	21	5 s	10 s	30 s	466,67	0,02
			Vasco Alves	G6	12	1400	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	13 s		559,81	0,40	0,02	0,02	21	6 s	10 s		466,67	0,03
	8	04:15 - 04:30	Gal. Sampaio	G5	25	1400	0,02	0,88	0,02	10 s	0 s	27 s	47 s	806,37	0,58	0,03	0,03	21	8 s	10 s	30 s	466,67	0,05
			Vasco Alves	G6	9	1400	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s		296,82	0,21	0,03	0,03	21	3 s	10 s		466,67	0,02
	9	04:30 - 05:15	Gal. Sampaio	G5	9	1400	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	10 s	35 s	404,40	0,29	0,02	0,02	21	4 s	10 s	30 s	466,67	0,02
			Vasco Alves	G6	13	1400	0,01	0,88	0,01	10 s	0 s	15 s		591,19	0,42	0,02	0,02	21	7 s	10 s		466,67	0,03
	10	05:15 - 06:00	Gal. Sampaio	G5	21	1400	0,02	0,88	0,02	10 s	0 s	10 s	32 s	443,64	0,32	0,05	0,05	21	5 s	10 s	30 s	466,67	0,05
			Vasco Alves	G6	25	1400	0,02	0,88	0,02	10 s	0 s	12 s		512,72	0,37	0,05	0,05	21	6 s	10 s		466,67	0,05
	11	06:00 - 06:45	Gal. Sampaio	G5	53	1400	0,04	0,88	0,04	11 s	0 s	10 s	33 s	423,78	0,30	0,12	0,12	22	5 s	10 s	30 s	466,67	0,11
Vasco Alves			G6	69	1400	0,05	0,88	0,06	11 s	1 s	13 s	552,43		0,39	0,12	0,12	22	7 s	10 s	466,67		0,15	
12	06:45 - 07:00	Gal. Sampaio	G5	100	1400	0,07	0,88	0,08	12 s	1 s	11 s	31 s	502,60	0,36	0,20	0,20	24	7 s	10 s	30 s	466,67	0,21	
		Vasco Alves	G6	89	1400	0,06	0,88	0,07	12 s	1 s	10 s		448,70	0,32	0,20	0,20	24	7 s	10 s		466,67	0,19	
13	07:00 - 07:15	Gal. Sampaio	G5	205	1400	0,15	0,88	0,17	16 s	3 s	10 s	33 s	429,49	0,31	0,48	0,48	30	9 s	10 s	30 s	466,67	0,44	
		Vasco Alves	G6	258	1400	0,18	0,88	0,21	16 s	3 s	13 s		541,01	0,39	0,48	0,48	30	11 s	11 s		520,29	0,50	
14	07:15 - 07:30	Gal. Sampaio	G5	372	1400	0,27	0,88	0,30	24 s	7 s	10 s	30 s	460,31	0,33	0,81	0,81	42	16 s	16 s	42 s	544,16	0,68	
		Vasco Alves	G6	357	1400	0,26	0,88	0,29	24 s	7 s	10 s		460,31	0,33	0,78	0,78	42	16 s	16 s		522,51	0,68	
15	07:30 - 08:30	Gal. Sampaio	G5	286	1400	0,20	0,88	0,23	19 s	4 s	10 s	30 s	463,62	0,33	0,62	0,62	35	12 s	12 s	35 s	495,12	0,58	
		Vasco Alves	G6	291	1400	0,21	0,88	0,24	19 s	4 s	10 s		463,62	0,33	0,63	0,63	35	13 s	13 s		504,88	0,58	
16	08:30 - 09:15	Gal. Sampaio	G5	323	1400	0,23	0,88	0,26	19 s	5 s	12 s	32 s	521,90	0,37	0,62	0,62	35	14 s	14 s	35 s	543,11	0,59	
		Vasco Alves	G6	272	1400	0,19	0,88	0,22	19 s	4 s	10 s		439,05	0,31	0,62	0,62	35	11 s	11 s		456,89	0,59	
17	09:15 - 09:45	Gal. Sampaio	G5	288	1400	0,21	0,88	0,23	19 s	5 s	10 s	31 s	456,09	0,33	0,63	0,63	35	12 s	12 s	35 s	483,19	0,60	
		Vasco Alves	G6	308	1400	0,22	0,88	0,25	19 s	5 s	11 s		487,82	0,35	0,63	0,63	35	13 s	13 s		516,81	0,60	
18	09:45 - 10:45	Gal. Sampaio	G5	359	1400	0,26	0,88	0,29	25 s	7 s	10 s	31 s	453,87	0,32	0,79	0,79	43	16 s	16 s	43 s	515,41	0,70	
		Vasco Alves	G6	389	1400	0,28	0,88	0,32	25 s	8 s	11 s		492,26	0,35	0,79	0,79	43	17 s	17 s		559,01	0,70	
19	10:45 - 11:00	Gal. Sampaio	G5	480	1400	0,34	0,88	0,39	31 s	12 s	14 s	34 s	567,54	0,41	0,85	0,85	50	23 s	23 s	50 s	646,14	0,74	
		Vasco Alves	G6	352	1400	0,25	0,88	0,29	31 s	9 s	10 s		416,23	0,30	0,85	0,85	50	17 s	17 s		473,86	0,74	
20	11:00 - 11:15	Gal. Sampaio	G5	401	1400	0,29	0,88	0,33	26 s	8 s	11 s	31 s	505,82	0,36	0,79	0,79	44	18 s	18 s	44 s	574,25	0,70	
		Vasco Alves	G6	354	1400	0,25	0,88	0,29	26 s	7 s	10 s		447,09	0,32	0,79	0,79	44	16 s	16 s		507,57	0,70	
21	11:15 - 11:30	Gal. Sampaio	G5	524	1400	0,37	0,88	0,42	36 s	15 s	15 s	36 s	594,91	0,42	0,88	0,88	56	27 s	27 s	56 s	674,55	0,78	
		Vasco Alves	G6	369	1400	0,26	0,88	0,30	36 s	11 s	11 s		419,32	0,30	0,88	0,88	56	19 s	19 s		475,45	0,78	

...Continua

...Continuação

22	11:30 - 11:45	Gal. Sampaio	G5	425	1400	0,30	0,88	0,34	30 s	10 s	11 s	31 s	493,58	0,35	0,86	0,86	48	20 s	20 s	48 s	577,80	0,74
		Vasco Alves	G6	390	1400	0,28	0,88	0,32	30 s	9 s	10 s		453,21	0,32	0,86	0,86	48	18 s	18 s		530,53	0,74
23	11:45 - 12:00	Gal. Sampaio	G5	715	1400	0,51	0,88	0,58	-3111 s	-1806 s	55 s	120 s	641,67	0,46	1,11	1,11	171	93 s	55 s	120 s	641,67	1,11
		Vasco Alves	G6	521	1400	0,37	0,88	0,42	-3111 s	-1315 s	55 s		641,67	0,46	0,81	0,81	171	68 s	55 s		641,67	0,81
24	12:00 - 12:45	Gal. Sampaio	G5	288	1400	0,21	0,88	0,23	17 s	4 s	13 s	33 s	551,59	0,39	0,52	0,52	32	12 s	12 s	33 s	527,59	0,55
		Vasco Alves	G6	222	1400	0,16	0,88	0,18	17 s	3 s	10 s		424,20	0,30	0,52	0,52	32	10 s	10 s		424,24	0,52
25	12:45 - 13:00	Gal. Sampaio	G5	360	1400	0,26	0,88	0,29	22 s	6 s	12 s	32 s	522,04	0,37	0,69	0,69	38	15 s	15 s	38 s	560,37	0,64
		Vasco Alves	G6	303	1400	0,22	0,88	0,25	22 s	5 s	10 s		438,98	0,31	0,69	0,69	38	13 s	13 s		471,21	0,64
26	13:00 - 13:15	Gal. Sampaio	G5	421	1400	0,30	0,88	0,34	31 s	11 s	11 s	31 s	478,45	0,34	0,88	0,88	51	21 s	21 s	51 s	563,60	0,75
		Vasco Alves	G6	420	1400	0,30	0,88	0,34	31 s	11 s	11 s		477,00	0,34	0,88	0,88	51	20 s	20 s		561,89	0,75
27	13:15 - 13:30	Gal. Sampaio	G5	365	1400	0,26	0,88	0,30	27 s	8 s	10 s	31 s	448,71	0,32	0,81	0,81	45	17 s	17 s	45 s	513,61	0,71
		Vasco Alves	G6	409	1400	0,29	0,88	0,33	27 s	9 s	11 s		502,59	0,36	0,81	0,81	45	18 s	18 s		575,28	0,71
28	13:30 - 13:45	Gal. Sampaio	G5	498	1400	0,36	0,88	0,40	43 s	18 s	18 s	43 s	566,23	0,40	0,88	0,88	62	27 s	27 s	62 s	617,61	0,81
		Vasco Alves	G6	449	1400	0,32	0,88	0,36	43 s	16 s	16 s		510,27	0,36	0,88	0,88	62	25 s	25 s		556,58	0,81
29	13:45 - 14:00	Gal. Sampaio	G5	432	1400	0,31	0,88	0,35	31 s	11 s	11 s	31 s	490,50	0,35	0,88	0,88	50	21 s	21 s	50 s	576,87	0,75
		Vasco Alves	G6	406	1400	0,29	0,88	0,33	31 s	10 s	10 s		461,82	0,33	0,88	0,88	50	19 s	19 s		543,13	0,75
30	14:00 - 14:45	Gal. Sampaio	G5	376	1400	0,27	0,88	0,31	27 s	8 s	10 s	31 s	454,09	0,32	0,83	0,83	46	17 s	17 s	46 s	525,98	0,72
		Vasco Alves	G6	408	1400	0,29	0,88	0,33	27 s	9 s	11 s		491,81	0,35	0,83	0,83	46	19 s	19 s		569,67	0,72
31	14:45 - 15:00	Gal. Sampaio	G5	488	1400	0,35	0,88	0,40	30 s	12 s	15 s	35 s	588,92	0,42	0,83	0,83	49	23 s	23 s	49 s	659,88	0,74
		Vasco Alves	G6	336	1400	0,24	0,88	0,27	30 s	8 s	10 s		405,54	0,29	0,83	0,83	49	16 s	16 s		454,41	0,74
32	15:00 - 15:15	Gal. Sampaio	G5	333	1400	0,24	0,88	0,27	22 s	6 s	10 s	30 s	467,94	0,33	0,71	0,71	39	15 s	15 s	39 s	522,65	0,64
		Vasco Alves	G6	330	1400	0,24	0,88	0,27	22 s	6 s	10 s		464,12	0,33	0,71	0,71	39	14 s	14 s		518,38	0,64
33	15:15 - 15:30	Gal. Sampaio	G5	426	1400	0,30	0,88	0,35	26 s	9 s	13 s	33 s	543,68	0,39	0,78	0,78	44	19 s	19 s	44 s	605,21	0,70
		Vasco Alves	G6	336	1400	0,24	0,88	0,27	26 s	7 s	10 s		428,16	0,31	0,78	0,78	44	15 s	15 s		476,61	0,70
34	15:30 - 15:45	Gal. Sampaio	G5	358	1400	0,26	0,88	0,29	27 s	8 s	10 s	32 s	441,99	0,32	0,81	0,81	45	16 s	16 s	45 s	502,37	0,71
		Vasco Alves	G6	418	1400	0,30	0,88	0,34	27 s	9 s	12 s		530,39	0,38	0,79	0,79	45	19 s	19 s		586,52	0,71
35	15:45 - 16:00	Gal. Sampaio	G5	364	1400	0,26	0,88	0,30	24 s	7 s	10 s	30 s	466,15	0,33	0,78	0,78	42	16 s	16 s	42 s	534,21	0,68
		Vasco Alves	G6	362	1400	0,26	0,88	0,29	24 s	7 s	10 s		466,15	0,33	0,78	0,78	42	16 s	16 s		532,45	0,68
36	16:00 - 16:15	Gal. Sampaio	G5	482	1400	0,34	0,88	0,39	29 s	11 s	15 s	35 s	596,28	0,43	0,81	0,81	48	23 s	23 s	48 s	662,11	0,73
		Vasco Alves	G6	325	1400	0,23	0,88	0,26	29 s	8 s	10 s		401,86	0,29	0,81	0,81	48	15 s	15 s		446,22	0,73
37	16:15 - 16:30	Gal. Sampaio	G5	353	1400	0,25	0,88	0,29	24 s	7 s	10 s	30 s	464,89	0,33	0,76	0,76	41	15 s	15 s	41 s	526,26	0,67
		Vasco Alves	G6	357	1400	0,26	0,88	0,29	24 s	7 s	10 s		464,89	0,33	0,77	0,77	41	16 s	16 s		532,28	0,67
38	16:30 - 17:00	Gal. Sampaio	G5	423	1400	0,30	0,88	0,34	29 s	10 s	11 s	31 s	496,99	0,35	0,85	0,85	48	20 s	20 s	48 s	580,74	0,73
		Vasco Alves	G6	384	1400	0,27	0,88	0,31	29 s	9 s	10 s		451,51	0,32	0,85	0,85	48	18 s	18 s		527,59	0,73
39	17:00 - 17:15	Gal. Sampaio	G5	489	1400	0,35	0,88	0,40	38 s	15 s	15 s	38 s	555,59	0,40	0,88	0,88	58	26 s	26 s	58 s	622,55	0,79
		Vasco Alves	G6	421	1400	0,30	0,88	0,34	38 s	13 s	13 s		478,41	0,34	0,88	0,88	58	22 s	22 s		536,07	0,79
40	17:15 - 17:30	Gal. Sampaio	G5	552	1400	0,39	0,88	0,45	56 s	25 s	25 s	56 s	626,91	0,45	0,88	0,88	73	34 s	34 s	73 s	658,13	0,84
		Vasco Alves	G6	461	1400	0,33	0,88	0,37	56 s	21 s	21 s		524,00	0,37	0,88	0,88	73	29 s	29 s		550,09	0,84
41	17:30 - 17:45	Gal. Sampaio	G5	485	1400	0,35	0,88	0,39	39 s	16 s	16 s	39 s	551,14	0,39	0,88	0,88	59	26 s	26 s	59 s	613,40	0,79
		Vasco Alves	G6	434	1400	0,31	0,88	0,35	39 s	14 s	14 s		493,55	0,35	0,88	0,88	59	23 s	23 s		549,31	0,79
42	17:45 - 18:00	Gal. Sampaio	G5	562	1400	0,40	0,88	0,46	169 s	77 s	55 s	120 s	641,67	0,46	0,88	0,88	117	52 s	52 s	117 s	621,02	0,91
		Vasco Alves	G6	597	1400	0,43	0,88	0,48	169 s	82 s	55 s		641,67	0,46	0,93	0,93	117	55 s	55 s		659,32	0,91
43	18:00 - 18:15	Gal. Sampaio	G5	420	1400	0,30	0,88	0,34	27 s	9 s	12 s	32 s	523,04	0,37	0,80	0,80	45	19 s	19 s	45 s	592,32	0,71
		Vasco Alves	G6	352	1400	0,25	0,88	0,29	27 s	8 s	10 s		438,48	0,31	0,80	0,80	45	16 s	16 s		496,57	0,71

...Continua

...Continuação

44	18:15 - 18:30	Gal. Sampaio	G5	483	1400	0,35	0,88	0,39	56 s	22 s	22 s	56 s	549,36	0,39	0,88	0,88	72	30 s	30 s	72 s	576,54	0,84
		Vasco Alves	G6	527	1400	0,38	0,88	0,43	56 s	24 s	24 s		599,36	0,43	0,88	0,88	72	32 s	32 s		629,01	0,84
45	18:30 - 18:45	Gal. Sampaio	G5	449	1400	0,32	0,88	0,36	33 s	12 s	12 s	33 s	510,32	0,36	0,88	0,88	52	22 s	22 s	52 s	590,88	0,76
		Vasco Alves	G6	410	1400	0,29	0,88	0,33	33 s	11 s	11 s		466,27	0,33	0,88	0,88	52	20 s	20 s		539,89	0,76
46	18:45 - 19:15	Gal. Sampaio	G5	388	1400	0,28	0,88	0,31	30 s	9 s	10 s	31 s	448,66	0,32	0,86	0,86	49	18 s	18 s	49 s	525,51	0,74
		Vasco Alves	G6	434	1400	0,31	0,88	0,35	30 s	11 s	11 s		475,64	0,34	0,91	0,91	49	21 s	21 s		588,77	0,74
47	19:15 - 19:30	Gal. Sampaio	G5	312	1400	0,22	0,88	0,25	20 s	5 s	10 s	30 s	480,43	0,34	0,65	0,65	36	13 s	13 s	36 s	516,66	0,60
		Vasco Alves	G6	298	1400	0,21	0,88	0,24	20 s	5 s	10 s		459,79	0,33	0,65	0,65	36	13 s	13 s		494,46	0,60
48	19:30 - 20:30	Gal. Sampaio	G5	289	1400	0,21	0,88	0,23	19 s	5 s	10 s	30 s	472,43	0,34	0,61	0,61	35	12 s	12 s	35 s	490,69	0,59
		Vasco Alves	G6	300	1400	0,21	0,88	0,24	19 s	5 s	10 s		472,43	0,34	0,64	0,64	35	13 s	13 s		509,31	0,59
49	20:30 - 21:30	Gal. Sampaio	G5	254	1400	0,18	0,88	0,21	17 s	4 s	10 s	30 s	460,41	0,33	0,55	0,55	32	11 s	11 s	32 s	471,63	0,54
		Vasco Alves	G6	264	1400	0,19	0,88	0,21	17 s	4 s	10 s		460,41	0,33	0,57	0,57	32	11 s	11 s		490,87	0,54
50	21:30 - 22:30	Gal. Sampaio	G5	194	1400	0,14	0,88	0,16	14 s	2 s	11 s	31 s	484,48	0,35	0,40	0,40	28	9 s	10 s	30 s	466,67	0,42
		Vasco Alves	G6	183	1400	0,13	0,88	0,15	14 s	2 s	10 s		457,76	0,33	0,40	0,40	28	9 s	10 s		466,67	0,39
51	22:30 - 23:15	Gal. Sampaio	G5	143	1400	0,10	0,88	0,12	13 s	2 s	10 s	30 s	474,42	0,34	0,30	0,30	26	8 s	10 s	30 s	466,67	0,31
		Vasco Alves	G6	151	1400	0,11	0,88	0,12	13 s	2 s	10 s		474,42	0,34	0,32	0,32	26	8 s	10 s		466,67	0,32
52	23:15 - 23:45	Gal. Sampaio	G5	100	1400	0,07	0,88	0,08	12 s	1 s	10 s	30 s	470,77	0,34	0,21	0,21	24	7 s	10 s	30 s	466,67	0,21
		Vasco Alves	G6	103	1400	0,07	0,88	0,08	12 s	1 s	10 s		470,77	0,34	0,22	0,22	24	7 s	10 s		466,67	0,22

Dimensões dos cruzamentos (m)

Cruzamento	Aproximação	Travessia de pedestres	d1	d2	Tpr (s)	V (m/s)	aad (m/s)	i(m/m)	g(m/s ²)	C (m)
C	Gal. Sampaio	8,90 m	5,00 m	15,80 m	1	11,11	3	0	9,81	5
	Vasco Alves	9,20 m	5,00 m	13,50 m	1	11,11	3	0	9,81	5

Dados do cruzamento

Cruzamento	Aproximação	Amarelo	Vermelho Geral	Entreverdes	FS (ucp/h)	Tempo perdido - Tp (s)
C	Gal. Sampaio	3 s	2 s	5 s	1400	10 s
	Vasco Alves	3 s	2 s	5 s	1400	10 s