

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

EDUARDA LACERDA MACHADO DA SILVEIRA

**AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA NA EXTENSÃO LONGITUDINAL
DA RUA GENERAL SAMPAIO NA CIDADE DE ALEGRETE/RS**

**Alegrete
2018**

EDUARDA LACERDA MACHADO DA SILVEIRA

**AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA NA EXTENSÃO LONGITUDINAL
DA RUA GENERAL SAMPAIO NA CIDADE DE ALEGRETE/RS**

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

Orientador: Maurício Silveira dos Santos

**Alegrete
2018**

EDUARDA LACERDA MACHADO DA SILVEIRA

**AVALIAÇÃO DA SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA NA EXTENSÃO
LONGITUDINAL DA RUA GENERAL SAMPAIO NA CIDADE DE
ALEGRETE/RS**

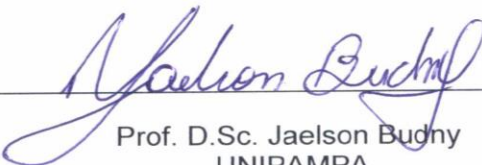
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 29 de jun de 2018.

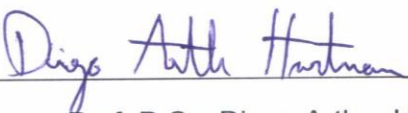
Banca examinadora:



Prof. Me. Maurício Silveira dos Santos
Orientador
UNIPAMPA



Prof. D.Sc. Jaelson Budny
UNIPAMPA



Prof. D.Sc. Diego Arthur Hartmann

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo da situação operacional dos semáforos implantados ao longo da Rua General Sampaio na cidade de Alegrete/RS. Por meio deste procura-se sugerir melhorias para aumentar a eficiência operacional do sistema semafórico. Para a sua realização foram abordados referenciais teóricos a respeito dos semáforos e os métodos de cálculo utilizados para a programação de cada indicação luminosa. Posteriormente realizou-se um estudo comparativo entre a operação atual, verificada através da medição dos tempos de ciclo em vigor, comportamento do tráfego e organização local, e a operação ideal, calculada neste trabalho. Em seguida, foi apresentado o comportamento do tráfego em relação à oferta cedida aos cruzamentos pelos tempos de ciclo dos semáforos. Chegou-se a conclusão de que é possível promover o aumento da fluidez no trânsito na extensão da Rua General Sampaio ajustando-se a capacidade dos cruzamentos à variação da demanda, através da adequação dos tempos de ciclo nos semáforos em relação ao fluxo de veículos, bem como através do aumento da capacidade empregando-se modificações nas sinalizações auxiliares.

Palavras-Chave: semáforo, avaliação semafórica, programação, tempo de ciclo, indicações luminosas, engenharia de tráfego, trânsito, Método de Webster.

ABSTRACT

This work presents a study of the operational situation of the traffic lights implanted along Rua General Sampaio in the city of Alegrete / RS. By means of this it is tried to suggest improvements to increase the operational efficiency of the signal system. For its realization, theoretical references about the traffic lights and the calculation methods used for the programming of each luminous indication were approached. A comparative study was carried out between the current operation, verified through the measurement of the current cycle times, traffic behavior and local organization, and the ideal operation, calculated in this work. Next, the behavior of the traffic in relation to the offer yielded to the crossings by the cycle times of the semaphores was presented. It was concluded that it is possible to promote the increase of traffic flow in the extension of General Sampaio Street by adjusting the capacity of the crossings to the variation of the demand, through the adaptation of the cycle times in the traffic lights in relation to the flow of vehicles, as well as by increasing capacity by employing modifications in auxiliary signals.

Key words: traffic light, traffic light, scheduling, cycle time, luminous indications, traffic engineering, traffic, Webster's method.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

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 util.: tempo de ciclo a ser utilizado. É o tempo de ciclo ótimo após aplicação do tv calc.

Tco: tempo de ciclo ótimo calculado pelo Método de Webster

Tv calc.: 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 para o horário de pico ou período de maior tempo de ciclo

xmin: grau de saturação no horário de menor fluxo ou período de menor tempo de ciclo

Ymax: taxa de veículos no horário de maior valor de fluxo ou no intervalo de maior tempo de ciclo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivos.....	12
1.2 Objetivo Geral:	12
1.3 Objetivos Específicos:.....	12
1.4 Justificativa	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. Sinalizações de trânsito.....	14
a) Sinalização Horizontal	16
b) Sinalização vertical	17
c) Sinalização semafórica.....	17
2.2. Elementos da Programação Semafórica	25
2.2.1 A via.....	25
2.2.2 O Trânsito.....	28
2.2.3 Sistema de Movimentos, Grupos Semaforicos e Diagramas de estágio em uma intersecção	36
2.2.4 Tempos da sinalização semafórica	38
2.3 Sincronismo entre Semáforos, o Fenômeno de “Onda Verde”	51
3 METODOLOGIA:.....	54
3.1. Local de Estudo	54
3.2. Levantamento de dados em campo.....	57
3.2.1. Características das intersecções.....	57
3.2.2. Contagem dos veículos	61
3.2.3. FHP e grau de saturação	64

3.3.	Cálculos de Tempos de Ciclos e das Indicações Luminosas Ideais.....	66
4	RESULTADOS	67
4.1	Fluxo de Saturação	67
4.2	Entreverdes	68
4.3	Fluxo de veículos	69
4.4	Situação atual.....	80
4.5	Tempos de ciclo pelo Método de Webster	82
4.6	Proposta de planos semafóricos pelo Método de Webster	87
4.7	Diagramas de barras.....	94
4.8	Proposta de melhoria nas sinalizações auxiliares	95
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS:.....	98
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	100
	REFERÊNCIAS:	101
	APÊNDICES	104
	Apêndice A Contagens, FHP, taxa de fluxo a cada 15 minutos para o cruzamento A aproximação pela Rua General Sampaio	105
	Apêndice B Contagens, FHP, taxa de fluxo a cada 15 minutos para o cruzamento A aproximação pela Rua Venâncio Aires.....	108
	Apêndice C Contagens, FHP, taxa de fluxo a cada 15 minutos para o cruzamento B aproximação PELA Rua General Sampaio.....	111
	Apêndice D Contagens, FHP, taxa de fluxo a cada 15 minutos para o cruzamento B aproximação pela Rua General Vitorino.....	114
	Apêndice E Contagens, FHP, taxa de fluxo a cada 15 minutos para o cruzamento C aproximação pela Rua General Sampaio	117
	Apêndice F Contagens, FHP, taxa de fluxo a cada 15 minutos para o cruzamento C aproximação pela Rua Vasco Alves.....	120
	Apêndice G Calculo dos tempos de ciclos por hora e intervalos significativos para o cruzamento A	123

Apêndice H Calculo dos tempos de ciclos por hora e intervalos significativos para o cruzamento B	126
Apêndice I Calculo dos tempos de ciclos por hora e intervalos significativos para o cruzamento C	129
Apêndice J Calculo dos tempos de ciclos por hora e intervalos significativos para o cruzamento B com duas aproximações	132
Apêndice K Diagramas de barras para os planos semaforicos propostos para o cruzamento A	135
Apêndice L Diagramas de barras para os planos semaforicos propostos para o cruzamento B	136
Apêndice M Diagramas de barras para os planos semaforicos propostos para o cruzamento C	138

1. INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico acelerado estabelece uma alta concentração de pessoas na zona urbana, resultando em um aumento na necessidade de mobilidade a grandes distâncias em tempo hábil. No Brasil, fatores como falta de segurança pública e a deficiência do serviço prestado na área de transporte público, somados, convertem-se em uma falta de incentivo no uso do transporte coletivo, levando os indivíduos a adquirirem veículos particulares para suprir o número de viagens cotidianas e de lazer que pretendem realizar.

No jornal Diário do Grande ABC (2010) a informação apresentada é de que houve estímulo da indústria automotiva, devido a facilidades na aquisição de veículos particulares e se não houver investimentos volumosos no transporte coletivo, a mobilidade tende a ficar cada vez mais comprometida, gerando a frequente cena urbana dos congestionamentos. Já chega a 47% o total de domicílios no país que possuem automóveis ou motocicletas para atender o deslocamento dos seus moradores. Em 2008, o número era de 45,2%, segundo estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), que prevê elevação desse percentual.

A multiplicação na escolha de realizar viagens em transporte particular desencadeia um aumento progressivo da demanda, que atrelado à falta de planejamento urbano, resulta em conflitos nos deslocamentos e em congestionamentos. Essa lentidão no trânsito é um problema constante não só em grandes centros urbanos, mas já notável nas pequenas cidades, como em Alegrete/RS, e os transtornos gerados configuram aspectos de grande magnitude na organização e gerência das cidades.

Krauss (2014, p. 12) define congestionamento ou engarrafamento como sendo “uma condição em que automóveis e outros veículos rodam a baixas velocidades com paradas frequentes ou ficam todos parados em fila(s)”.

A saturação das vias estabelece grandes perdas sociais, ambientais e individuais, provocando atrasos, aumentando o consumo de combustível e conseqüentemente os níveis da poluição ambiental, além de acarretar em estresse do usuário. Tais fatores levam o condutor à violação das leis de trânsito, aumentando a velocidade para compensação ou usando de atalhos ou trafegando

pelo acostamento, por exemplo, o que gera situações de risco, problemas de saúde e diminuição no rendimento em suas atividades. A “Organização Mundial de Saúde já definiu o acidente de trânsito como uma doença dos países em desenvolvimento” (FENASDETRAN, 2002).

As interseções semaforizadas têm como objetivo proporcionar maior segurança de pedestres e condutores, porém, esse aumento de segurança promove perda de fluidez na malha viária, resultando em longos tempos de viagem. Esse paradoxo da engenharia de tráfego é justificado por períodos de alta e média demanda de veículos, quando o número de conflitos aumenta em contrapartida dos períodos de baixo volume de tráfego, quando uma grande quantidade de semáforos, que, se não coordenados de forma eficiente, provoca tempos de espera desnecessários, gerados pelo número excessivo de paradas nas interseções, promovendo o desrespeito à sinalização semaforizada e elevando o risco de colisões e atropelamentos (PAIVA NETO; CASTRO NETO; LOUREIRO, 2006). Essas variações geram congestionamentos por elementos relacionados à falta de flexibilidade e conciliação na programação semaforizada.

Lacort, M., Kripka, M e Kripka, L. (2013), destaca que o desempenho do semáforo está diretamente relacionado à sua programação e apresenta modelos de aprimoramento de semáforos através de modelagens matemáticas que conduzem a tempos de verde que reduzam o tempo de percurso veicular, pois levam em consideração os dados do trânsito no local de aplicação. Os modelos matemáticos ainda são bastante empregados no Brasil devido ao fato que os softwares desenvolvidos para minimização dos problemas relacionados ao tráfego são de alto custo para aquisição e necessitam de treinamento para sua utilização, inviabilizando o uso por parte da maioria das prefeituras brasileiras.

É fundamental que o profissional de trânsito proponha soluções de baixo custo que dissolvam as filas e resultem em maior eficiência operacional com os recursos disponíveis. A NR 1.010 (CONFEA, 2005) estabelece que o engenheiro civil seja apto e credenciado a desempenhar funções no planejamento no âmbito da engenharia civil, na infraestrutura viária, tráfego, trânsito e sinalização, estando sob a sua área de atuação o ramo de planejamento e desenvolvimento urbano, assim como o setor de tráfego e trânsito municipal.

1.1 Objetivos

1.2 Objetivo Geral:

O presente estudo tem como objetivo apontar alternativas que viabilizem o aumento da fluidez e segurança, além de um melhor nível de serviço e redução do atraso no trânsito da cidade de Alegrete/RS, nos cruzamentos da Rua General Sampaio, com as ruas Venâncio Aires, General Vitorino e Vasco Alves, por meio do aprimoramento operacional através da reprogramação temporal da sinalização semafórica das intersecções.

1.3 Objetivos Específicos:

Nesse contexto, apresentam-se os seguintes objetivos específicos:

- Investigar dados reais a respeito da organização dos cruzamentos em estudo;
- Observar a operação das vias através de levantamento da demanda atual e investigar os horários de pico e entre pico no período de 24 horas de um dia típico;
- Avaliar a atual situação da sinalização semafórica e comparar aos valores teóricos dos tempos de ciclos ótimos calculados neste trabalho;
- Sugerir possíveis melhorias para obter-se maior eficiência operacional nos cruzamentos, caso esta esteja deficiente, através de soluções de baixo custo, como efetuar mudanças na sinalização de trânsito local e/ou reformular operação dos semáforos já implantados.

1.4 Justificativa

Um semáforo convenientemente implantado, operando corretamente e com eficiente programação, reduz conflitos e acidentes de trânsito, além do tempo de viagem, consequências da otimização da capacidade de fluxo. Porém, um dispositivo desse tipo erroneamente inserido e/ou com insuficiente flexibilidade na

programação de tempos de verde pode ocasionar o efeito contrário ao desejado, causando o acúmulo de veículos, paradas desnecessárias e congestionamentos.

O presente estudo técnico tem motivação em encontrar soluções de engenharia aplicáveis à cidade de Alegrete/RS, local onde está inserido o curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), oferecendo retorno aos cidadãos que circundam o espaço onde o curso está instalado através da proposta de redução de tempo de viagem dos habitantes. Tal proposta tem o intuito de propiciar melhores condições de circulação e diminuição do índice de acidentes de trânsito, o que afeta diretamente na melhoria da qualidade de vida, que está intimamente ligada ao progresso e prosperidade da população.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo encontra-se exposto o conjunto de conhecimentos adquiridos através de pesquisa prévia sobre sinalização semaforica seus princípios básicos, critérios de implantação e parâmetros utilizados no dimensionamento da programação dos tempos de cada indicação luminosa, que serviu como base para realizar-se, posteriormente, um estudo comparativo entre a teoria aqui apresentada e os valores práticos em vigência nos cruzamentos.

2.1. Sinalizações de trânsito

De acordo com as definições estabelecidas pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB, 2008), trânsito é a utilização das vias por tudo aquilo que é passível de mobilidade, através de veículos, animais e também aquele que se movimenta isolado ou em grupo, estando em movimento ou não. Contudo, para que haja a movimentação dos usuários da via com um trânsito seguro e eficiente, é necessária a utilização de sinalizações de trânsito que ordene e oriente tais deslocamentos.

Com isso, o Anexo I do CTB (2016, pg. 94) define sinalização como o “conjunto de sinais de trânsito e dispositivos de segurança colocados na via pública com o objetivo de garantir sua utilização adequada, possibilitando melhor fluidez no trânsito e maior segurança dos veículos e pedestres que nela circulam”. Além disso, o CTB (2016) menciona que a sinalização deverá ser colocada em posição e condições que a tornem perfeitamente visível e legível durante o dia e a noite, em distância compatível com a segurança do trânsito, conforme normas e especificações do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN).

Segundo o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (CONTRAN, 2014), é preciso assegurar à sinalização de trânsito princípios que garantam a real eficácia dos sinais em relação à percepção dos usuários das vias, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Princípios da sinalização de trânsito

Legalidade	Código de trânsito Brasileiro - CTB e Legislação complementar;
Suficiência	permitir fácil percepção com a quantidade de sinalização compatível com a necessidade;
Padronização	seguir 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 a 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 Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (2014, p. 12)

É importante que se cumpra os requisitos constantes no Quadro 1, pois a sinalização de trânsito se dá por meio de linguagem visual através de informação analógica, sendo fundamental o fácil entendimento. No contexto da sinalização urbana, por questões de tempo e de segurança, não se pode ser prolixo, sendo essencial que a informação apareça em primeiro plano (REDIG, 2004).

A sinalização de trânsito fornece informações que regulamentam o trânsito, advertem os usuários das vias, indicam serviços, sentidos e distâncias, sendo classificadas, de acordo com o artigo 87 do CTB (2016), e subdivididos conforme sua função:

- **Sinalização vertical:** placas de regulamentação, advertência e indicação;
- **Sinalização horizontal:** marcas longitudinais, marcas transversais, marcas de canalização, marcas de delimitação e controle de parada e/ou estacionamento, inscrições no pavimento;

- **Dispositivos de sinalização auxiliar:** delimitadores, canalização, sinalização de alerta;
- **Luminosos:** semáforo e foco luminoso do pedestre;
- **Sonoros:** silvos ou apitos utilizados em conjunto com os gestos do guarda de trânsito e sinais sonoros em equipamentos eletrônicos;
- **Gestos do agente de trânsito e do condutor:** do agente com movimentos convencionais de braço para orientação dos condutores e do condutor com o braço esquerdo para sinalizar suas intenções de mudança de direção, redução brusca de velocidade ou parada.

Como as sinalizações de trânsito possuem funções interdependentes, neste trabalho não poderiam deixar de serem citadas as sinalizações que funcionam de forma colaborativa ao desempenho da sinalização semaforica, como a sinalização vertical e horizontal. As sinalizações a serem ponderadas encontram-se expostas com detalhes no capítulo que segue.

a) Sinalização Horizontal

A sinalização horizontal é composta de marcas, símbolos e legendas, apostos sobre o pavimento da pista. Ela tem a propriedade de transmitir mensagens aos condutores e pedestres possibilitando sua percepção e entendimento, sem a necessidade de desviar a atenção do leito da via de rolamento, além de orientar os usuários das vias a adotarem comportamentos adequados, de modo a aumentar a segurança e fluidez do trânsito, ordenar o fluxo de tráfego e canalizar e orientar os usuários da via (CONTRAN, 2007). Conforme o CONTRAN (2007), as sinalizações horizontais são classificadas de acordo com a sua função, quais sejam:

- Ordenar e canalizar o fluxo de veículos;
- Orientar o fluxo de pedestres;
- Orientar os deslocamentos de veículos em função das condições físicas da via, tais como, geometria, topografia e obstáculos;
- Complementar os sinais verticais de regulamentação, advertência ou indicação, visando enfatizar a mensagem que o sinal transmite;

- Regulamentar os casos previstos no Código de Trânsito Brasileiro (CTB).

b) Sinalização vertical

A sinalização vertical utiliza sinais apostos sobre placas fixadas na posição vertical, ao lado ou suspensas sobre a pista, transmitindo mensagens mediante símbolos e/ou legendas preestabelecidas e legalmente instituídas. Esse tipo de sinalização tem como finalidade fornecer informações que permitam aos usuários das vias adotarem comportamentos adequados, de modo a aumentar a segurança, ordenar os fluxos de tráfego e orientar os usuários da via (CONTRAN 2007, p. 21).

Ainda, segundo o CONTRAN (2007, p. 21), a sinalização vertical é classificada segundo sua função, que pode ser de:

- Regulamentar as obrigações, limitações, proibições ou restrições que governam o uso da via;
- Advertir os condutores sobre condições com potencial risco existentes na via ou nas suas proximidades, tais como escolas e passagens de pedestres;
- Indicar direções, localizações, pontos de interesse turístico ou de serviços e transmitir mensagens educativas, dentre outras, de maneira a ajudar o condutor em seu deslocamento.

c) Sinalização semafórica



Este trabalho foi elaborado em sua totalidade com base no cumprimento das normas do Volume V – Sinalização Semafórica, do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito apresentado pelo CONTRAN (2014), sendo este a principal referência utilizada para a redação deste item da revisão bibliográfica. Com o suporte das orientações do CONTRAN foi possível averiguar algumas determinações, tais como as regras brasileiras de sinalização, realizando-se pequenas adaptações.

A sinalização semafórica é um subsistema da sinalização viária, no qual indicações luminosas que funcionam de modo intermitente ou alternado, comunicando aos usuários sobre o direito de passagem ou possibilidade de situação especial na travessia ou utilização da via pública. Atualmente, estes dispositivos são acionados por energia elétrica e controlados de modo mecânico ou eletrônico e pode

ser dividida em dois grupos, de acordo com sua função, que pode ser: semáforo de advertência ou semáforo de regulamentação.

O semáforo de advertência é instalado em locais onde há necessidade de advertir o condutor do veículo acerca de algum obstáculo ou situação de risco, indicando a necessidade de redução da velocidade e atenção para prosseguir adiante. Este dispositivo é composto de uma ou duas luzes de cor amarela que funcionam de modo intermitente, de acordo com o Figura 1.








Figura 1 – Semáforo de advertência

Tipo do semáforo	Posição vertical	Posição horizontal
Veicular		

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014)

O semáforo de regulamentação tem como finalidade o controle do direito de passagem de um fluxo de veículos e/ou pedestres. Este dispositivo é composto de um conjunto de cores, onde cada cor indica uma mensagem ao condutor e/ou pedestre, de acordo com a legislação do Código de Trânsito Brasileiro (CTB) e será objeto de estudo desse trabalho. O Figura 2 demonstra o significado das cores de sinais semafóricos, que deverão ser em formato circular, definidas pelo DENATRAN.






Figura 2 – Cores e sinais da sinalização semafórica para veículos

Forma	Cor	Sinal	Significado	Ação do usuário da via
Circular	Vermelho		Indica proibição do direito de passagem	Obrigatoriedade do condutor em parar o veículo
	Amarelo		Indica o término do direito de passagem	O condutor deve parar o veículo salvo se for impossível imobilizá-lo em condições de segurança
	Verde		Indica a permissão do direito de passagem	O condutor tem a permissão de iniciar ou prosseguir em marcha
	amarelo (intermitente)		Adverte sobre situação perigosa ou obstáculo	O condutor deve reduzir a velocidade e observar as normas de circulação e conduta
	Amarelo com seta (opcional)		Indica o término do direito de passagem em um semáforo direcional	O condutor deve parar o veículo salvo se for impossível imobilizá-lo em condições de segurança
	Vermelho		Indica o término do direito de passagem de acordo com a direção e sentido da seta apresentada na indicação luminosa	Obrigatoriedade do condutor em parar o veículo de acordo com a indicação luminosa
	Verde		Indica a permissão do direito de passagem de acordo com a direção e sentido da seta apresentada na indicação luminosa	O condutor tem a permissão de iniciar ou prosseguir em marcha, podendo efetuar os movimentos de acordo com a indicação luminosa e observar as normas de circulação e conduta

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014)

Além da sinalização convencional mostrada no Figura 2, que serve tanto para condutores de veículos automotores, quanto para pedestres, os pedestres possuem um grupo de sinalizações semafóricas próprio. A Figura 3 demonstra o significado das cores e sinais semafóricos para pedestres, que deverão ser em formato quadrado, definidas pelo DENATRAN.

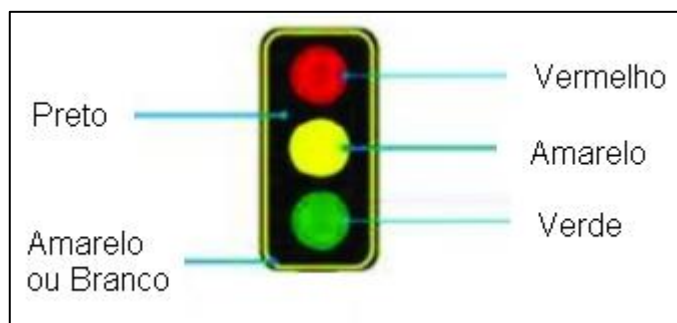
Figura 3 – Cores e sinais da sinalização semafórica para pedestres

Forma	Cor	Sinal	Significado	Ação do usuário da via
Quadrada	Vermelha		Indica para o pedestre a proibição da travessia.	O pedestre não deve iniciar a travessia
	Vermelha (intermitente)		Indica para o pedestre o término do direito de iniciar a travessia. Sua duração deve permitir a conclusão das travessias iniciadas no tempo de verde	O pedestre não deve iniciar a travessia. O pedestre que já iniciou a travessia no tempo de verde deve concluí-la. Atentando para o fato de que os veículos estão prestes a receber indicação luminosa verde
	Verde		Indica para o pedestre a permissão do direito de travessia	O pedestre tem a permissão do ditreito de travessia
	Vermelha		Indica, por meio do símbolo "X", a proibição de circular na faixa sinalizada	O condutor não deve circular pela faixa sinalizada
	Verde		Permite a circulação na faixa indicada pela seta	O condutor tem a permissão de circular pela faixa sinalizada

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014)

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro, a indicação luminosa deve obedecer a seguinte posição correta, conforme a Figura 4.

Figura 4 – posição correta das indicações luminosas



Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014)

Os semáforos podem vir acompanhados por botoeiras, como ilustrado pela Figura 5, que são dispositivos acionados manualmente pelo pedestre para que sua solicitação de travessia seja detectada. Sua programação é feita de forma que o tempo de travessia associado a essa demanda seja implementado pelo controlador de tráfego. Juntamente às botoeiras deve estar instalada sinalização educativa, conforme Figura 6, que indique ao pedestre a necessidade do acionamento para realização da travessia.

Figura 5 – Exemplos de botoeiras



Fonte: CONTRAN (2014, p. 24)

Figura 6 – Exemplo de sinalização educativa para uso da botoeira pelo pedestre




Fonte: CONTRAN (2014, p. 24)

O uso de botoeiras interrompe o fluxo veicular apenas quando solicitado por um pedestre que deseja atravessar. Desse modo, torna-se uma solução conveniente e vantajosa em locais de difícil travessia em que a demanda de pedestres não é contínua e nem elevada, ou seja, onde haja horários específicos de travessia de pedestres. A utilização desse sistema pode se tornar desfavorável em locais em que o fluxo veicular acontece com brechas frequentes ou o acionamento ocorre a curtos intervalos, encorajando o pedestre a atravessar antes de o sinal abrir para ele, resultando no fato que, quando aparece o vermelho para os veículos, não há mais pedestre em vista, levando ao desrespeito do sinal pelos motoristas (AKSHINO,1995).

A sinalização semafórica necessita de sinalização para que funcione em harmonia com outros tipos de sinalização. A sinalização semafórica deve vir acompanhada por Linha de Retenção (LRE) em todas as aproximações da interseção, ou faixa de pedestres implantada em segmento viário localizado em meio de quadra. Em caso da visibilidade do semáforo estar comprometida, será utilizada a placa A-14 - Semáforo à frente, constante no Figura 7, conforme especificado no Volume II do Manual (CONTRAN, 2007a).

Figura 7 – Placa A-14 – indicação de semáforo

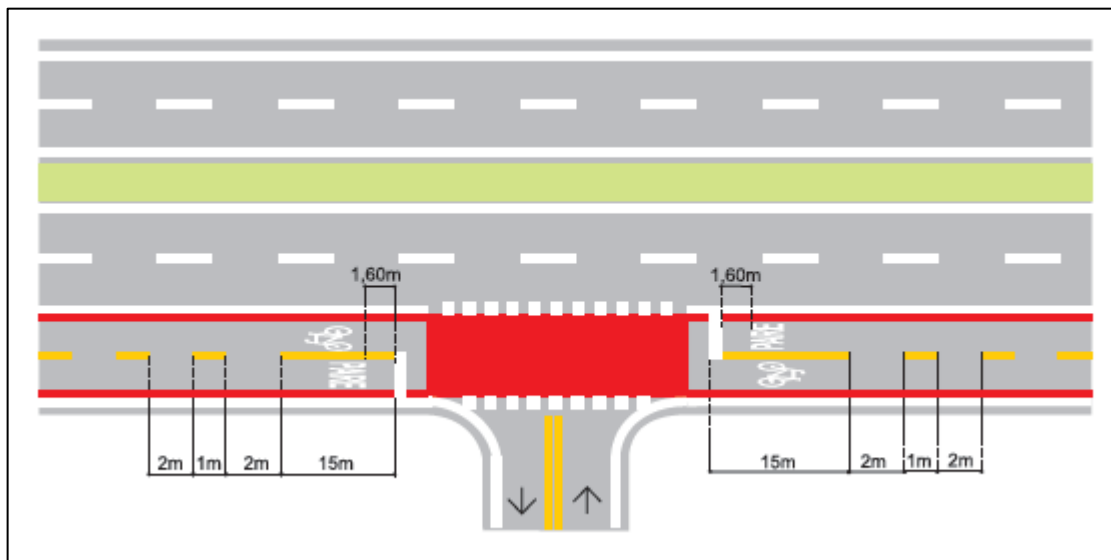
Placa	Significado da placa	Descrição da placa	Tipo de sinalização
	Semáforo à frente	Adverte ao condutor do veículo da existência, adiante, de uma sinalização semafórica de regulamentação.	Advertência

Fonte: Adaptado de Placas de Trânsito (2009)

A sinalização semafórica para pedestres também possui elementos de harmonização. Esta deve vir acompanhada de Faixas de Travessia de Pedestres (CONTRAN, 2007) e em caso de via interceptada por ciclovia ou ciclo faixa em que haja semáforos para os ciclistas deve ser implantada Marcação de Cruzamento

Rodociclovviário (CONTRAN, 2007b). A demonstração de Marcação de Cruzamento Rodociclovviário encontra-se na Figura 8.

Figura 8 – Marcação de ciclovvia

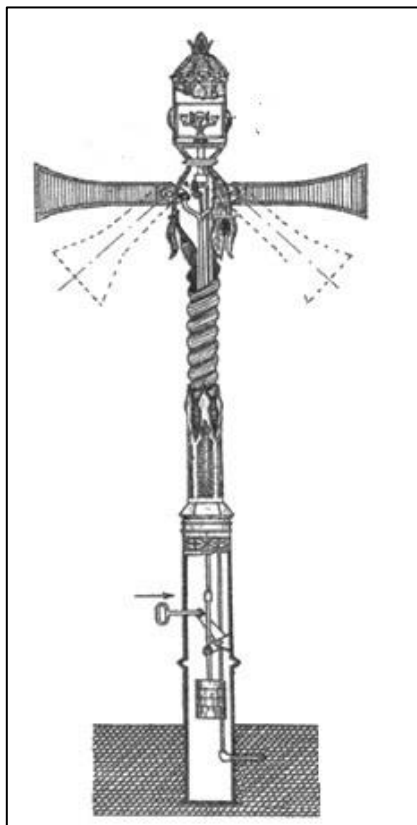


Fonte: Adaptado de Trânsito ideal (2012?)

Assim, o semáforo, um dos elementos mais característicos das ruas de qualquer cidade do mundo, é fundamental para regular o trânsito de veículos e pedestres, regendo os direitos de passagem.

A origem dos semáforos deu-se em Londres e foi implantado em 10 de dezembro de 1868. O primeiro semáforo, apresentado na Figura 9, originou-se do projeto do engenheiro ferroviário John Peake Knight, que observou problemas organizacionais do sistema viário. Os primeiros semáforos possuíam dois braços que bloqueava e desbloqueava a via, o movimento era também sinalizado com uma campainha. No período noturno, uma lâmpada verde e outra vermelha a gás reforçavam o posicionamento dos braços. Os semáforos eram de controle manual, e necessitavam de um policial capacitado para sua operação (KRAUSS, 2014).

Figura 9 – Primeiro semáforo



Fonte: Sinal de Trânsito (2009)

O primeiro semáforo elétrico foi criado, em 1912, por Lester Wire, oficial da polícia de Salt Lake. Era bastante rústico e consistia numa caixa de madeira com uma cobertura. As lâmpadas eram pintadas de verde e vermelhas e sua luz passava através de aberturas circulares feitas na caixa. Em 1913, James Hoge inventou o primeiro semáforo elétrico como hoje é conhecido (Sinal de Trânsito, 2009?).

Em 1920, um policial de Detroit, chamado William Potts, construiu vários semáforos do tipo verde-amarelo-vermelho de quatro faces, que já eram muito semelhantes aos que conhecemos atualmente. O modelo encontra-se exposto no Museu Henry Ford, em Dearborn, Michigan (Sinal de Trânsito, 2009?).

“No Brasil, não se tem dados históricos sobre as primeiras aplicações de semáforos, visto que a sua implantação foi pautada nas experiências de outros países, principalmente na década de 70” (KRAUSS, 2014).

2.2. Elementos da Programação Semafórica

De acordo com Cervantes (2005), o controle semafórico é hoje a tecnologia mais aplicada em redes urbanas, sendo fundamental garantir-se um bom ajuste dos semáforos para que se tenha uma operação viária o mais eficiente possível. Além disso, para realizar a regulação dos semáforos, de modo que os tempos de verde reduzam de forma considerável o tempo de percurso veicular, é necessário ter conhecimento das principais características do trânsito pertencentes às vias, assim como, conceitos, técnicas e expressões que quantificam tais características afim de que se possa proporcionar o bom desempenho do tráfego em termos de fluidez e segurança (LACORT M., KRIPKA, M. e KRIPKA, L., 2013).

No entanto, Azeredo (2014) sugere que determinadas interferências, tais como alguns pontos de ônibus, empreendimentos de porte (prontos ou em construção), obras viárias, grandes eventos, manifestações, manobras de entrada e saída de estacionamentos, etc. prejudicam de tal forma a fluidez nas vias, que nem o melhor programador de semáforos poderá resolver a questão. Além disso, o profissional deve evitar alterações semafóricas “imediatistas” que podem prejudicar usuários que não estão próximos a esses locais problemáticos. Portanto, nem todo trânsito lento é “devido aos semáforos”.

2.2.1 A via

As vias são definidas pelo CTB (2014) como a superfície por onde transitam os veículos, pedestres e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, ilha e canteiro central.

No CTB (2014) encontram-se definidas as vias urbanas de acordo com a sua classificação devido a características técnicas e as condições de trânsito. É indicado ainda as velocidades máximas permitidas de utilização, de acordo com a hierarquia das vias, quando não houver velocidade regulamentada por sinalização vertical, como, por exemplo, as placas de trânsito, sendo:

- **Vias de Trânsito Rápido:** acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível. Velocidade máxima permitida 80 km/h;
- **Vias Arteriais:** interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade. Velocidade máxima permitida 60 km/h;
- **Vias Coletoras:** destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade. Velocidade máxima permitida 40 km/h;
- **Vias Locais:** interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas. Velocidade máxima permitida 30 km/h;

O CONTRAN (2014) destaca que para a programação de semáforos deve-se levar em consideração a capacidade da via, que diz respeito ao número máximo de veículos que pode passar em uma aproximação controlada por sinalização semafórica durante uma hora, considerando operação normal, sendo determinada através da Equação 1:

$$Cap = FS \times \frac{t_{v,efet}}{t_c} \quad \dots(1)$$

Em que:

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

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

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

t_c: tempo de ciclo, em segundos.

O CONTRAN (2014) define aproximação como o trecho de uma pista utilizado pelos veículos que chegam em uma intersecção, semaforizada ou não, ou num semáforo de pedestres de meio de quadra e estipula os valores de fluxo de saturação (*FS*), conforme Quadro 2, de acordo com as características locais e operacionais, pois estas influenciam diretamente no desempenho do trânsito.

Quadro 2 – Valores de Fluxo de Saturação estimados de acordo com as características da via e do trânsito

Valores estimados do Fluxo de Saturação, por faixa de rolamento				
Características físicas	Topografia nas aproximações	Plana ou declive	Plana	Em aclave
	Traçado nas aproximações	Reto	Reto	Curva
	Pavimento	Liso, em bom estado	Condições regulares de conservação	Irregular, em mau estado
	Obstáculos transversais	-	-	Valetas ou sarjetões
	Largura das faixas	Largas (acima de 3,2m)	2,9m a 3,2m	Menores de 2,9m
	Calçadas	Suficientes para acomodar os pedestres com conforto	Suficientes para acomodar os pedestres	Insuficientes para acomodar os pedestres
Características urbanas e ambientais	Uso do solo	Rarefeito ou sem influência sobre a via	Misto	Comercial
	Pólos geradores	Sem influência significativa	Interferência eventual	Causam interferências constantes
	Arborização	Inexistente ou sem influência sobre a via	Relativa influência	Com influência sobre a via
	Mobiliário urbano	Inexistente ou sem influência sobre a via	Relativa influência	Com influência sobre a via

...continua

...continuação

Condições operacionais	Composição do tráfego	Predominância de veículos leves	Presença de ônibus e caminhões	Presença significativa de ônibus e caminhões
	Entrelaçamentos	Poucos	Poucos, mas significativos	Muitos
	Conversões	Poucas	Relativa influência	Muitas
	Estacionamento e paradas na lateral	Inexistentes	Sem influência	Grande influência
FLUXO DE SATURAÇÃO (veículos equivalentes)		1800 a 2000	1600 a 1800	1200 a 1600
Estes valores admitidos devem ser multiplicados pelo número de faixas de rolamento na via.				

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014)

O fluxo de saturação de uma interseção consiste no fluxo que seria obtido se houvesse uma fila de veículos na aproximação e a ela fosse dado 100% de tempo de verde do cruzamento (ou seja, escoamento ininterrupto). O fluxo de saturação é expresso em unidade de veículos por hora de tempo de verde (veículos/htv) (LACORT, M., KRIPKA, M. e KRIPKA, L., 2013).

2.2.2 O Trânsito

LOPES (2010) define trânsito como sendo o deslocamento de pessoas ou coisas (animais ou veículos) pelas vias de circulação. É o trânsito (ou tráfego) crescente que faz necessária a utilização de semáforos para organização local. O planejamento do tráfego urbano deve ser feito baseado em coletas do número de veículos que trafegam em local e horário determinados.

Neto Cucci (2015) informa que é de fundamental importância que o engenheiro de tráfego estabeleça a acurácia necessária nas contagens para subsidiar seu trabalho, pois as contagens veiculares podem ser feitas de diversas formas e com diferentes graus de precisão, porém chutes e palpites não servem

para respaldar decisões técnicas, prever efeitos de uma intervenção, simular soluções ou decidir pela melhor alternativa. Deve-se, também evitar extrapolação de dados obtidos em curtos períodos de tempo.

O Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006 p. 107) sugere que, o método utilizado para a determinação do volume de tráfego seja através de “videoteipe”, procedimento de filmagem com câmaras de vídeo com relógio digital na imagem. O Manual ainda apresenta algumas vantagens desse método:

- Todos os movimentos direcionais que ocorrem simultaneamente, por maiores que sejam, podem ser levantados por um só observador;
- Maior confiança nos levantamentos, pois se podem comprovar os dados;
- Trabalha-se com mais conforto, ao abrigo do tempo;
- Pode-se obter outros dados de interesse.

O método de realização das contagens deve ser feito através de “contagem manual”, prevista no Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006), que consiste em contagens feitas por pesquisadores, com o auxílio de fichas e contadores manuais. Para contagens em vias urbanas é comum adotar um critério de grupamento de veículos com base em características semelhantes de operação (automóveis, ônibus e caminhões).

A ficha da Figura 10 é a mais adequada para trechos com baixo volume de tráfego, e deverá incluir os tipos de veículos previstos no trecho. Prevê-se contagem manual, que poderá ser feita com traços a lápis para cada veículo e totalizada por sentido, para cada intervalo de tempo escolhido.

automóvel, para o qual se adota fator de equivalência = 1,0 ucp (unidade de carro de passeio). Para os demais tipos de veículos, o fator de equivalência de cada um reflete o desempenho de sua circulação no sistema viário em comparação com o desempenho do automóvel.

Na Tabela 1 são apresentados os fatores de equivalência usualmente utilizados, os veículos não previstos nesta, tais como ônibus articulados, carretas e bicicletas, deve ser avaliados em estudos específicos (CONTRAN, 2014).

Tabela 1 – Fatores de equivalência

TIPO	FATOR DE EQUIVALÊNCIA
Automóvel	1.00
Moto	0.33
Ônibus	2.00
Caminhão (2 eixos)	2.00
Caminhão (3 eixos)	3.00

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014, p. 74)

A partir do volume de tráfego equivalente pode ser projetada a taxa de fluxo de um movimento, que é o volume de veículos medido em uma dada seção da via em intervalos inferiores a uma hora projetados para o período de uma hora. O CONTRAN (2014) estabelece que na programação de tempo fixo a taxa de fluxo é projetada com base no volume máximo observado em intervalos de 15 minutos ao longo do período de duração do plano.

Por meio do volume de tráfego equivalente pode-se definir o fluxo de saturação de uma intersecção. Para se entender o Fluxo de saturação, primeiramente precisa-se a compreensão do grau de saturação de um link, que nas palavras de Vila Nova (2005) é relação entre o número de veículos que desejam passar e o número de veículos que pode conseguir passar durante certo período de tempo, definindo link como “representação gráfica, em forma de seta, que mostra a direção e sentido do movimento de veículos que chegam num semáforo” (VILA NOVA 2005, p. 2), ou seja, a representação de um grupo de movimento de veículos. A ideia de Vila Nova é reforçada pelo CONTRAN (2014, p. 81), onde consta que “o

grau de saturação é um indicador que reflete se existe reserva de capacidade para o atendimento do grupo de movimentos, ou se a aproximação correspondente está próxima da saturação”.

Cervantes (2005) declara que há expectativas da parte dos usuários e dos administradores da via quanto ao bom funcionamento da rede viária, que pode ser avaliado pelo fluxo de veículos contínuo ou com o menor número possível de paradas e atrasos, por isso surge a necessidade de controlar o fluxo de veículos para solução dos conflitos. Os atrasos caracterizam o tempo de retardamento que um veículo despende em um semáforo em relação ao tempo que gastaria para percorrer o mesmo trecho em regime de fluxo ininterrupto (CONTRAN, 2014).

Vila Nova (2005) exemplifica que se o grau de saturação de um link é de 100% ($x = 1$), seu tempo de verde é exatamente suficiente para escoar todos os veículos que chegam e nenhum veículo a mais poderia ter sido atendido (se não x teria sido menor do que 1) e nenhum veículo chegou a ficar retido no instante que o verde terminou (se não x teria sido maior do que 1). Vila Nova (2005) exemplifica também que, se o grau de saturação de um link é igual a 50% ($x = 0,5$), isto significa que poderia ter passado o dobro de veículos que efetivamente passaram naquele período de verde.

O grau de saturação em um movimento é a relação entre o número de veículos que chegam a um movimento e o número máximo de veículos que conseguem de fato passar por ele, sendo que quando apresenta valor superior a 1 há formação de filas. O grau de saturação é calculado pela Equação (2).

$$x = \frac{F}{Cap} \quad \dots(2)$$

Em que:

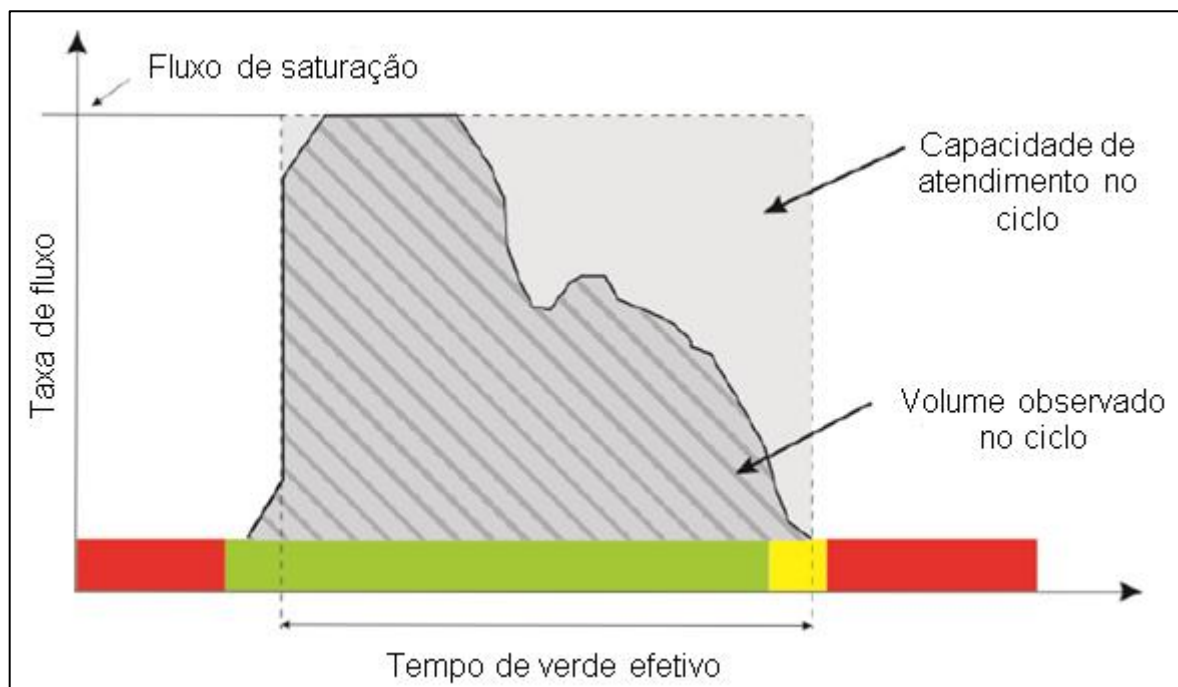
x : grau de saturação;

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.

A figura 11 ilustra o conceito de grau de saturação, mostrando a relação entre o volume que passou (área hachurada) e o máximo volume que pode passar (capacidade de atendimento, área do retângulo) na observação de um ciclo. Quanto maior a relação entre o volume que passou e o que pode passar, mais próxima da saturação está a aproximação no referido ciclo.

Figura 11 – Conceito de grau de saturação



Fonte: CONTRAN (2014 p. 82)

No caso da figura 11, o volume que passou é inferior ao máximo volume que pode passar, denotando um fluxo de saturação menor que 1.

As contagens quantitativas classificatórias da Figura 10 fornecem também a hora de pico da aproximação. As Horas de Pico contendo os maiores volumes de veículos de uma via em um determinado dia variam de local para local, mas tendem a se manter estáveis em um mesmo local para um mesmo dia da semana e de acordo com o Manual de estudos de Tráfego (DNIT, 2006), pode-se utilizar esse dado para estimar o volume da hora de projeto. Isto é feito encontrando-se o Fator Horário de Pico (FHP) que mede a flutuação da demanda por meio de comparação de contagem de quatro períodos de 15 minutos consecutivos, e mostra o grau de

uniformidade do ciclo. Ou seja, FHP é a medida do quanto o volume varia dentro da hora, dado pela equação (3).

$$FHP = \frac{V_{hp}}{4V_{15max}} \quad \dots(3)$$

Onde:

FHP: fator horário de pico;

V_{hp}: volume da hora de pico;

V_{15max} : volume do período de quinze minutos com maior fluxo de tráfego dentro da hora de pico.

O FHP é sempre utilizado no estudo de capacidade das vias, o intervalo adequado é de 15 minutos, pois a adoção de intervalos menores pode resultar em superdimensionamento da via e excesso de capacidade em grande parte do período de pico, já a adoção de intervalos maiores pode resultar em subdimensionamento e períodos substanciais de saturação. O FHP varia, teoricamente, entre 0,25 e 1, sendo que 0,25 denota fluxo totalmente concentrado em um dos períodos de 15 minutos e 1,00 indica fluxo completamente uniforme, encontrando-se os valores mais comuns na área urbana na faixa de 0,8 a 0,98; valores acima de 0,95 são indicativos de grande volume de tráfego. No Manual destaca-se ainda que FHP de 15 minutos multiplicados por 4 para simular o volume horário geram erros consideráveis na estimativa (DNIT, 2006).

Neto Cucci (2015) declara que a Hora de Pico é o período crítico de demanda de uma via, considerado no dimensionamento da capacidade. Ele ainda utiliza a Tabela 2 para exemplificar, através de dados fictícios, o FHP e confirmar a informação do DNIT (2006) sobre a imprecisão que pode ser causada ao utilizar-se o número de veículos horários para o cálculo da demanda.

Tabela 2 – Fator Hora Pico: exemplo de dados levantados em campo

Período de tempo	Volume (veículos)
8h00-8h15	120
8h15-8h30	90
8h30-8h45	110
8h45-9h00	80
Total	400

Fonte: Adaptado de Neto Cucci (2015)

Neto Cucci (2015) utiliza o exemplo para demonstrar a flutuação da demanda, sendo o volume na hora de 400 veículos, sugerindo que, empiricamente, em uma primeira análise, que a oferta viária não superaria valores superiores a 100 veículos a cada 15 minutos. Porém se o projeto usar esse valor para o dimensionamento da capacidade haveria congestionamento no primeiro e no terceiro período de 15 minutos, que estão acima dos 100 veículos. Para superar esse problema, utiliza-se o maior valor entre os períodos de 15 minutos convertendo essa contagem em uma taxa de fluxo equivalente por hora. No caso do exemplo, teríamos 120 veículos X 4 = 480 veículos/hora, que deveria ser o valor utilizado no dimensionamento da capacidade. Ficando O FHP para o exemplo, utilizando-se a equação (3):

$$FHP = \text{vol. total por hora} / \text{taxa de fluxo equivalente por hora}$$

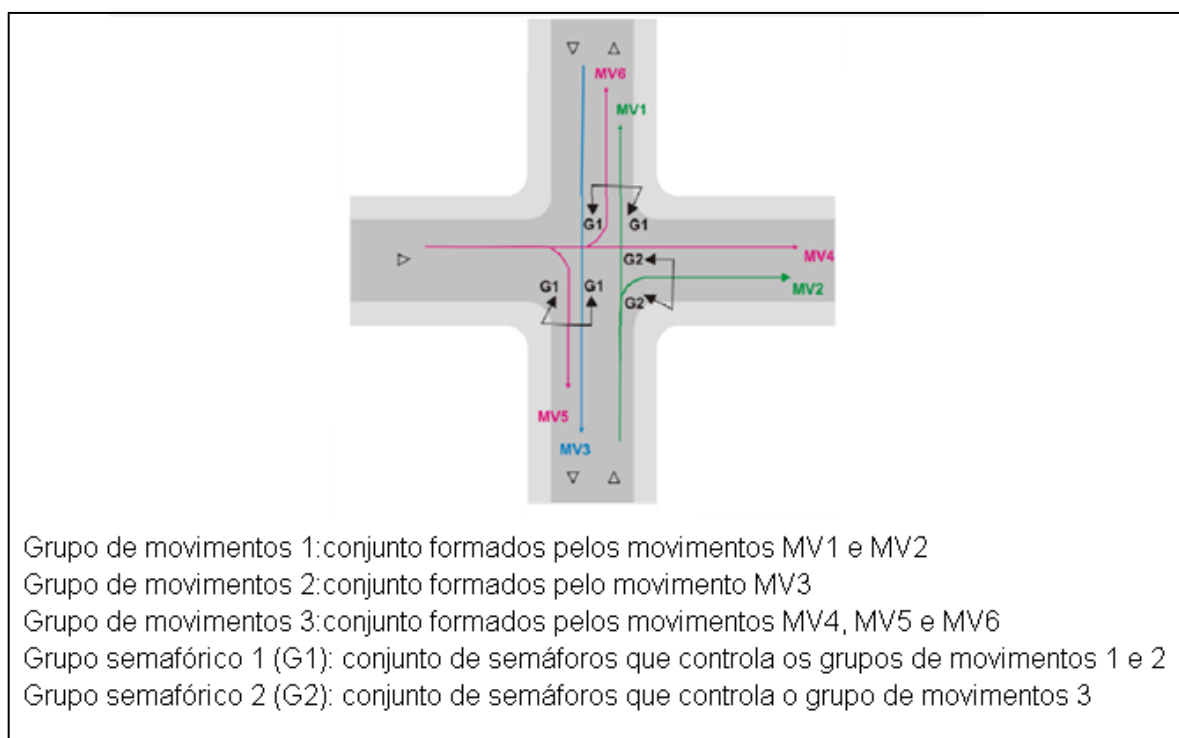
$$FHP = 400/480 = 0,83$$

Neto Cucci (2015) ainda defende que o valor máximo de FHP seria 1,0, que indica um comportamento absolutamente regular do fluxo ao longo da hora, algo pouco provável de ser obtido na prática. Outro fator que deve ser considerado é o tempo de ciclo do semáforo, pois poderá haver uma diferença significativa dependendo do instante do início da contagem e das frações de verde entre duas contagens de 15 minutos, para conter tal divergência Neto Cucci (2015) recomenda que uma contagem seja iniciada junto com a abertura do verde, independente da rua ser principal ou secundária.

2.2.3 Sistema de Movimentos, Grupos Semafóricos e Diagramas de estágio em uma intersecção

Segundo o CONTRAN (2014, p. 62) “movimento é o conjunto de movimentos presentes em uma mesma aproximação que recebem simultaneamente o direito de passagem” e “grupo semafórico é o conjunto de semáforos (grupos focais) com indicações luminosas idênticas que controlam grupos de movimentos que recebem simultaneamente o direito de passagem”. A Figura 12 mostra um exemplo de grupos de movimentos e de grupos semafóricos.

Figura 12 – Grupos semafóricos e grupos de movimentos

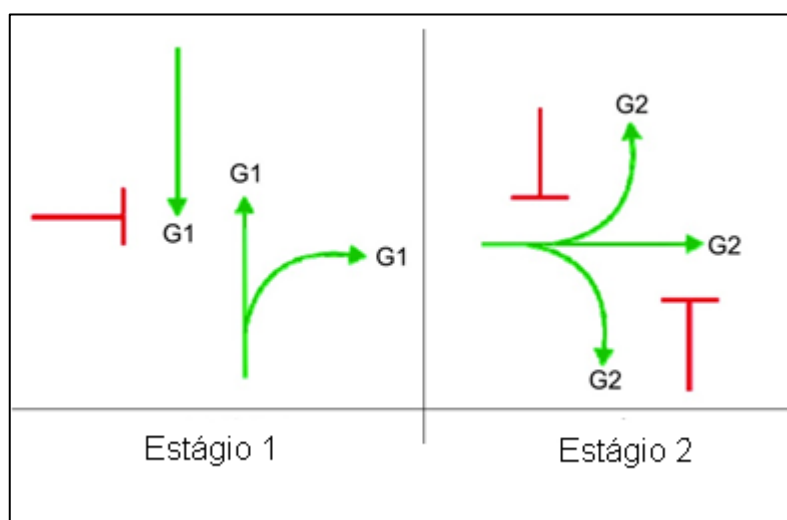


Fonte: CONTRAN (2014 p. 62)

Ejzenberg (2005) define movimento veicular como o fluxo de veículos com mesma origem e destino. Quando não podem ocorrer simultaneamente em um semáforo, os movimentos são chamados de conflitantes e quando podem ocorrer simultaneamente são chamados de não conflitantes.

A representação gráfica da alocação dos movimentos veiculares que podem ser realizados em cada estágio do ciclo é representada pelo diagrama de estágios (CONTRAN, 2014). O movimento de pedestres e/ou ciclistas quando sinalizado por grupos focais específicos deve ser representado no diagrama de estágios. A Figura 13 mostra um exemplo de diagrama de estágios para o controle dos movimentos veiculares apresentados na Figura 12.

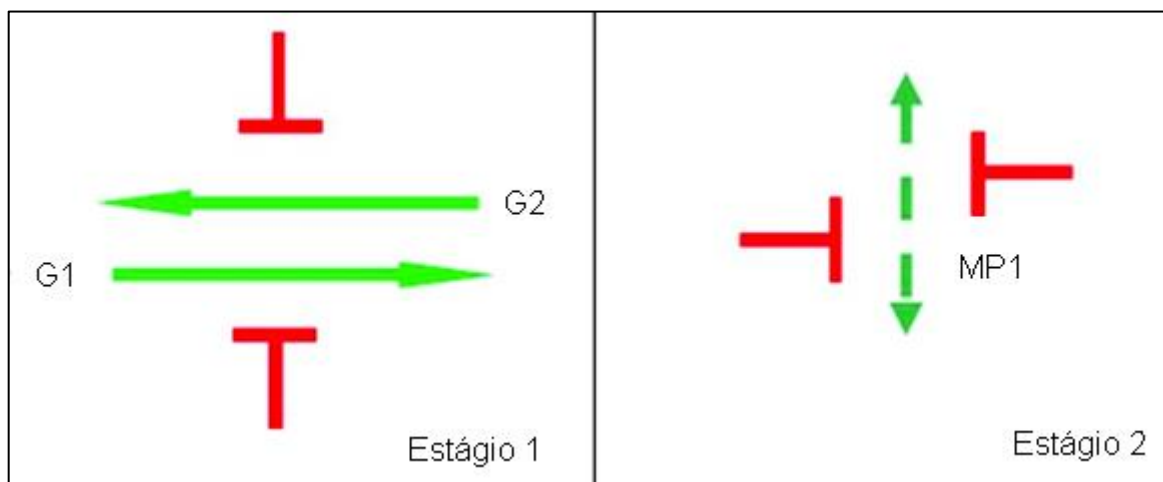
Figura 13 – Diagrama de estágios



Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014)

O diagrama de Estágios mostra os movimentos compatíveis que recebem o direito de passagem simultaneamente, havendo semáforo acionado por pedestre também deverá ser demonstrado. A Figura 14 mostra um exemplo de diagrama de estágio, para movimentos veiculares e de pedestres, sendo que a cor verde indica o direito de passagem, enquanto a cor vermelha indica a obrigatoriedade de quem está na aproximação em parar.

Figura 14 – Diagrama de estágios com estágio de pedestres



Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014)

2.2.4 Tempos da sinalização semafórica

Quando o aumento do volume de tráfego impossibilita gerir o ordenamento e a disciplina do tráfego em cruzamentos através de medidas simples de carácter espacial, baseadas no desenho geométrico ou em regulação das prioridades relativas nas diferentes correntes de tráfego, o recurso à sinalização luminosa aparece como solução eficaz de gestão de tráfego com baixo custo de manutenção e instalação, intervindo não apenas na dimensão espacial considerada nas outras soluções, mas também na dimensão temporal ao promover o avanço dos utilizadores em períodos de tempo distintos e, portanto, racionalizando o uso do espaço do cruzamento e, conseqüentemente diminuindo os pontos e situações de conflito (DA COSTA, SECO, VASCONCELOS, 2005). Neste capítulo encontram-se os tempos das indicações luminosas a serem programados para o melhor funcionamento em uma intersecção.

1) Tempo morto

Tempo morto é a situação transitória entre o término de direlto de passagem de um movimento, onde alguns veículos do movimento que se encerra chegam a passar mesmo depois de findado seu verde, até o início da autorização de passagem dos veículos do movimento seguinte, sendo que os veículos do

movimento seguinte ainda demoram alguns segundos para se colocar em marcha (VILANOVA, 2006). O CONTRAN (2014) estabelece que a iluminação e a chuva são os fatores ambientais de características mais relevantes, e que para efeito da programação semafórica, Tempo Perdido de um ciclo, ou simplesmente Tempo Perdido Total, é a parte do ciclo que não é efetivamente utilizada para passagem dos veículos, calculado através da Equação (4).

$$Tp = tep + \sum_{i=1}^n tpin_i + tpfni \quad \dots(4)$$

Onde:

Tp : tempo perdido total, em segundos;

tep : tempo de estágio exclusivo para pedestres, caso existente, em segundos;

n : número de estágios veiculares existentes;

tpin_i : tempo perdido no início do estágio *i* , em segundos;

tpfni : tempo perdido no final do estágio *i* , em segundos;

O Tempo Perdido de Ciclo caracteriza um atraso inicial e depois dele a taxa que a fila descarrega é constante, até que o semáforo indique amarelo e se inicie a desaceleração.

2) Entreverdes

No Manual V (CONTRAN, 2014) entreverdes encontra-se definido como a parte do estágio programada após o fim do intervalo de verde de um movimento e início do intervalo de verde do próximo movimento. Este intervalo de entreverdes tem o propósito de evitar acidentes entre os usuários que estão perdendo seu direito de passagem e aqueles que vão passar a adquiri-lo no estágio subsequente.

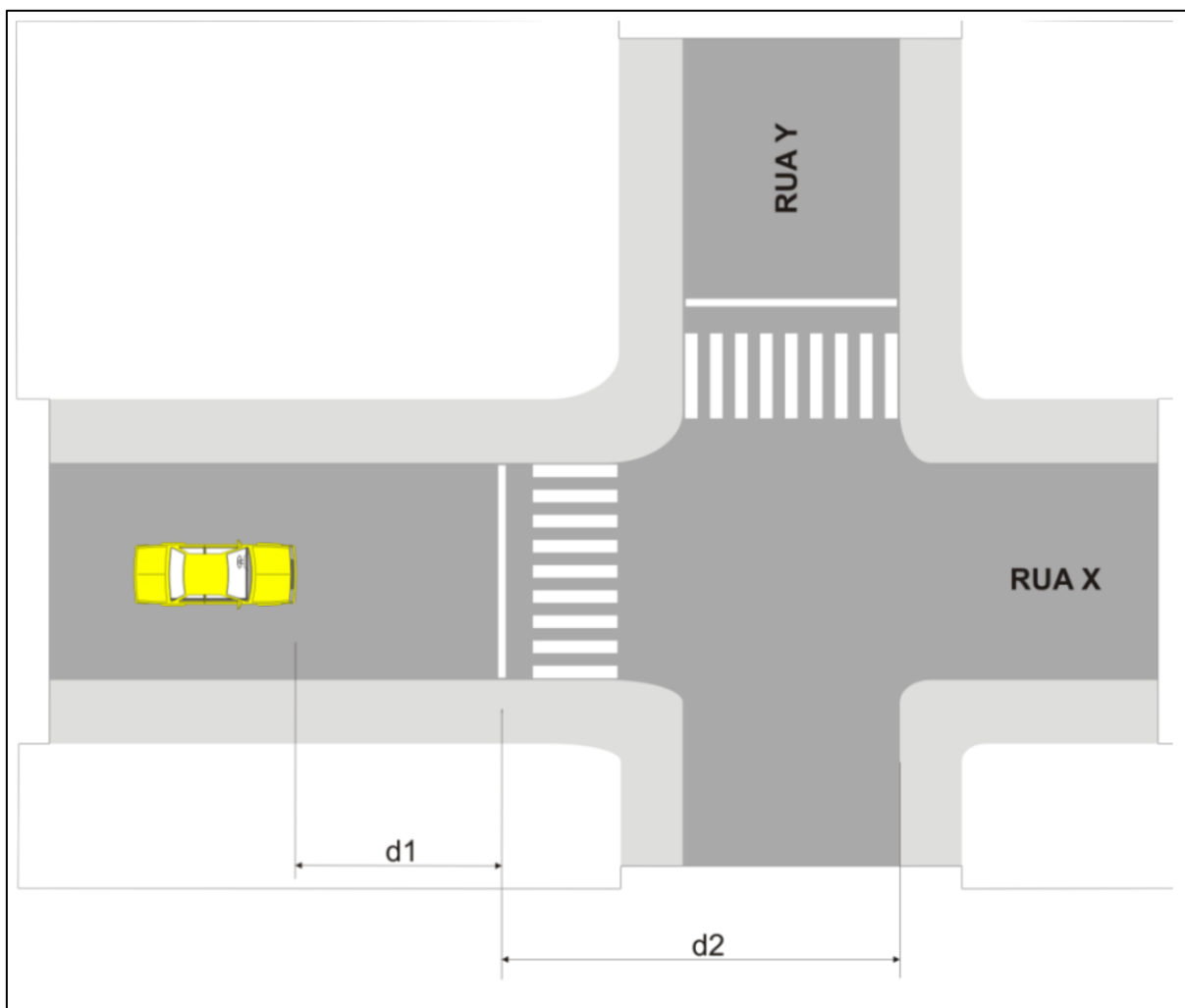
O Manual V (CONTRAN, 2014) menciona ainda que no caso dos grupos focais veiculares, o entreverdes é caracterizado pelo intervalo de amarelo seguido, sempre que possível, do intervalo de vermelho geral. Já para os pedestres o entreverdes consiste no intervalo de vermelho intermitente seguido do intervalo de

vermelho geral. Pelo fato de os veículos não receberem o direito de passagem durante os entreverdes ele é considerado como tempo perdido (T_p).

a) Tempo de entreverdes para os veículos

O entreverdes destinado aos veículos tem como função assegurar a travessia da intersecção por veículos que, ao receberem a indicação amarela, se encontrem a uma distância da linha de retenção insuficiente para parar com segurança. Além disso, o condutor deve não só percorrer a distância até a linha de retenção (d_1), mas também concluir a travessia abandonando a área de conflito (d_2) antes de outros veículos ou os pedestres receberem o direito de passagem, conforme mostrado na Figura 15 (CONTRAN, 2014).

Figura 15 – Distâncias a serem percorridas pelo veículo nas aproximações



O tempo de entreverdes necessário é calculado conforme especificado pelo CONTRAN (2014), através da equação (5), sendo dimensionado para a posição mais desfavorável.

$$t_{ent} = t_a + t_{vg} \quad \dots(5)$$

Em que:

t_{ent} : tempo de entreverdes para o grupo focal de veículos, em segundos;

t_a : tempo de amarelo, em segundos;

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

Sendo o tempo de amarelo relativo à velocidade dos veículos, que diz respeito à classificação da via, de acordo com o item 2.2.1., e é dado pela equação (6).

$$t_{am} = t_{pr} + \frac{v}{2(a_{ad} \pm ig)} \quad \dots(6)$$

Em que:

t_{pr} : tempo de percepção e reação do condutor, em segundos (geralmente usado 1,0 segundo);

v : velocidade do veículo, em m/s;

a_{ad} : máxima taxa de frenagem admissível em via plana, em m/s² (geralmente usado 3,0 m/s²);

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

g : aceleração da gravidade (9,8m/s²).

Enquanto o tempo de vermelho geral, dado pela equação 7, deve ser tal que veículo que cruzou a retenção saia da zona de conflito (d2), sendo dimensionado para o pior caso, ou seja, quando o condutor inicia a travessia do cruzamento no final do amarelo.

$$t_{vg} = \frac{d_2 + c}{v} \quad \dots(7)$$

Em que:

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

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

c : comprimento do veículo, em metros;

v : velocidade do veículo, em m/s.

Ainda segundo o CONTRAN (2014), em lugares onde não apresente condições particulares de topografia ou composição do tráfego os valores usuais para as grandezas envolvidas, são:

$t_{pr} = 1,0$ s;

v = velocidade regulamentada da via, expressa em m/s;

$a_{ad} = 3,0$ m/s²;

$c = 5$ m (onde o fluxo é predominantemente constituído por automóveis).

Além disso, em situações especiais esses valores devem ser levantados diretamente em campo, e, por razões de segurança, em vias com velocidade máxima regulamentada igual ou inferior a 40 km/h, o tempo de amarelo não deve ser inferior a 3s, já nas vias com velocidade máxima regulamentada entre 50 e 60 km/h, o tempo de amarelo não deve ser inferior a 4 segundos, independentemente do valor do vermelho geral. O tempo de amarelo não deve superar 5 segundos, independente da velocidade máxima da via, caso o valor de cálculo seja maior que 5s, a diferença deve ser adotada na forma de vermelho geral.

b) Tempo de entreverdes para os pedestres

O tempo de entreverdes para o pedestre é composto basicamente pelos intervalos de vermelho intermitente e de vermelho geral. O primeiro deve ser suficiente para que o pedestre que iniciou sua travessia no final intervalo de verde

possa concluí-la com segurança em ritmo normal de caminhada, o segundo deve ter duração de pelo menos 1 segundo (CONTRAN, 2014).

A Equação (6) calcula o tempo do intervalo de vermelho intermitente necessário para atender o pedestre que estiver na posição mais desfavorável no instante em que seu intervalo verde é encerrado.

$$t_{ent} = t_{pr} + \frac{l}{v_p} \quad \dots(6)$$

Em que:

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

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

l : extensão da travessia, em metros;

v_p : velocidade do pedestre, em m/s.

Segundo o CONTRAN (2014), os valores usuais para as grandezas envolvidas, são:

- Tempo de percepção e reação do pedestre igual a 1,0 s e a sua velocidade igual a 1,2 m/s.

E em situações específicas, em que o local é utilizado sistematicamente por pedestres com mobilidade reduzida ou quando, devido às características do local, são verificados deslocamentos mais lentos, estes valores devem ser substituídos por outros levantados diretamente em campo.

c) Tempo de entreverdes de segurança

O CONTRAN (2014) recomenda que, além de ao tempo de entreverdes aplicar-se a garantia da realização da travessia, deve-se também determiná-lo de modo que atenda o chamado tempo de verde de segurança, correspondente ao valor mínimo admissível para atender cada grupo de movimentos. Encontra-se

especificado no Manual V (CONTRAN, 2014) recomendações quanto ao entreverdes de segurança tanto para os pedestres como para os veículos.

O tempo de verde de segurança para os veículos é dimensionado de acordo com a hierarquia da via, volume de veículos, largura da transversal, da composição do tráfego e da presença de pedestres. Especialmente nesse último caso, o tempo de verde de segurança para os veículos é função da travessia dos pedestres e deverá ter a duração necessária de modo a garanti-la, havendo ou não grupo focal para pedestres e nunca apresentar tempo inferior a 10 segundos. Já o tempo de verde de segurança para grupos focais de pedestres é função do volume de pedestres e tem o valor mínimo recomendado de 4 segundos.

3) Tempo de ciclo

No Manual V do CONTRAN (2014) o conceito de ciclo consta como a sequência completa das indicações de uma sinalização semafórica em uma interseção, equivalente a soma dos tempos de todos os estágios programados para o controle do tráfego no local. Esse valor deve, sempre que possível, não ultrapassar 120s (cento e vinte segundos), salvo situações excepcionais, pois tempos maiores que isso geram esperas excessivas.

O tempo de ciclo mínimo não é aplicável na prática, pelo fato que esse modelo não considera tempos de folga, que poderiam compensar as naturais aleatoriedades do trânsito. O tempo mínimo de ciclo necessário para o volume do grupo de faixas e os estágios de uma interseção é dado pela equação (8).

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

Onde:

tc : tempo de ciclo, em segundos;

xm : grau de saturação;

Tp : tempo perdido total, em segundos;

n : número de estágios;

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

A taxa de ocupação de um grupo de movimentos é dada pela Equação 9 definida pelo CONTRAN (2014), que estabelece a relação entre a taxa de fluxo e o fluxo de saturação.

$$y = \frac{F}{FS} \quad \dots(9)$$

Em que:

y : taxa de ocupação;

F : taxa de fluxo do grupo de movimentos, em veículos por hora, ou ucp por hora;

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

Aquino (2017) observa que a equação 8 nos dá o tempo mínimo necessário para a interseção operar em um grau de saturação específico, não necessariamente este tempo de ciclo minimizará a espera dos motoristas na interseção.

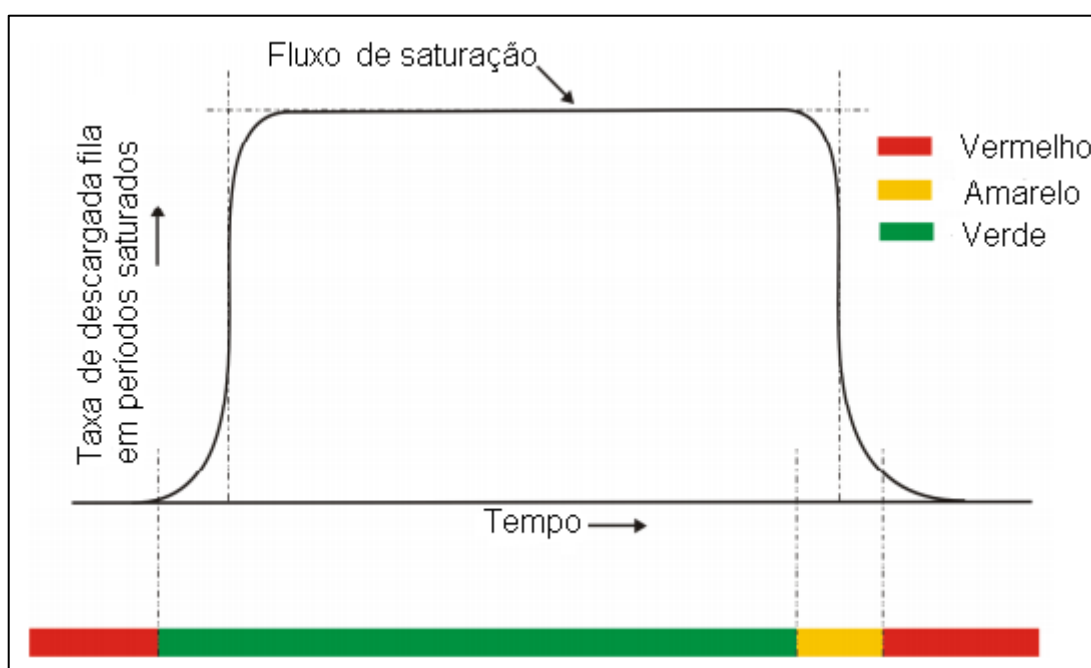
Há dois métodos principais para o dimensionamento de planos semaforicos: O método de Webster e o Método do Grau de Saturação Máximo. Esses métodos têm como essência o desenvolvimento e dissipação de filas, cabendo a escolha do método a ser empregado ao projetista de acordo principalmente com a disponibilidade de ferramentas tecnológicas e viabilidade econômica. Como já mencionado no presente trabalho, no Brasil, os métodos matemáticos ainda são muito utilizados, por motivos já indicados, os principais métodos encontram-se citados no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (CONTRAN, 2014), que são: Método de Webster e Método do Grau de Saturação Máximo.

- **Método de Webster**

O Método de Webster calcula o tempo de ciclo ótimo de forma que o tempo de espera veicular seja mínimo, esse método não é recomendável no caso de intersecções com alto grau de saturação, pois pressupões chegadas aleatórias de veículos nas aproximações (CONTRAN, 2014). O modelo base foi desenvolvido por

Webster através de simulações em computador de uma aproximação em intersecção controlada por semáforo de tempo fixo, considerando-se praticamente todas as combinações possíveis entre tempos de verde, tempos de ciclo, fluxo de tráfego e fluxo de saturação. Webster adotou uma interpretação clássica do comportamento de desmanche de filas quando da abertura do verde (LUNA, 2003). Na figura 16 encontra-se reproduzido o modelo de dissipação de filas adotado por Webster.

Figura 16 – Modelo de comportamento do tráfego, por Webster.



Fonte: Luna (2003, p. 13)

A figura 16 mostra que, segundo o Modelo de Webster, quando o período de verde se inicia os veículos levam algum tempo para iniciar seu deslocamento e acelerar até a sua velocidade normal de viagem, mas depois de alguns segundos, a fila descarrega a uma taxa de veículos mais ou menos constante, chamada de fluxo de saturação (LUNA, 2003). A equação 10 é utilizada para calcular tempo de ciclo ótimo pelo método Webster.

$$t_{co} = \frac{1,5T_p + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i} \quad \dots(10)$$

Onde:

t_{co} : tempo de ciclo ótimo (s);

T_p : tempo perdido total (s);

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

n : número de estágios.

• Método do Grau de Saturação Máximo

O método do Grau de Saturação Máximo “é baseado no grau de saturação máximo definido pelo projetista para cada grupo de movimentos no período dos 15 minutos de volume máximo” (CONTRAN, 2014, p. 82). Sua concepção básica consiste em escolher, inicialmente, qual é o grau de saturação desejado para cada um dos links que são controlados pelo semáforo e calcular quais são os tempos de ciclo e de verde baseados no grau de saturação fixado (VILA NOVA, 2005).

A fração de verde necessária para cada estágio é encontrada por meio da equação 11, especificada pelo CONTRAN (2014).

$$p_i = \frac{y_i}{x_{mi}} \quad \dots(11)$$

Em que:

p_i : fração de verde requerida para o estágio i ;

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

x_{mi} : grau de saturação máximo definido para o grupo de movimentos crítico do estágio i .

A partir do cálculo da fração de verde para cada estágio, o tempo de ciclo é calculado por meio da Equação 12, através de método especificado pelo CONTRAN (2014).

$$tc = \frac{T_p}{1 - \sum_{i=1}^n p_i} \quad \dots(12)$$

Em que:

tc : tempo de ciclo, em segundos;

T_p : tempo perdido total, em segundos;

p_i : fração de verde requerida para o estágio i ;

n : número de estágios.

Nos casos em que se desejar adotar o mesmo grau de saturação x_m para os grupos de movimentos críticos de todos os estágios, a determinação do tempo de ciclo é feita por meio da equação 13, que é um caso particular da equação 12.

$$t_c = \frac{x_m T_p}{x_m - \sum_{i=1}^n y_i} \quad \dots(13)$$

Em que:

t_c : tempo de ciclo, em segundos;

T_p : tempo perdido total, em segundos;

x_m : 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;

Vila Nova (2005) discorre sobre o Método do Grau de Saturação Máximo para semáforos que operam interdependentemente de outros semáforos vizinhos, defendendo que, sobre os Graus de Saturação:

- Valores menores que 0,8 conduzem a situações de excessivo tempo de verde ocioso;
- Valores maiores que $x=0,93$ são bastante perigosos, pois a capacidade de reserva do cruzamento é insuficiente para absorver tanto as flutuações sazonais de demanda, como a ocorrência de restrições provocadas por eventuais incidentes que reduzem momentaneamente o fluxo de saturação;
- É indicado que se opere numa faixa de 80% a 90% ($0,80 \leq x \leq 0,90$), pois nesta faixa obtêm-se os menores valores para o atraso geral do semáforo, conduzindo a tempos de ciclo adequados.

Vila Nova (2005) recomenda ainda, quando não houver fatores especiais, a adoção de $x=0,88$ para todos os links críticos.

O método do grau de saturação traz a vantagem de estabelecer uma relação palpável entre a teoria e os resultados práticos de sua aplicação, pois o técnico consegue visualizar na prática os resultados do grau de saturação escolhido. Isso permite aprimorar o processo de escolha em uma aplicação futura, já que se tem o conhecimento prévio de que o melhor grau de saturação deve se situar em uma faixa de valores relativamente estreita (VILA NOVA, 2005).

Vila Nova (2005,) ainda defende que nos casos em que haja saturação muito elevada pode se tornar impossível adotar o valor resultante, pois levaria a tempos de ciclo impraticavelmente altos, devendo então, o técnico responsável fixar o tempo de ciclo adotado como tempo de ciclo máximo e os graus de saturação dos links críticos serão consequência de tal imposição. Outro caso particular ocorre em situações onde a taxa de ocupação de um movimento crítico é muito inferior às dos outros, podendo o tempo de verde do movimento mais fraco resultar num valor menor do que o correspondente verde de segurança (VILA NOVA, 2005).

Além disso, métodos aparentemente mais objetivos, que tomam por base a otimização de algum indicador, apresentam a pressuposição de que o perfil do trânsito apresenta uma distribuição aleatória, premissa que não se verifica na maior parte dos casos na malha viária de características urbanas. Um ponto interessante é que o coeficiente de segurança de uma via pode ser aumentado, diminuindo-se o grau de saturação, o que é útil quando se trata de uma via que sofre oscilações imprevisíveis em termos de demanda (VILA NOVA, 2005).

4) Tempo de verde real e tempo de verde efetivo

No Manual V (CONTRAN 2014), tempo de verde efetivo encontra-se designado como o tempo de verde do estágio que seria efetivamente utilizado pelo fluxo do grupo de movimentos crítico, se este fosse descarregado com valor igual ao fluxo de saturação (operação saturada), enquanto o verde real seria a duração do período em que o respectivo grupo focal permanece em verde, durante um ciclo. Para ciclo determinado pelo método do Grau de Saturação Máximo, o tempo de verde efetivo deve ser calculado de acordo com a equação 14.

$$t_{v,ef,i} = p_i * t_c \quad \dots(14)$$

Em que:

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

p_i : fração de verde requerida para o estágio i;

t_c : tempo de ciclo, em segundos.

A Equação 15 relaciona o tempo de verde real ao tempo de verde efetivo.

$$t_{v,real} = t_{v,ef} - t_{ent} + t_{pin} + t_{pfn} \quad \dots(15)$$

Em que:

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

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

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

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

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

O CONTRAN (2014, p.85), no Manual V, indica que no caso de estágio de pedestres, o tempo de verde efetivo é igual ao tempo de verde real. Além disso, o valor mínimo do tempo de verde para este estágio deve ser igual a quatro segundos, sendo o valor recomendado igual a sete segundos, porém características específicas da travessia ou do fluxo de pedestres podem determinar a adoção de valores superiores a sete segundos para o tempo de verde. O tempo de verde do grupo focal do pedestre será igual ao tempo do estágio veicular subtraído do tempo de vermelho intermitente (acrescido ou não de um tempo de vermelho geral), que deve ser igual ao tempo necessário para a travessia, sempre se obedecendo os valores mínimos.

No caso de tempo de verde calculado pelo método de Webster utiliza-se a equação 16.

$$t_{v,efet,i} = (t_c - T_p) \frac{y_i}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad \dots(16)$$

Em que:

$t_{v,efet,i}$: tempo de verde efetivo i (s);

t_c : tempo de ciclo (s);

T_p : tempo perdido total (s);

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

n : número de estágios.

2.3 Sincronismo entre Semáforos, o Fenômeno de “Onda Verde”

“Onda verde” é o nome dado quando a coordenação semafórica visa a progressão contínua da corrente de tráfego em trecho contendo várias interseções ao longo de um itinerário, em via de sentido único ou duplo de circulação (CONTRAN, 2014). Azeredo (2014) disse que sincronização de semáforos, também conhecida como “onda verde” proporciona que os veículos passem por uma boa sequência de semáforos no sinal verde ao longo de uma via.

Azeredo (2014) afirma ainda que na prática, os sincronismos entre semáforos se torna uma questão complexa devido à quantidade de variáveis envolvidas, pois há necessidade de uma grande quantidade de condições ocorrerem simultaneamente para que aconteça; uma só não conformidade pode ser suficiente para falta de sincronismo entre semáforos próximos, gerando uma “onda vermelha”.

Joner (2013) complementa definindo a sincronização de semáforos como o conjunto de valores medidos pelo tempo entre o centro do vermelho de um semáforo 1 até o próximo centro de vermelho de um semáforo 2, que é a fase relativa entre os semáforos 1 e 2. A fase relativa pode ser utilizada de modo que permita que o fluxo de pedestres e veículos ocorra mais suavemente.

O controle dos semáforos de maneira coordenada é feito através do ajuste adequado das defasagens entre os cruzamentos. Para isso é necessário que seja adotado um valor de ciclo comum a todas as interseções do sistema, assim os instantes relativos ao início dos estágios serão constantes ao longo do tempo, o que determina que os valores calculados de defasagem também sejam. Isso implica que o sistema operará com planos de tráfego de tempo fixo (QUEDNAU, 2008).

Lopes (2010 p. 10) define defasagem como sendo “a diferença de tempo entre o início da fase verde do cruzamento a montante e o início da fase verde do cruzamento a jusante.” Lopes (2010) ainda defende que sinais de trânsito coordenados operam de maneira que as fases dos sinais estejam sincronizadas para que, em condições de tráfego livre, os veículos atravessem os cruzamentos sem que sejam parados.

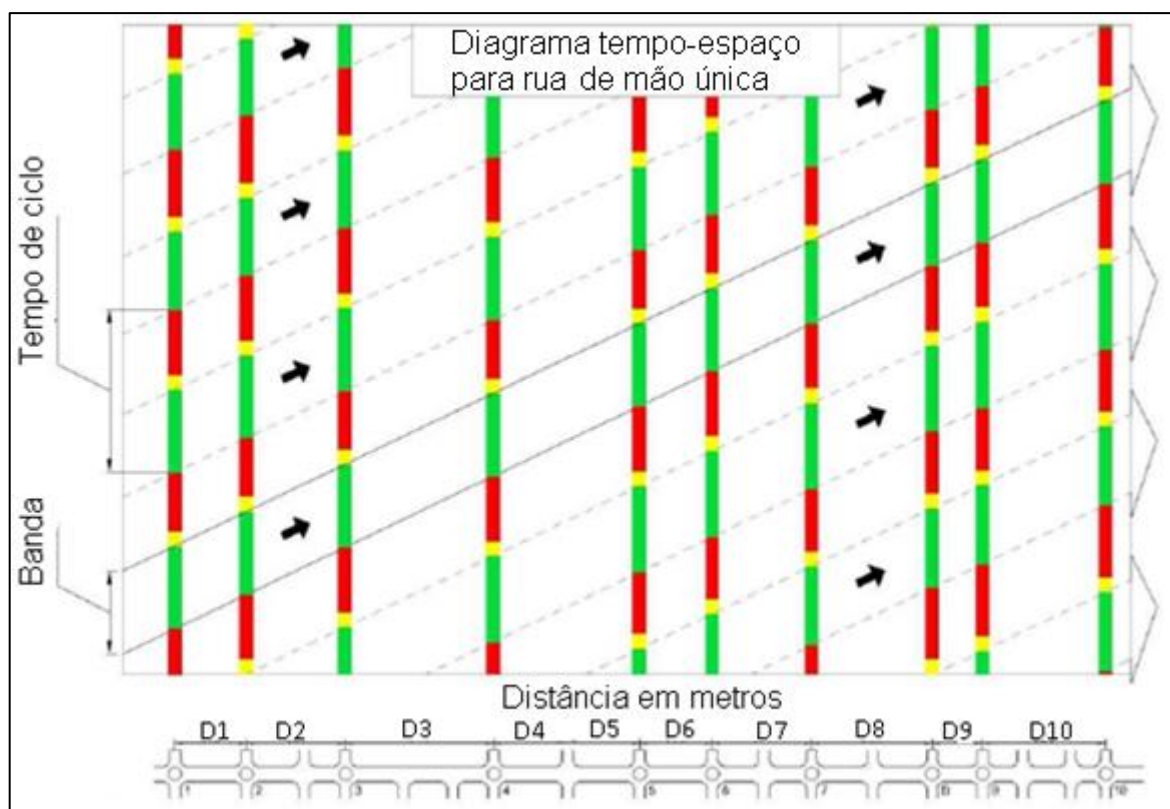
Bezerra (2007, p. 73) afirma que “a antecipação dos verdes proporciona os benefícios da onda verde também para os veículos que estavam parados nos semáforos intermediários”. O autor menciona ainda que há diferentes formas de coordenação, destacando os citados a seguir, e atenta para o fato que o sucesso do sistema de onda verde depende de sinalização indicativa de velocidade a ser mantida para que os usuários possam se beneficiar do sistema.

- **Sistema Progressivo:** sistema de coordenação em que os verdes vão aparecendo à medida que o pelotão de veículos avança; apresenta grande eficiência quando o fluxo de veículos não é grande.
- **Sistema Simultâneo:** quando, devido ao elevado número de veículos as filas residuais nos semáforos aumentam, obrigando o emprego de maiores valores dos intervalos de antecipação dos inícios de verdes, até o caso em que todos os períodos de verdes devem se iniciar no mesmo instante.
- **Sistema Reverso:** primeiro é aberto o último semáforo, para esvaziar a última quadra, depois do anterior e assim por diante para poder dar fluxo à via. Necessário em caso de tráfego congestionado. Este sistema pode ser chamado de onda vermelha, pois seu conceito de eficiência é alterado, o objetivo não é fazer com que os veículos passem sem parar nos próximos semáforos, mas sim que o tráfego possa fluir.

O CONTRAN (2014) sugere para implantação de onda verde, o método da determinação da defasagem por meio de diagrama espaço-tempo, baseado em representação gráfica simplificada do deslocamento dos veículos, quando o principal propósito da coordenação semaforica é promover a progressão do tráfego ao longo

de uma via. Neste método a viabilidade de um cenário onde haja consonância entre as indicações luminosas de uma intersecção em relação às subseqüentes é simulada através do ajuste adequado das defasagens entre os cruzamentos, através de representação em escala adequada de todas as intersecções controladas por sinalização semafórica ao longo do seu eixo horizontal. No eixo vertical é representado, para cada intersecção, o tempo de ciclo e os respectivos tempos de verde, amarelo e vermelho. Na Figura 17 encontra-se o exemplo utilizado pelo CONTRAN (2014) para demonstração de diagrama espaço-tempo referente a uma via de sentido único de circulação (mão única).

Figura 17 - Exemplo de diagrama espaço-tempo para uma via de mão única



Fonte: CONTRAN (2014, p. 189)

3 METODOLOGIA:

Neste capítulo será abordada a metodologia utilizada para realização de observação de campo e a apresentação dos cruzamentos investigados. Este estudo tem como finalidade propor possíveis melhorias de operação, através de modificações da geometria local, sinalizações verticais ou horizontais, da comparação dos valores de tempo da atual operação dos semáforos, posicionados nestes cruzamentos, em relação a valores teóricos ideais calculados.

3.1. Local de Estudo

Os cruzamentos estudados situam-se na região urbana central da cidade de Alegrete, mostrada na Figura 18, na Fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul (RS), latitude: $-29,7^{\circ}$ sul, longitude: $-55,7^{\circ}$ oeste, com área da unidade territorial de 7.800Km^2 . Sendo a população estimada no município em 2017 de 78.000 hab. (IBGE, 2017), a frota de veículos de 35.660 veículos (DETRAN, 2017), segundo informações constantes na Tabela 3, apresentando em 2017 a relação entre população e frota de veículos de 2,19 hab./veic..

Figura 18 – Localização da cidade de Alegrete/RS



Fonte: PMA (2017)

Tabela 3 – Frota em circulação no município de Alegrete/RS em número de veículos ao ano

Ano	nº de veículos
2007	21,005
2008	22,417
2009	23,682
2010	25,323
2011	27,122
2012	28,979
2013	30,669
2014	32,232
2015	33,804
2016	34,929
2017	35,660

Fonte: adaptado do DETRAN (2017)

A figura 19 mostra a relação do número de habitantes por veículo na cidade de Alegrete em relação à média nacional até o ano de 2013, ficando em 2,6 hab./veíc. (Deepak, 2013).

Figura 19 – Série histórica – número de habitantes por veículo em Alegrete/RS

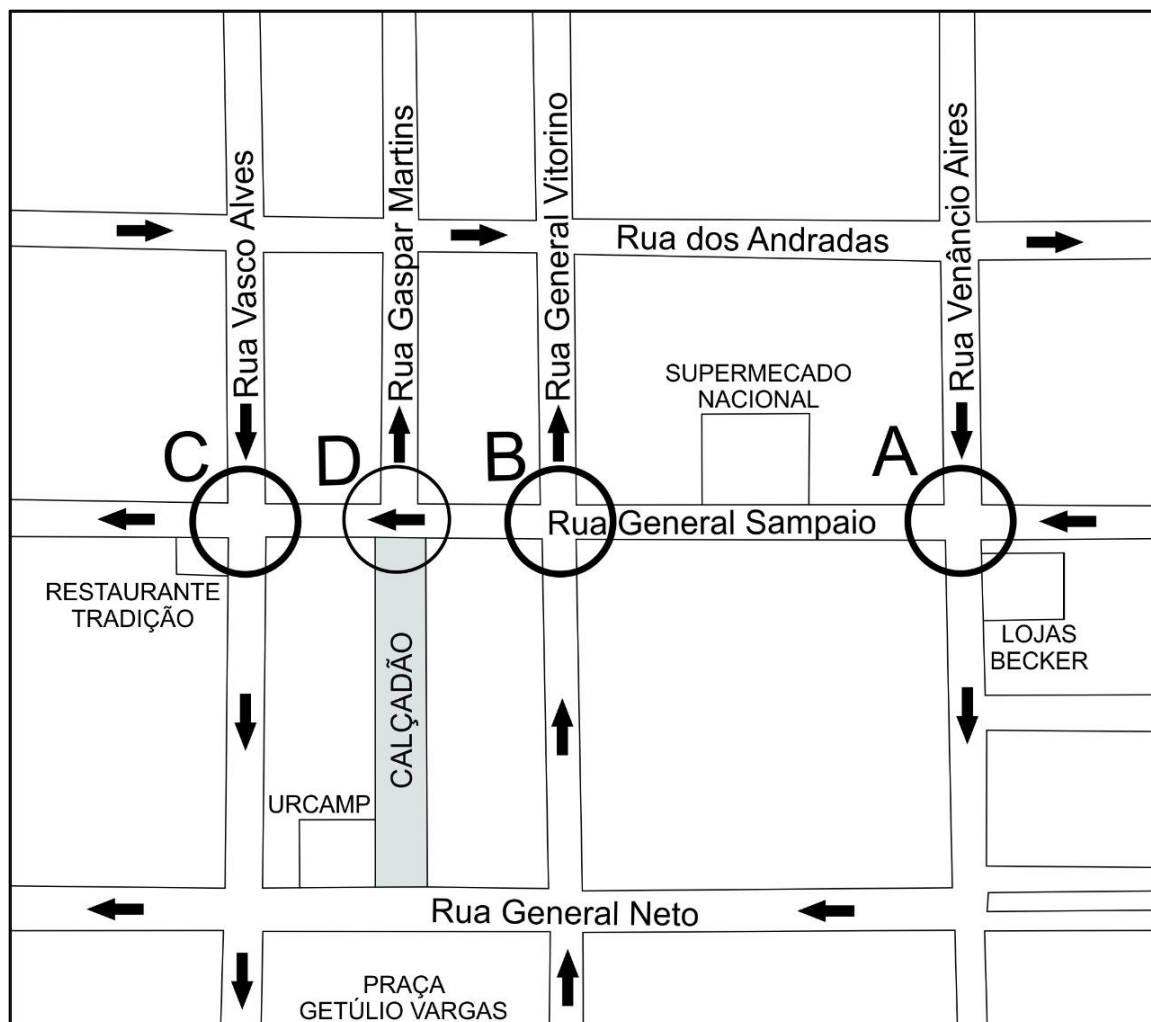


Fonte: Deepask (2013)

Os cruzamentos investigados quanto à situação semaforizada encontram-se destacados na Figura 20, onde os encontros da Rua General Sampaio com as Ruas Venâncio Aires, General Vitorino e Vasco Alves estão identificados pelas letras A, B e C respectivamente. A via onde se situam esses cruzamentos (Rua General Sampaio) representa uma das principais ligações de acesso da região central, onde há um número elevado de estabelecimentos comerciais e escolares, com a região oeste da cidade, predominantemente residencial, além de ser também a ligação

principal entre a zona norte (onde se situa o único hospital da cidade) e a zona central.

Figura 20 – Localização dos cruzamentos



Fonte: Adaptado do Google Maps (2017)

Além dos cruzamentos, a Figura 20 identifica o semáforo de pedestres D estabelecido na esquina da Rua General Sampaio com a Rua Gaspar Martins, onde parte da Rua Gaspar Martins encontra-se bloqueada permanentemente pela existência de um calçadão e, portanto há grande fluxo de pedestres passantes. As vias que compõem os objetos de estudo do presente trabalho são todas classificadas como coletoras e a velocidade máxima de tráfego adotada é de 40km/h.

3.2. Levantamento de dados em campo

Encontram-se reunidos neste item as etapas que foram realizadas para levantar os dados utilizados no cálculo da reprogramação dos semáforos já instalados e operantes nas interseções da Rua General Sampaio, para tempos de ciclos ideais. Os passos se deram através do esboço de croquis dos locais e dos movimentos veiculares permitidos em cada grupo semaforico pesquisados nas aproximações e caracterização das medições de distâncias percorridas nas travessias, além da utilização de tabelas de contagem manual do volume de veículos mostrada na Figura 10, transformados posteriormente em valores de projeto aplicados no cálculo da nova programação, utilizando-se o Método de Webster.

3.2.1. Características das intersecções

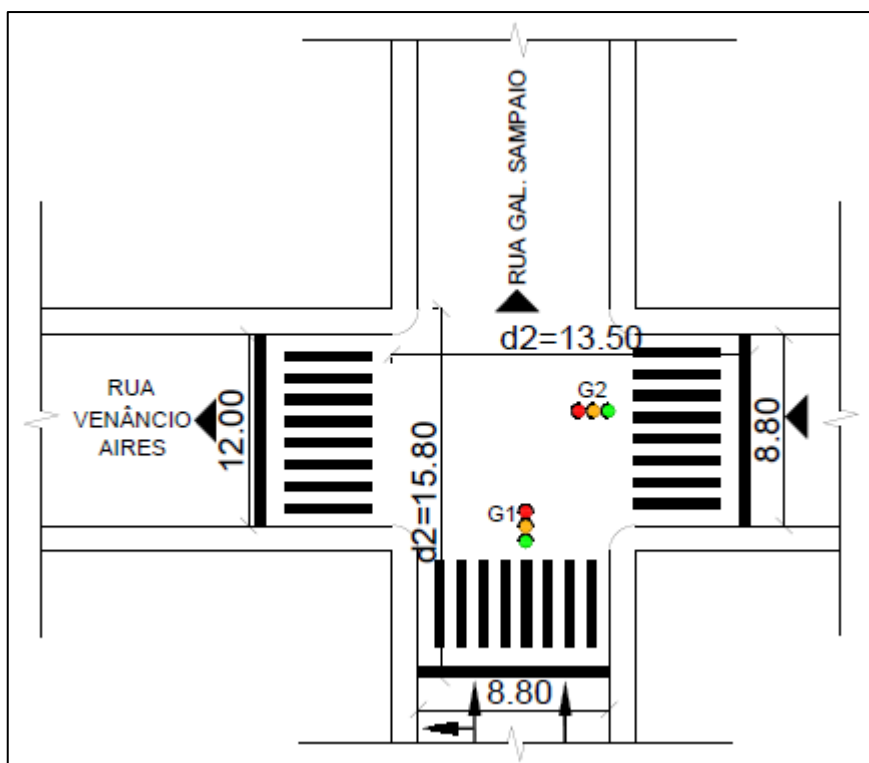
Efetuando-se a análise presencial do local, foi possível determinar a geometria da intersecção. As larguras das travessias de pedestres e as distâncias d_2 de cada aproximação foram medidas com o auxílio de fita métrica de acordo com orientação do CONTRAN (2014), conforme exemplificado na Figura 15. A primeira determina a distância percorrida pelos pedestres, que serve de parâmetro para o tempo de verde mínimo, em conformidade com o item 2.2.4 2) c), e as outras duas foram utilizadas como parâmetro para a determinação do direito de passagem de um grupo em relação a outros.

Foi determinada também, através de medições, a inclinação nas aproximações, e através da observação em campo, os movimentos nelas permitidos, além da quantidade de aproximações em cada intersecção. Efetuou-se a medição do tempo de ciclo e tempos de cada indicação luminosa atualmente em vigor nas aproximações, com o uso de cronômetro digital.

Esses dados foram então reunidos em tabelas, diagramas de estágios e perspectiva em planta do local estudado. Os croquis dos cruzamentos A, B e C encontram-se nas Figuras 21, 23 e 25, seguidos de seus respectivos grupos semaforicos e movimentos veiculares representados nas Figuras 22, 24 e 26. As tabelas serviram de resumo dos dados, enquanto o mapeamento da área serviu de auxílio visual da expressão dos dados colhidos, pois contém informações a respeito

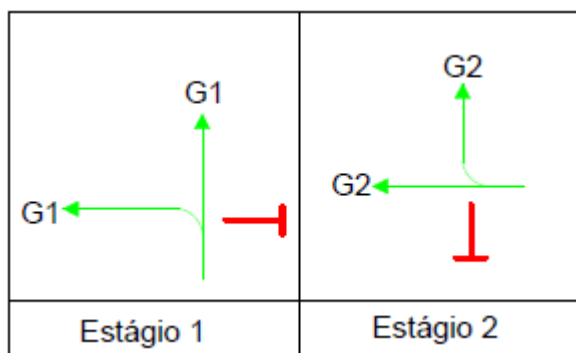
da geometria da via como a travessia de pedestres, a distância percorrida pelos veículos entre os cruzamentos e sobre algumas sinalizações que colaboram com a sinalização semafórica local como ocorrência de faixa de pedestres, número de faixas de rolamento, faixas de uso exclusivo, etc.

Figura 21 – Croqui representativo intersecção A (dimensões em metros)



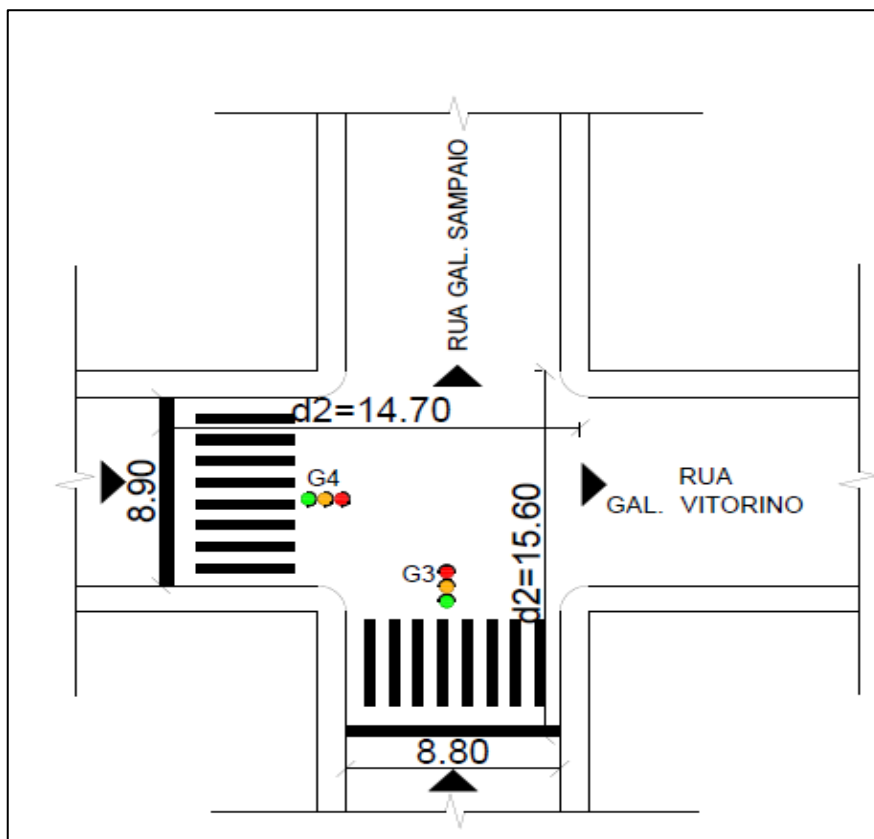
Fonte: Elaboração Própria

Figura 22 – Grupos e movimentos intersecção A



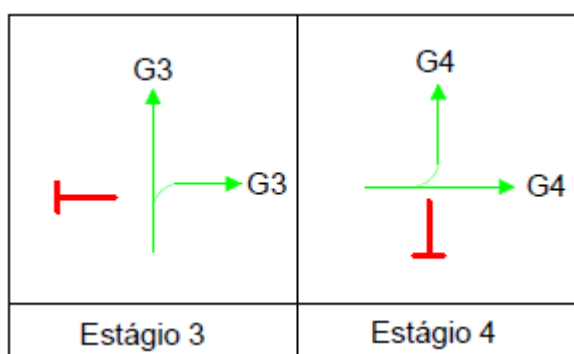
Fonte: Elaboração Própria

Figura 23 – Croqui representativo intersecção B (dimensões em metros)



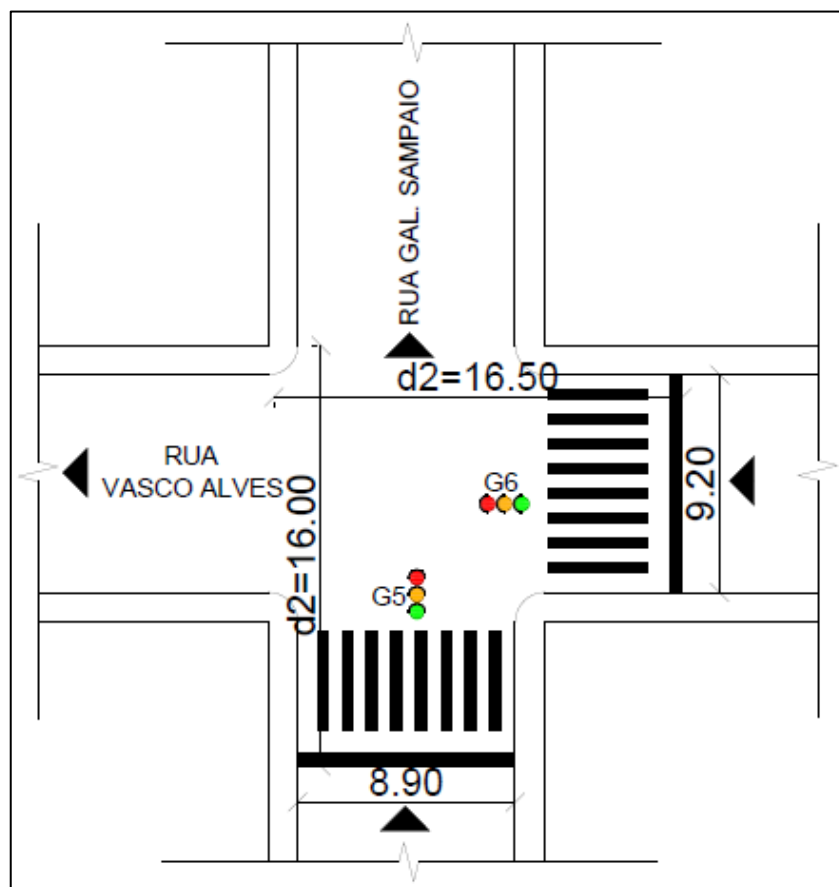
Fonte: Elaboração Própria (2018)

Figura 24 – Grupos e movimentos intersecção B



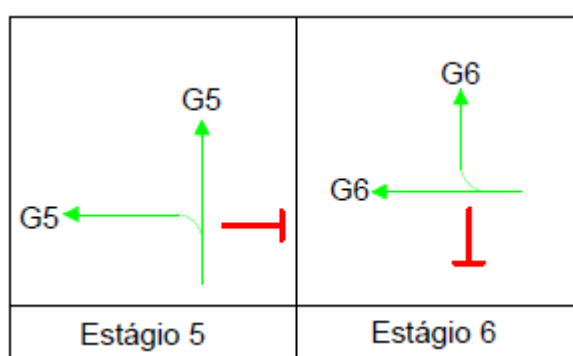
Fonte: Elaboração Própria (2018)

Figura 25 – Croqui representativo intersecção C(dimensões em metros)



Fonte: Elaboração Própria (2018)

Figura 26 – Grupos e movimentos intersecção C



Fonte: Elaboração Própria (2018)

A observação em campo serviu de auxílio para determinação do Fluxo de Saturação. Todas as intersecções estão compreendidas em uma zona comercial, com exceção da intersecção A, locada em uma zona mista. Esta intersecção caracteriza exceção também por conter uma aproximação com duas faixas de rolamento, pela Rua General Sampaio, enquanto todas as outras aproximações

estudadas apresentam apenas uma. Os croquis advindos da observação permitem a fácil percepção dos movimentos conflitantes e movimentos não conflitantes além de representarem, juntamente com os diagramas de estágios, o controle desses movimentos.

De posse dos valores de Fluxo de Saturação e dos tempos das indicâncias luminosas atualmente em vigor foi possível realizar o cálculo da capacidade da via utilizando-se a equação 1. A geometria dos cruzamentos foi utilizada também para os cálculos de entreverdes mínimos para a garantia da segurança no cruzamento, através da equação 5, sendo apurados os tempos de amarelo (equação 6) e os tempos de vermelho geral (equação 7). Além disso, para os cálculos de entreverdes foram seguidas as orientações do CONTRAN dispostas no item 2.2.4 2) a) quanto aos valores de grandezas envolvidas, como velocidade de pedestres, máxima taxa de frenagem, tempos de reação do condutor e do pedestre, comprimento do veículo $d_1=c=5m$, correspondente a um veículo de passeio.

3.2.2. Contagem dos veículos

Além da análise visual e da metragem da localidade, para cada cruzamento, foram feitas contagens quantitativa e classificatória do fluxo de veículos em cada uma das aproximações por meio de videoteipe, utilizando-se a câmera da marca Sony modelo HDRCX210/B, mostrada na Figura 27. Este método foi escolhido por estabelecer maior confiabilidade dos dados colhidos em relação à contagem no local e permitir a visualização de todos os movimentos direcionais que ocorrem simultaneamente conforme observações do DNIT mencionadas no item 2.2.2.

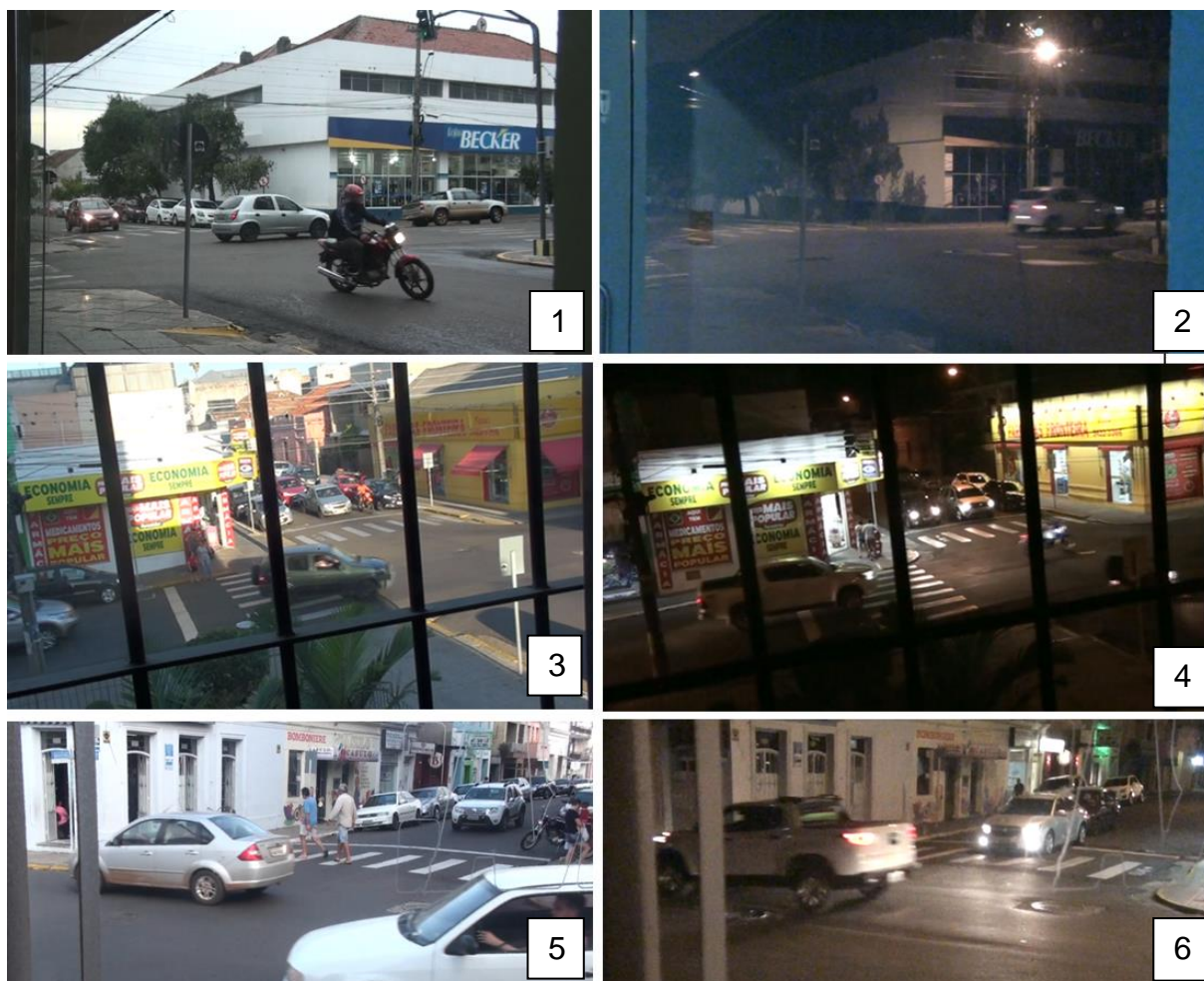
Figura 27 – Câmera utilizada para captação das imagens



Fonte: Elaboração própria (2018)

O período total de contagem dos dados utilizados foi de 24 horas em cada cruzamento, começando no início da quarta-feira e concluído no início da quinta-feira. Como o equipamento de filmagem utilizado era de propriedade da UNIPAMPA, as contagens foram feitas em três semanas distintas, sendo semanas típicas (sem feriado) em que não houve nenhuma interferência de fatores inesperados (chuva, manifestações, etc). A Figura 28 mostra exemplos das imagens captadas pela câmera da Figura 27, durante a captação de imagens utilizadas nas contagens, sendo as imagens da esquerda, designadas pelos números 1,3 e 5 as imagens diurnas dos cruzamentos A, B e C, respectivamente e ao lado destas, designadas pelos números 2, 4 e 6 as imagens noturnas correspondentes.

Figura 28 – imagens captadas pelas câmeras nos três cruzamentos

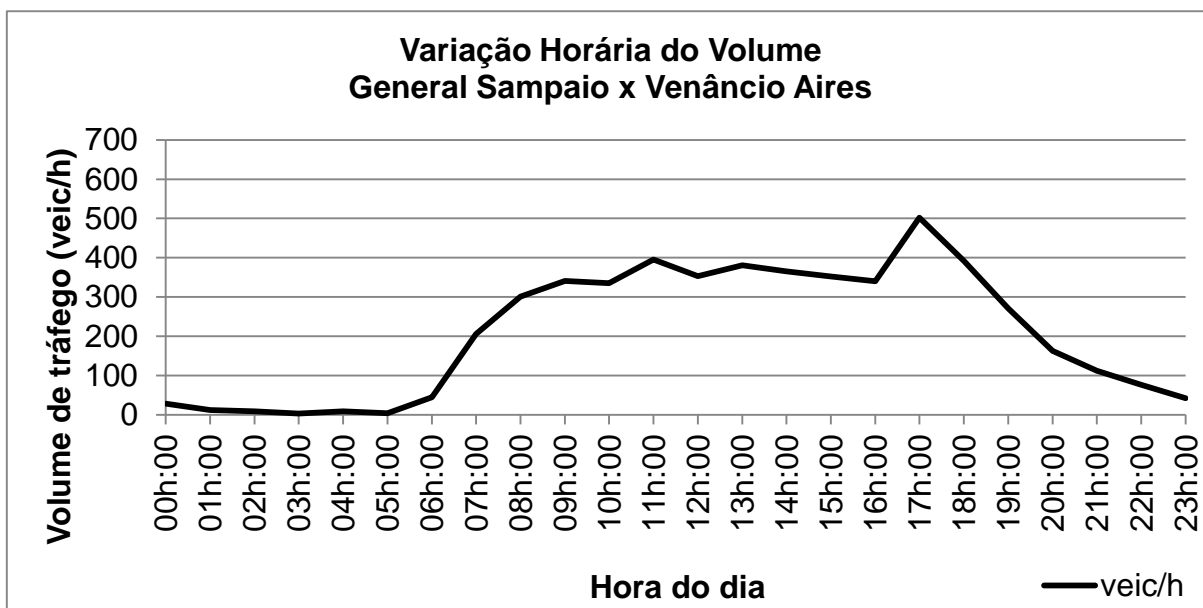


Fonte: elaboração própria (2018)

Utilizando-se a tabela do DNIT mostrada na Figura 10, e verificando-se as filmagens, foram produzidas as contagens dos veículos a cada 15 minutos, diferenciando o número de veículos que seguiram reto dos que realizaram conversão nas aproximações e tomando nota para posterior análise do tráfego. Como sugere a tabela da Figura 10, foi realizada, concomitantemente às contagens, a classificação dos veículos passantes levando-se em conta o fator de equivalência de cada tipo de veículo, tendo como referência o automóvel, como instruído na Tabela 1 do presente trabalho. Com esses dados, tornou-se possível ser determinado o valor da taxa de fluxo, projetada com base no volume máximo

observados em intervalos de 15 minutos, dentro de uma hora de contagem, como mencionado no item 2.2.2.. O valor da taxa de fluxo serviu como base para os demais cálculos que estão apresentados neste trabalho. Os dados obtidos nos três dias encontram-se dispostos em gráficos, como exemplificado pelo Gráfico 1 que mostra a variação horária do volume de veículos em cada uma das aproximações.

Gráfico 1 – Exemplo da variação horária do volume em um dia útil



Fonte: Autoria Própria (2018)

A elaboração deste tipo de gráfico, da variação horária do volume de veículos, permitiu uma melhor observação do comportamento do tráfego ao longo do dia, tornando a identificação do horário de pico de fácil percepção.

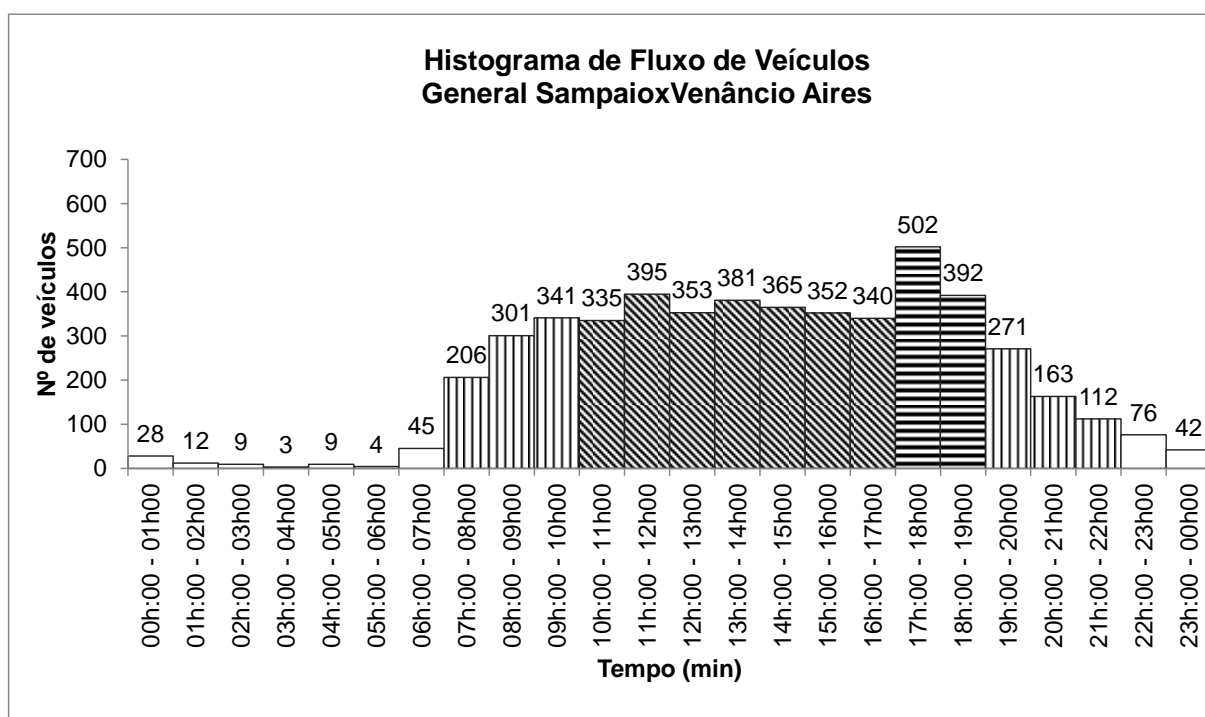
3.2.3. FHP e grau de saturação

O primeiro passo nesse item foi a obtenção do grau de saturação das vias na atual situação operacional, para posterior comparação com os novos valores de ciclos calculados.

Para visualização da uniformidade do ciclo na hora de projeto, segundo orientações do DNIT citadas no item 2.2.2., foi utilizado o FHP, calculado por meio da equação 3. Por meio deste parâmetro pode se levar em consideração a flutuação da demanda na hora de pico, através da comparação das contagens de 4 períodos de 15 minutos consecutivos para verificação de quanto o volume variou dentro da

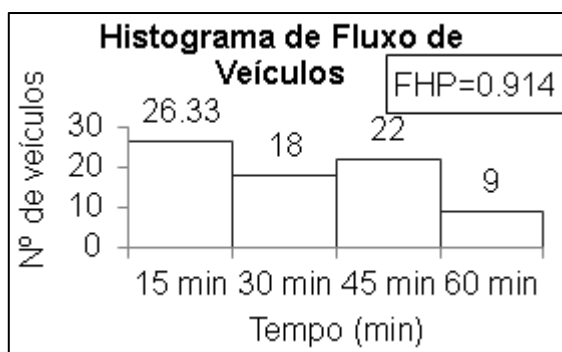
hora. É provável que durante a semana, em um mesmo dia, apresente-se dois períodos de hora-pico. Os dados obtidos para o fluxo de veículos passantes expostos no Gráfico 1, foram convertidos em um gráfico do tipo histograma, como exemplificado pelo Gráfico 2, logo o fator hora-pico foi determinado pelo maior valor horário representativo em um intervalo de tempo presente no Gráfico 2, esta situação encontra-se ilustrada no Gráfico 3.

Gráfico 2 – Exemplo de Histograma



Fonte: Autoria Própria (2018)

Gráfico 3 – Fator Hora-pico para o intervalo das 17h:00 às 18h:00 do Gráfico 2



Fonte: Autoria Própria (2018)

Através do exame do comportamento do tráfego, foi feita uma análise para padronizar as entradas de planos em intervalos de horários com valores de fluxo significativos entre si, de modo a atender a demanda do tráfego com um mesmo tempo de ciclo em conjuntos de horários com demanda semelhante.

O conhecimento dos valores de fluxo de veículos nas aproximações tornou viável se encontrar os valores dos graus de saturação nas aproximações por meio da equação 2 e das taxas de ocupação, utilizadas posteriormente para o cálculo dos tempos de ciclo e tempos de verde ideais, através da equação 9.

3.3. Cálculos de Tempos de Ciclos e das Indicações Luminosas Ideais

Primeiramente foram calculados os tempos de entreverdes, como já citado no item 2.2.1 desta metodologia. A totalidade do tempo tomado pelos entreverdes dentro de um ciclo foi considerada como tempo morto ou tempo perdido (T_p), pelo fato de os veículos não receberem direito de passagem.

Foi realizado o cálculo dos tempos de ciclo ótimo e de verde pelo Método de Webster, através da equação 10 e 16, respectivamente. Os tempos foram calculados com base nos dados levantados através das observações, medições e contagens, respeitando-se sempre os tempos de verdes de segurança conforme citado no item 2.2.4. c), em função da travessia de pedestres e do valor mínimo recomendado de 10s e, respeitando-se ainda, o tempo de ciclo máximo recomendado no item 2.2.4. 3) de 120s, assim como os tempos de entreverdes necessários já mencionados.

Para finalizar, foram realizadas conferências dos tempos atualmente em vigência versus valores calculados dos tempos em cada cruzamento, visando promover alternativas que promovam a maior eficácia e melhor utilização dos semáforos que coordenam o trânsito na zona estudada. Tal conferência apresentou os momentos críticos onde a demanda não está sendo atendida e também os momentos que podem ser empregados tempos de ciclos menores do que o atual, otimizando o sistema. As soluções aqui propostas foram desenvolvidas sempre com foco na viabilidade econômica, rapidez e eficiência da implantação das melhorias e na promoção de maior fluidez.

4 RESULTADOS

Para validação do sistema de planos semaforicos a serem instalados nas aproximações verificou-se o grau de saturação, que diz respeito à quantidade de veículos que deseja passar em relação à oferta que o sistema semaforico concede à intersecção. Desta maneira, para confirmar a funcionalidade do tempo de ciclo escolhido em cada período do dia é necessário que o grau de saturação resulte em um valor que denote o atendimento da demanda, de modo que não promova períodos descomedidos de saturação e ao mesmo tempo não produza tempos de espera desnecessários devido à capacidade excedente. Os resultados obtidos, utilizando-se os Métodos de Webster e do Grau de Saturação Máximo, para os valores de ciclo e de cada indicação luminosa ideal no conjunto de cruzamentos estudados, bem como a capacidade e os graus de saturação resultantes da adoção destes encontram-se simulados no capítulo que segue.

4.1 Fluxo de Saturação

A conformação dos fluxos de saturação para cada aproximação se deu por meio de recomendações mostradas no Quadro 2, estabelecidas pelo CONTRAN e se encontram dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de fluxo de saturação considerados em cada aproximação

Fluxo de Saturação		
Cruzamento	Aproximação	FS (ucp/h)
A	Ven. Aires	1600
	Gal. Sampaio	3200
B	Gal. Vitorino	1400
	Gal. Sampaio	1400
C	Vasco Alves	1400
	Gal. Sampaio	1400

Fonte: Elaboração Própria (2018)

A diferença entre os valores fixados de fluxo de saturação entre as aproximações se deu ao fator determinante do uso do solo, conforme Quadro 2, ficando em 1400 ucp/h para as zonas comerciais e 1600 ucp/h para as zonas de uso misto. No cruzamento A, na aproximação pela Rua General Sampaio, o fluxo de saturação apresentou o dobro do valor em relação à Rua Venâncio Aires por possuir duas aproximações, conforme mostra o croqui da Figura 21.

As contagens foram feitas de modo a classificar os movimentos entre aqueles que seguiram reto e os que realizaram conversão, prevendo-se a utilização do Quadro 2 para determinação do fluxo de saturação. Assim, foi arbitrado que quanto a relevância das conversões, quando o número de veículos que realizaram esse movimento em uma aproximação apresentasse valor menor que 30%, seriam consideradas poucas conversões, para valores situados de 30 à 70% seria considerada relativa influência e para valores superiores à 70% seriam consideradas muitas conversões, porém este não se demonstrou um fator determinante para a definição do fluxo de saturação, ficando este fixado em função do uso do solo, como citado anteriormente.

4.2 Entreverdes

Para o cálculo dos entreverdes foi utilizada a Equação 5, sendo os tempos de amarelo e vermelho geral calculados através da Equação 6 e 7, respectivamente. As distâncias d_2 utilizadas constam nos croquis das Figuras 21, 23 e 25. Além disso, para os cálculos dos entreverdes foi considerado o recomendado pelo CONTRAN (2014), citado no item 2.2.4 2)a) e posteriormente o valor encontrado foi considerado como tempo perdido ou tempo morto (T_p) dentro do ciclo, pelo fato de os veículos não receberem o direito de passagem durante esse tempo. Os valores colhidos nas medições se encontram na Tabela 5 e os resultados obtidos nos cálculos de entreverdes na Tabela 6.

Tabela 5 – Resultados das medições em campo

Dimensões dos cruzamentos				
Cruzamento	Aproximação	Travessia de pedestres (m)	d1 (m)	d2 (m)
A	Gal. Sampaio	8.80	5.00	15.80
	Ven. Aires	12.00	5.00	13.50
B	Gal. Sampaio	8.80	5.00	15.60
	Gal. Vitorino	8.90	5.00	14.70
C	Gal. Sampaio	8.90	5.00	16.00
	Vasco Alves	9.20	5.00	16.50

Fonte: Elaboração própria (2018)

Tabela 6 – Entreverdes para os cruzamentos

Tempos calculados de entreverdes				
Cruzamento	Tam (s)	Tvg (s)	Entreverdes (s)	Tp (s)
A, B e C	3	2	5	10

Fonte: Elaboração própria (2018)

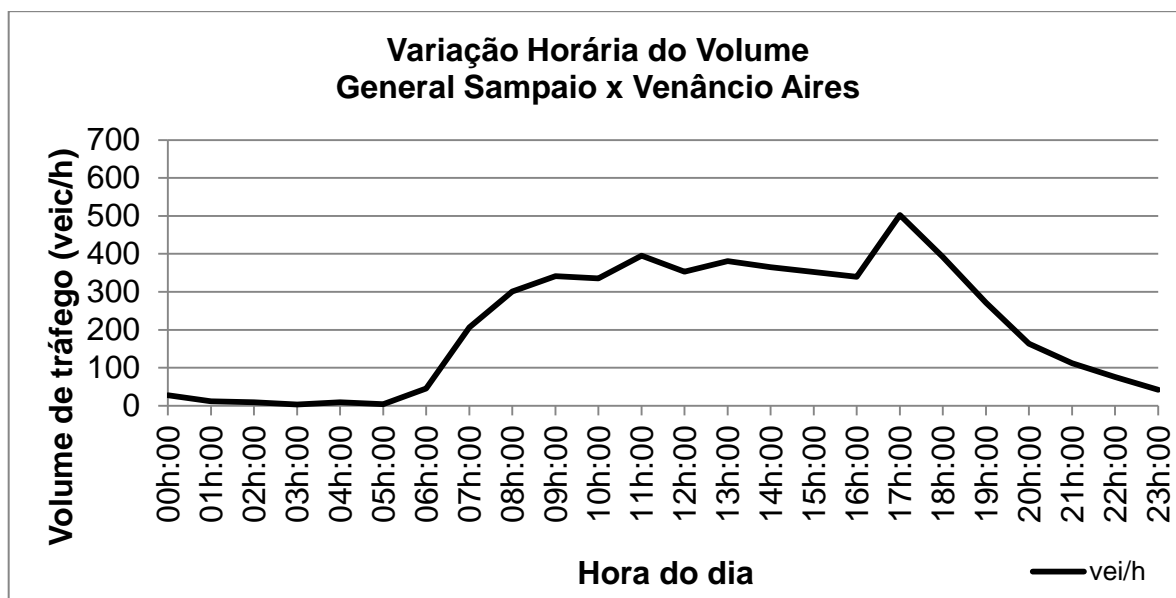
Todas as vias que constituem os cruzamentos são classificadas como coletoras, possuindo a velocidade máxima característica de 40km/h e a inclinação nas aproximações possuem valor desprezível (zero, ou muito próxima de zero), assim, os valores encontrados para os tempos de amarelo se mantiveram iguais e foi utilizado o mínimo recomendado pelo CONTRAN conforme item 2.2.4 2) a). Para os valores de vermelho geral, apesar das distâncias d2 serem diferentes em cada aproximação, a uniformidade se deu devido a arredondamentos.

4.3 Fluxo de veículos

Na apuração das imagens captadas pelas câmeras foi empregada a tabela quantitativa/classificatória proposta pelo DNIT e indicada na Figura 10. No processamento das contagens volumétricas adotou-se o volume de tráfego equivalente, conforme Tabela 1. Com os dados resultantes desse procedimento

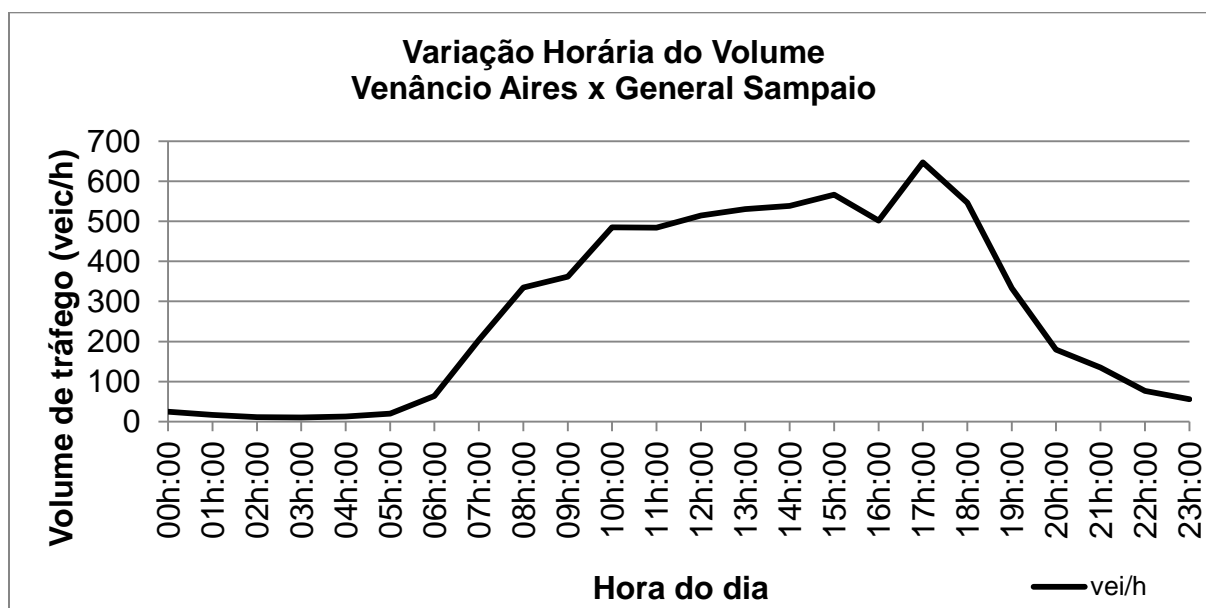
foram obtidos os Gráficos de 4 à 9 com o volume de tráfego equivalente por hora em cada aproximação. A seguir encontram-se os Gráficos 4 e 5, produtos do comportamento do trânsito no cruzamento A.

Gráfico 4 – Variação do volume de tráfego equivalente para o cruzamento A – aproximação pela Rua General Sampaio



Fonte: Elaboração própria (2018)

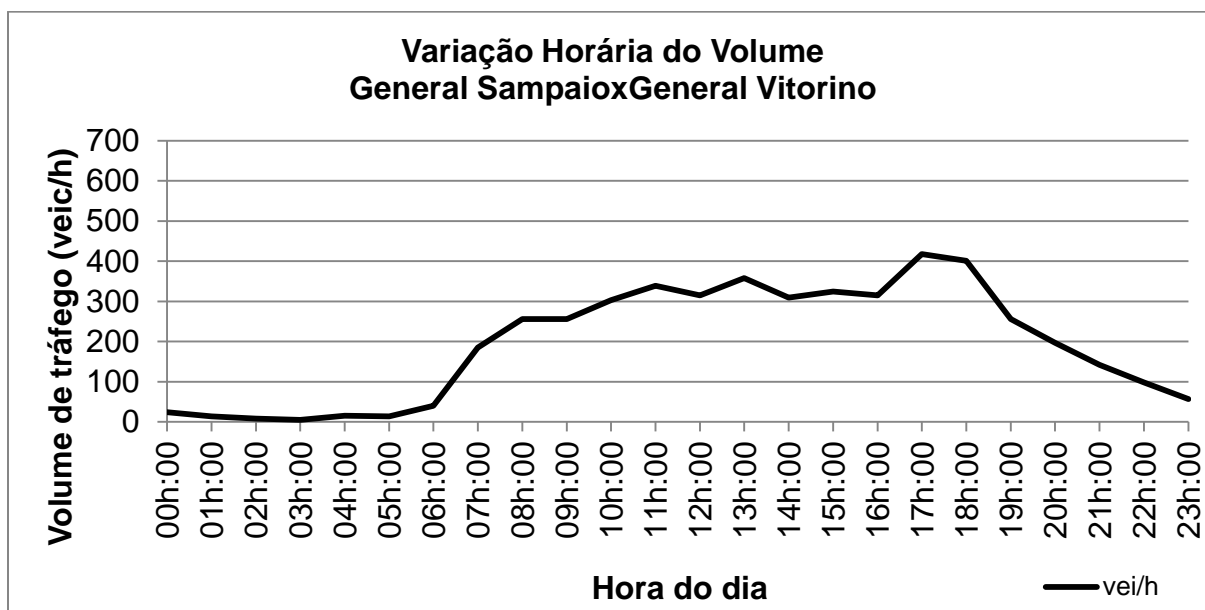
Gráfico 5 – Variação do volume de tráfego equivalente para o cruzamento A – aproximação pela Rua Venâncio Aires



Fonte: Elaboração própria (2018)

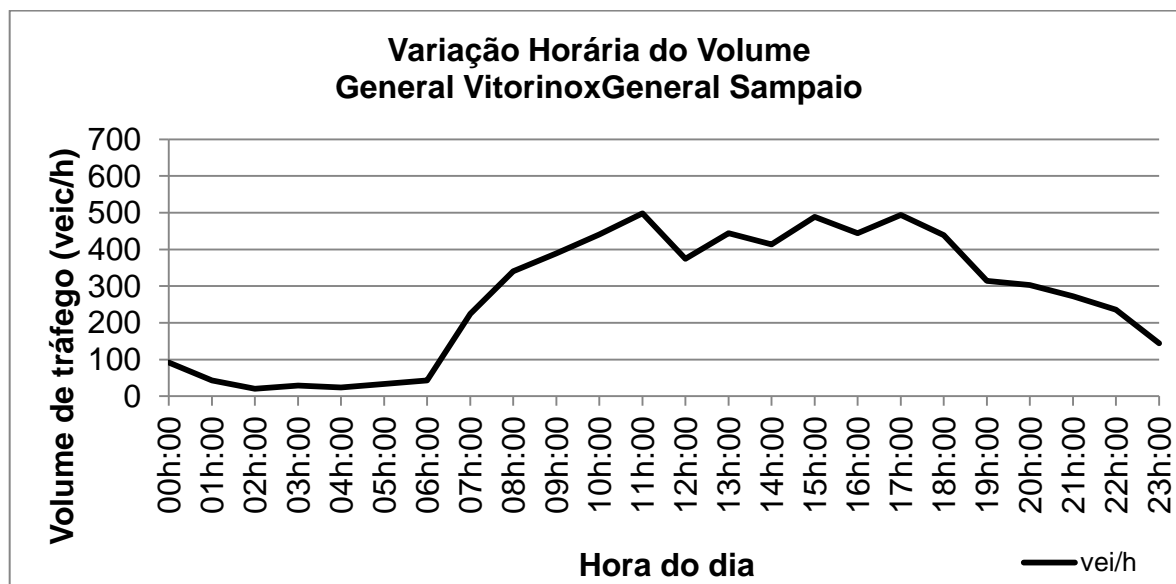
Como pode ser observado nos Gráficos 4 e 5 o fluxo de veículos manteve-se escasso durante o período da madrugada, iniciando-se o movimento às 6 horas e aumentando progressivamente até as 10 horas, mantendo uma certa constância até as 16 horas, quando sofre uma breve diminuição e, após isso, culminando no horário de pico, que ficou entre as 17 e as 18 horas, sendo que neste período de tempo o fluxo de veículos chegou a 647 veículos equivalentes neste cruzamento, fazendo com que este o horário seja o mais crítico dentre os três cruzamentos, voltando a cair progressivamente até o fim do dia. O cruzamento A manteve o comportamento semelhante em ambas aproximações. A seguir encontram-se os Gráficos 5 e 6, resultantes do comportamento do tráfego no cruzamento B.

Gráfico 6 – Variação do volume de tráfego equivalente para o cruzamento B – aproximação pela Rua General Sampaio



Fonte: Elaboração própria (2018)

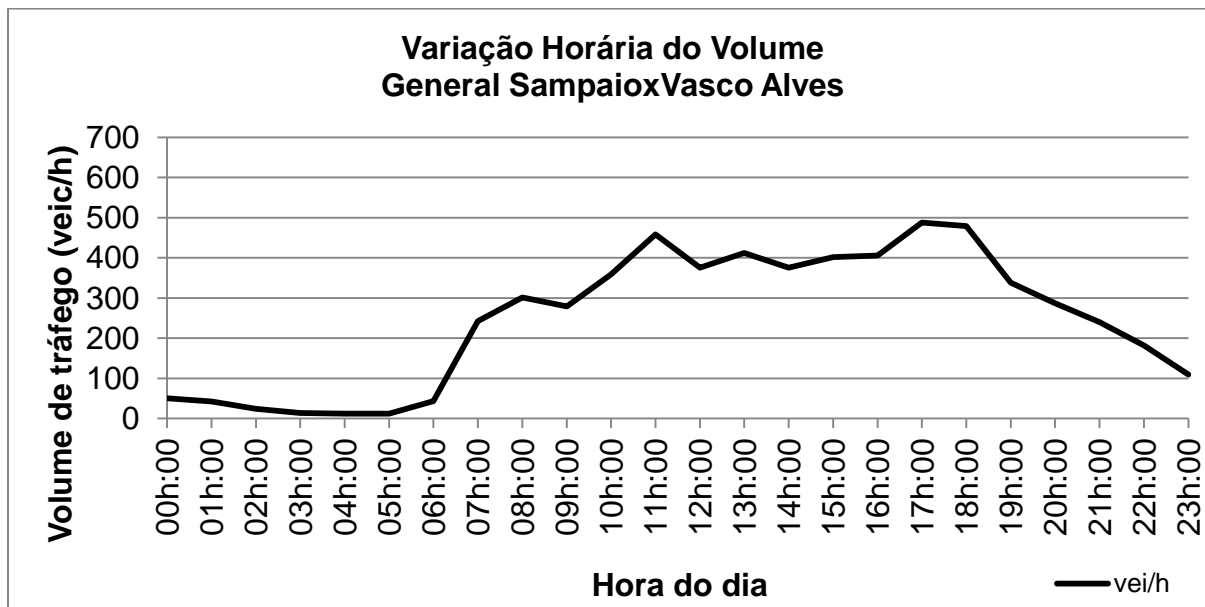
Gráfico 7 – Variação do volume de tráfego equivalente para o cruzamento B – aproximação pela Rua General Vitorino



Fonte: Elaboração própria (2018)

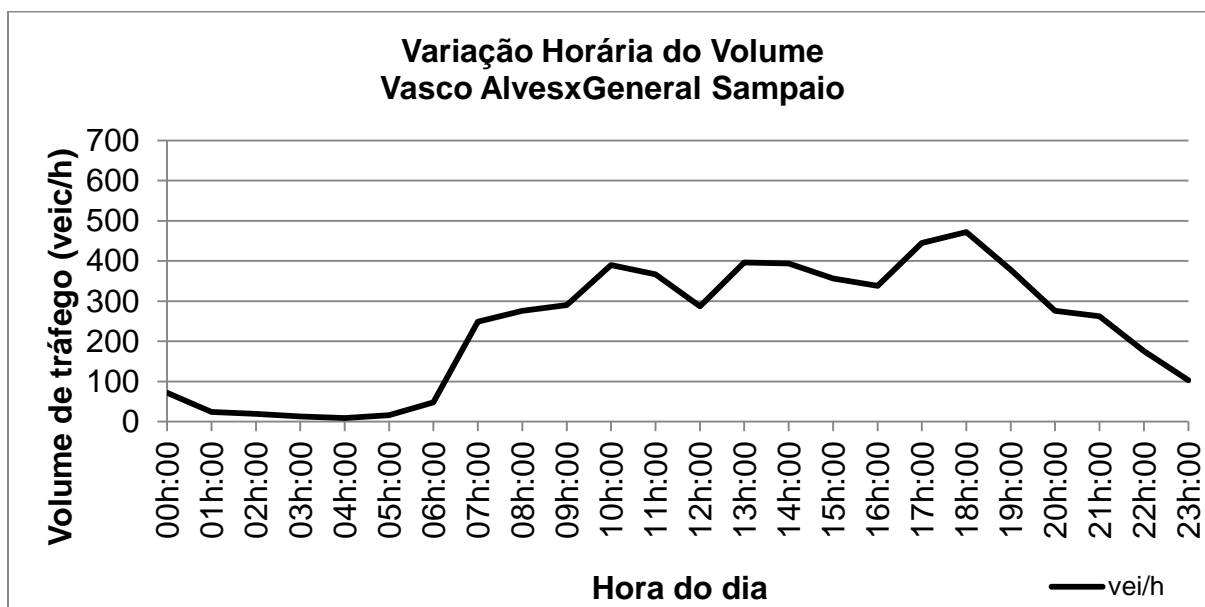
Os Gráficos 6 e 7 mostram que, no cruzamento B, há uma quantidade inferior à 100 veic/h no horário das 0 às 2 horas, reduzindo ainda mais durante o período da madrugada compreendido entre as 2 e as 5 horas. No horário das 6 horas há um salto significativo e um aumento da demanda considerável até às 10 horas, mantendo-se alto durante todo o período do dia, culminando próximo às 12 horas e às 18 horas, quando se inicia a diminuição progressiva até o fim do dia. O cruzamento B manteve o comportamento semelhante em ambas as aproximações, porém, na aproximação pela Rua General Sampaio o horário de pico ficou entre as 17 e às 18 horas, já na aproximação pela Rua General Vitorino ocorreram dois horários de pico muito semelhantes, um das 11 às 12 horas e outro das 17 às 18 horas. A seguir encontram-se os Gráficos 8 e 9, oriundos do comportamento do tráfego no cruzamento C.

Gráfico 8 – Variação do volume de tráfego equivalente para o cruzamento C – aproximação pela Rua General Sampaio



Fonte: Elaboração própria (2018)

Gráfico 9 – Variação do volume de tráfego equivalente para o cruzamento C – Aproximação pela Rua Vasco Alves



Fonte: Elaboração própria (2018)

Nos gráficos da variação horária do volume equivalente para o cruzamento C é possível verificar que ambas as aproximações apresentaram volumes pouco

significativos das 0 à 1 hora, após isso, o volume de tráfego manteve-se muito baixo até as 5 horas. Às 6 horas ocorreu um aumento súbito no volume de veículos, mantendo o valor até às 9 horas. A partir das 9 horas as aproximações tomam comportamentos diferentes. Para a Rua General Sampaio houve um aumento progressivo até às 11 horas, onde se caracterizou um horário de pico, no entanto a utilização da via pelos veículos caiu no horário das 12 horas e manteve-se constante no período da tarde, até às 16 horas.

No horário próximo às 17 horas houve uma ampliação do fluxo de veículos que se manteve até por volta das 18 horas, caindo progressivamente até o fim do dia. Ao passo que, para a aproximação pela Vasco Alves, após as 9 horas, o trânsito sofreu algumas oscilações, primeiro aumentando progressivamente até às 10 horas e, logo após reduzindo progressivamente até às 12 horas, aumentando novamente até às 13 horas e assim mantendo-se constante até às 14 horas.

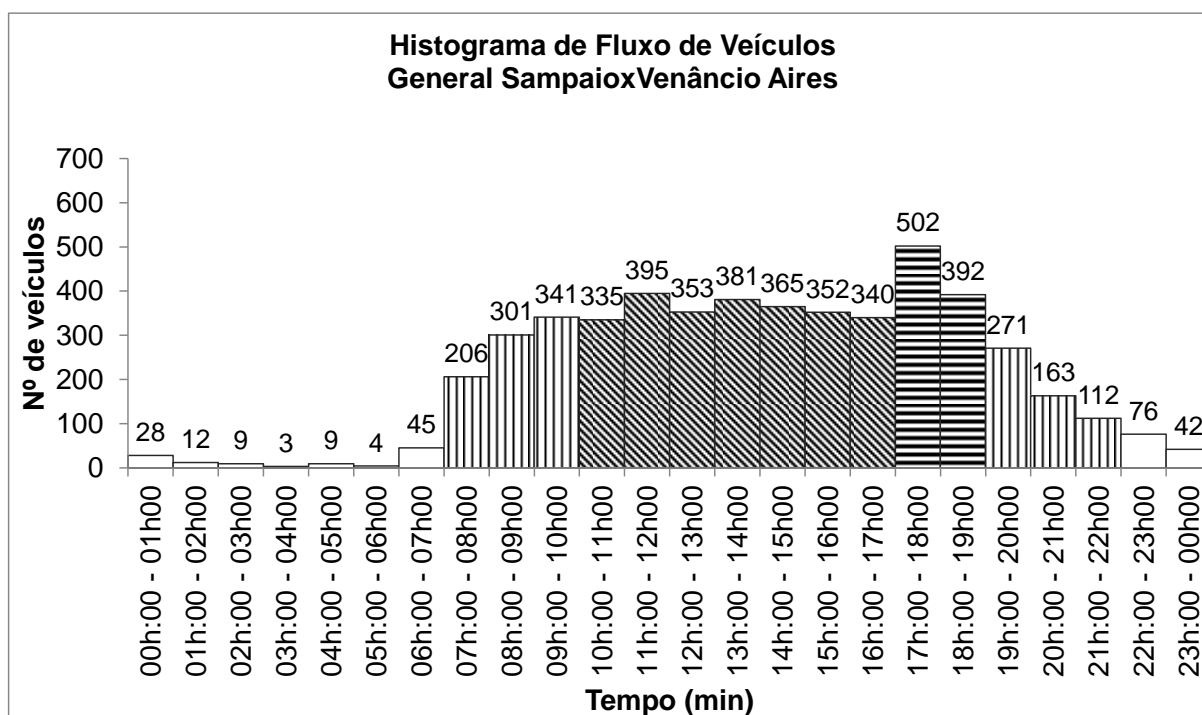
A quantidade de veículos equivalentes voltou a reduzir no período das 14 horas às 16 horas, quando oscila pela última vez e eleva os valores ao ponto máximo às 18 horas, onde está identificado o horário de pico com um valor de 472 veículos em uma hora. Logo após o horário de pico, houve uma redução contínua do número de veículos que utilizaram tal aproximação chegando a valores próximos de 100 veículos por hora até as 0 horas.

Todos os cruzamentos apresentaram pico no horário entre às 17 e às 18 horas, horário esse de grande número de viagens que partem da zona central, predominantemente comercial, para a zona sul da cidade, predominantemente residencial. Este horário caracteriza o fim do horário comercial local, além da grande movimentação devido ao horário de saída das escolas. Apesar das ruas Venâncio Aires e Vasco Alves serem contrárias à esse fluxo, dão importante aceso à zona leste da cidade, principalmente na época em que este trabalho foi desenvolvido, pois a Avenida Eurípedes Brasil Milano encontrava-se em obras.

Os comportamentos verificados nos Gráficos de 4 a 9 são típicos em qualquer cruzamento semaforizado, mostrando a grande necessidade de realizar a obtenção de dados em diferentes períodos de tempo durante o dia e assim realizar a otimização dos ciclos semaforicos através de diferentes planos semaforicos.

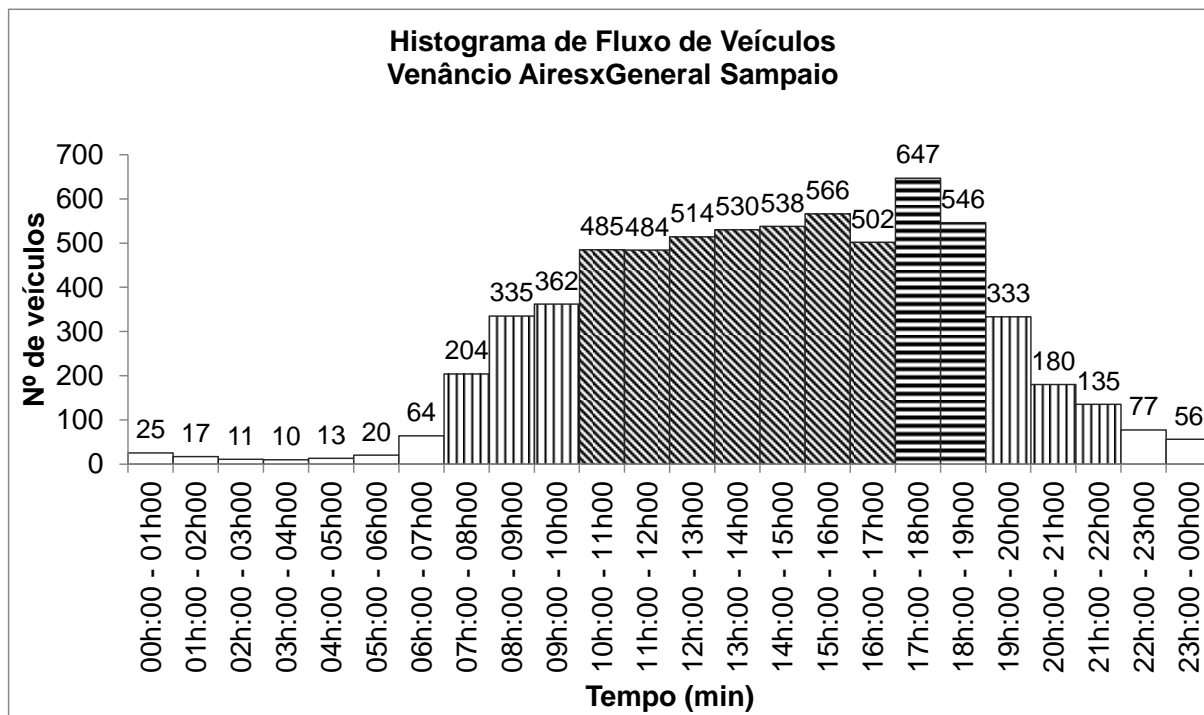
O comportamento do tráfego de cada cruzamento foi organizado em histogramas, para melhor visualização dos valores de fluxo equivalente em cada intervalo horário. Primeiramente os dados foram divididos em conjuntos de intervalos com número de veículos passantes semelhante determinando-se os tempos de ciclo necessários em cada desses intervalos. A padronização final dos intervalos em cada intersecção foi arbitrada de acordo com os tempos de ciclos encontrados, agrupando-se intervalos com tempos de ciclo resultantes muito próximos ou iguais e numerados de I à VIII. Os histogramas derivados dos gráficos da variação horária do volume dos cruzamentos A, B e C estão dispostos nos Gráficos de 10 à 15.

Gráfico 10 – Histograma do fluxo de veículos para o cruzamento A – aproximação pela Rua Gal Sampaio



Fonte: Elaboração própria (2018)

Gráfico 11 – Variação do volume de tráfego equivalente para o cruzamento A – aproximação pela Rua Venâncio Aires



Fonte: Elaboração própria (2018)

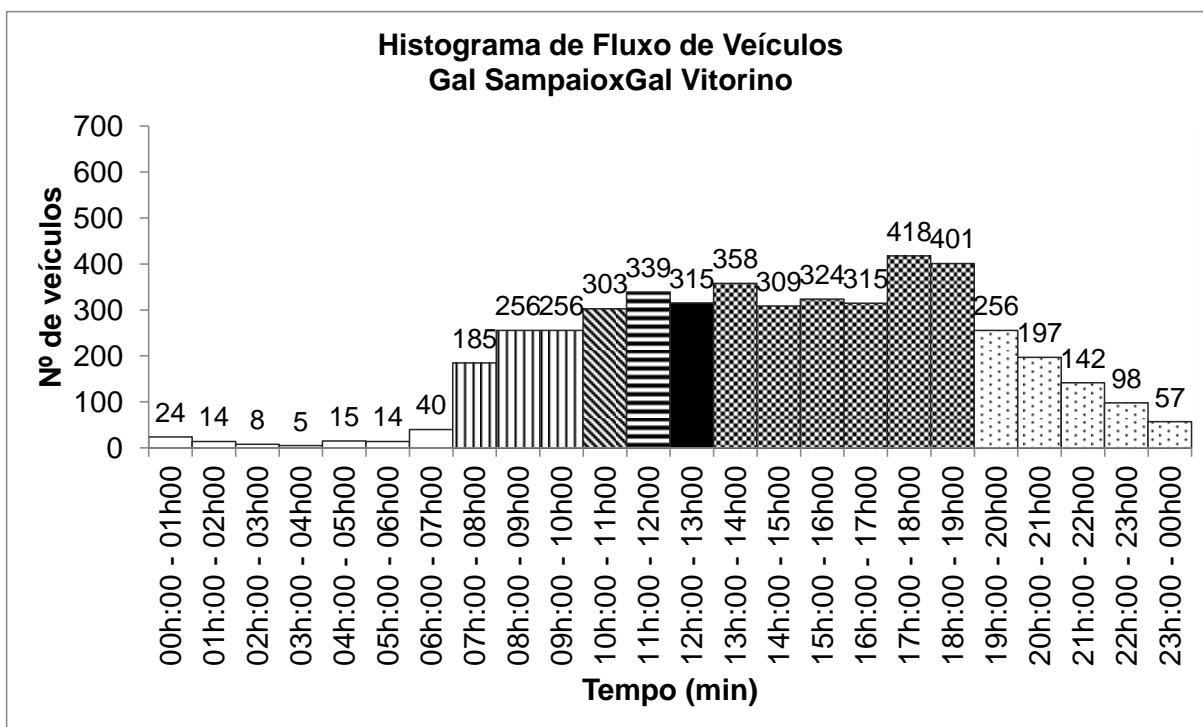
No cruzamento A, conforme os Gráficos 9 e 10, o horário de pico manifestou-se das 17 às 18 horas, para ambas as aproximações e o fluxo manteve-se próximo à 350 veic/h para a aproximação pela Rua Gal Sampaio e à 500 veic/h nos horários de alta demanda. Outro padrão observado encontra-se nos períodos das 7 Às 10 horas e das 19 Às 22 horas. Com base nisso, arbitrou-se quatro intervalos nos quais serão empregados quatro tempos de ciclo. Os intervalos escolhidos para os planos semaforicos para o cruzamento A encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Planos semaforicos nos intervalos significativos em relação ao padrão de valores de taxa de veículos do cruzamento A

Intervalo	I	II	III	IV
Horário	22h - 7h	7h - 10 h 19 h - 22h	10h - 11h	17h - 19h
Legenda:				

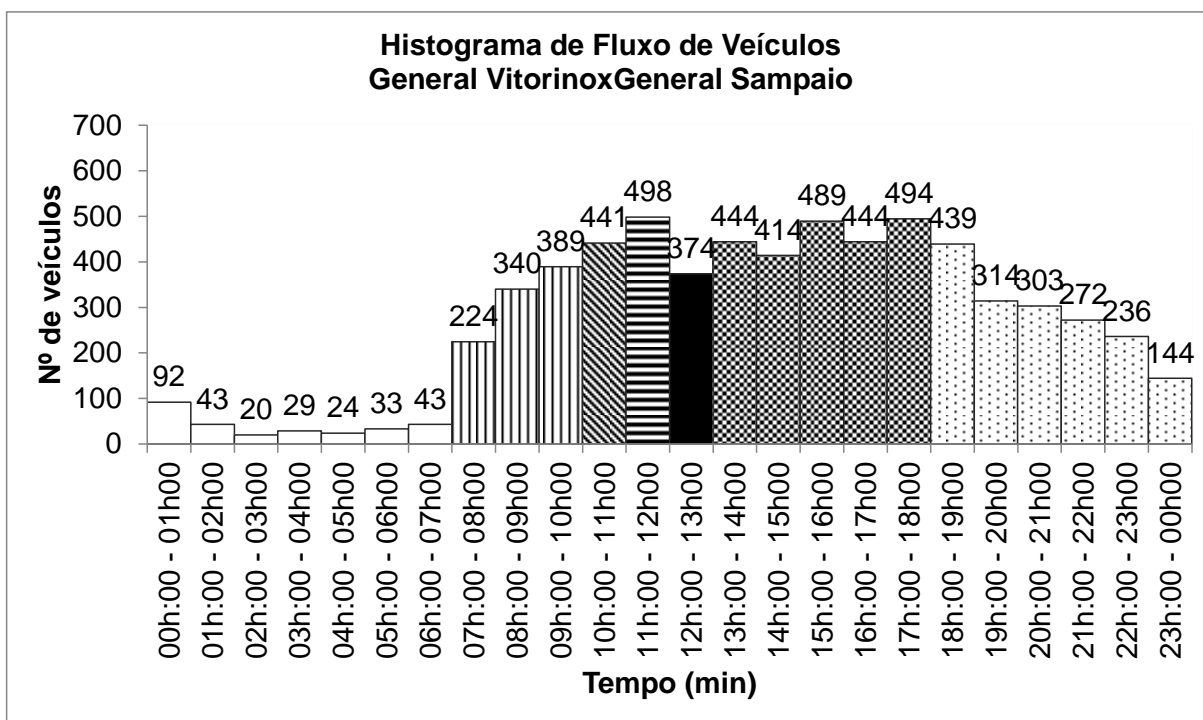
Fonte: Aatoria Própria (2018)

Gráfico 12 – Variação do volume de tráfego equivalente para o cruzamento B – aproximação pela Rua General Sampaio



Fonte: Elaboração própria (2018)

Gráfico 13 – Variação do volume de tráfego equivalente para o cruzamento B – aproximação pela Rua General Vitorino



Fonte: Elaboração própria (2018)

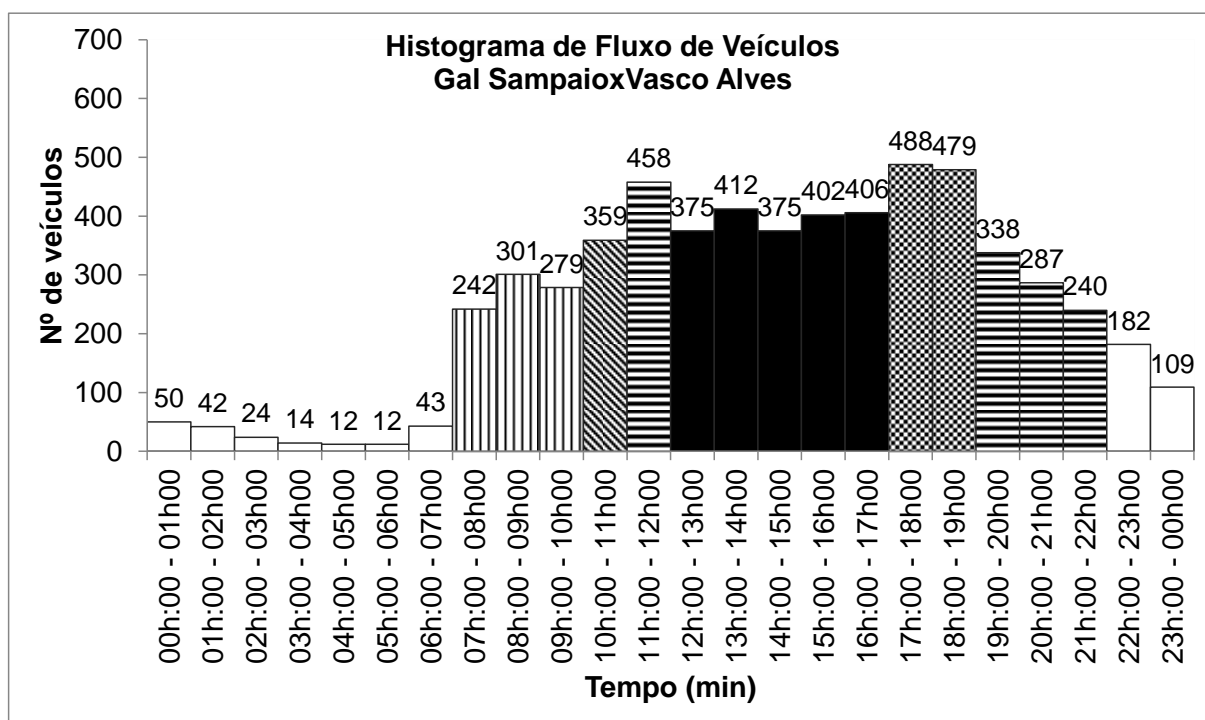
Tabela 8 – Planos semaforicos nos intervalos significativos em relação ao padrão de valores de taxa de veículos do cruzamento B

Intervalo	I	II	III	IV	V	VI	VII
Horário	0h - 7h	7h - 10h	10h - 11h	11h - 12h	12h - 13 h	13h - 19h	19h - 0h
Legenda:							

Fonte: Autoria Própria (2018)

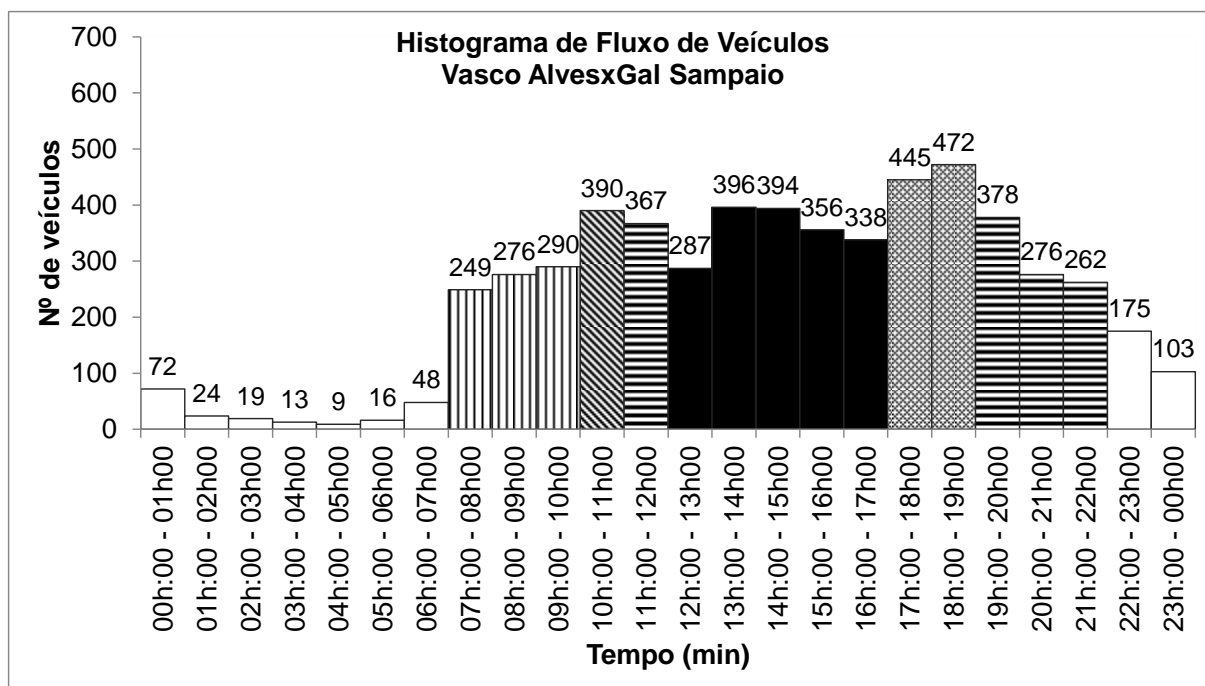
No cruzamento B o horário de pico manifestou-se das 17 às 18 horas, na aproximação pela Rua General Sampaio, e das 11 às 12 horas, para a aproximação pela Rua Gal Vitorino. Isso se torna vantajoso para a programação semaforica, pois os horários de maior demanda sendo diferentes, pode se alternar os tempos de verdes para dar preferência de passagem para a rua mais saturada, promovendo o desmanche de filas. Para esta intersecção foram estipulados sete intervalos significativos para a programação de tempos de ciclo.

Gráfico 14 – Variação do volume de tráfego equivalente para o cruzamento C – aproximação pela Rua General Sampaio



Fonte: Elaboração própria (2018)

Gráfico 15 – Variação do volume de tráfego equivalente para o cruzamento C – aproximação pela Rua Vasco Alves



Fonte: Elaboração própria (2018)

Tabela 9 – Planos semafóricos nos intervalos significativos em relação à valores de taxa de veículos do cruzamento C

Intervalo significativo	I	II	III	IV	V	VI
Horário	0h - 7h 22h - 0h	7h - 10h	10h - 11h	11h - 12h 19h - 22h	12h - 17h	17h - 19h
Legenda:						

Fonte: Elaboração própria (2018)

Já no cruzamento C o horário de pico estende-se das 17 às 19 horas, para ambas as aproximações, pois dentro desse período não houve variação significativa do fluxo de veículos. Para a intersecção C, foram fixados oito intervalos significativos para a programação de tempos de ciclo.

Ressalta-se que esta caracteriza a adoção final de intervalos, após o cálculos dos tempos de ciclos, etapa na qual foram unificados os intervalos que apresentaram valores iguais ou muito próximos, sendo considerados muito próximos aqueles com até três segundos de diferença. Estes intervalos adotados

após o cálculo e a uniformização dos ciclos, bem como os tempos de ciclos e de verdes adotados encontram-se detalhados no item 4.4, nas tabelas 12, 14 e 16.

4.4 Situação atual

Os tempos atuais dos semáforos em cada aproximação foram cronometrados em campo em cada horário em que o trânsito apresentou diferença significativa de fluxo apontados pelas tabelas 7, 8 e 9. Para estes horários foram observados os mesmos valores nas indicações luminosas, sendo assim, os semáforos encontram-se com plano semafórico de tempo fixo em todas as aproximações e operando integralmente com o mesmo ciclo. Os tempos medidos encontram-se dispostos na Tabela 10.

Tabela 10 – Tempos atuais de operação dos semáforos

Dados coletados in loco						
Cruzamento	Horário	Verde (s)	Amarelo (s)	Vermelho (s)	Vermelho Geral (s)	Tc (s)
A, B e C	integral	20	3	25	2	50

Fonte: Elaboração própria (2018)

Os valores das indicações luminosas dispostos na Tabela 7 juntamente com os valores de Fluxo de Saturação indicados na Tabela 4, possibilitaram o conhecimento da capacidade do cruzamento no regime atual de funcionamento. Os valores encontrados para capacidade, calculados através da equação 1, encontram-se na Tabela 11, juntamente com os valores de taxa de fluxos, obtidas conforme item 3.3.2, e dos graus de saturação, calculado através da equação 2, no horário de pico de cada aproximação, tendo sido este período escolhido por sua representatividade.

Tabela 11 – Capacidades, graus de saturação e FHP das vias em função dos planos semaforicos atualmente em vigor

Cruzamento	Horário de pico	Aproximação	Cap (ucp/h)	F (ucp)	x	FHP
A	17h:00 - 18h:00	Ven. Aires	1280	731.8	0.57	0.88
	17h:00 - 18h:00	Gal. Sampaio	640	549.2	0.86	0.91
B	11h:00 - 12h:00	Gal. Vitorino	560	578.4	1.03	0.86
	12h:00 - 13h:00	Gal. Sampaio	560	530.3	0.95	0.59
C	18h:00 - 19h:00	Vasco Alves	560	596.9	1.07	0.79
	17h:00 - 18h:00	Gal. Sampaio	560	551.7	0.99	0.89

Fonte: Elaboração própria (2018)

Ao se ponderar os valores encontrados para o grau de saturação nos horários de pico que constam na Tabela 11, verifica-se que volumes de veículos que chegam às aproximações nos horários de pico encontram-se muito próximo ou superior à oferta que o plano semaforico atual disponibiliza. Tal situação faz com que haja momentos de congestionamento em alguns períodos do dia. Observa-se ainda que, a aproximação pela Rua Venâncio Aires caracteriza exceção por ser a única aproximação que não se encontra saturada. Porém o grau de saturação de operação nesta rua conduz a situações de excessivo tempo de verde ocioso, sem que haja passagem de veículos, gerando tempo de espera excessivo para o usuário que se aproxima pela Rua General Sampaio, conforme citado no item 2.2.3 3), no qual é indicado que se valores inferiores a 0,8 para o grau de saturação causariam o atraso.

Devido ao fato de o sistema estar operando com o mesmo tempo de ciclo durante 24 horas, a mesma aproximação passa por períodos de excesso de capacidade e períodos de saturação. Desta forma, é necessária a implantação de um sistema com indicações luminosas adequadas às necessidades da variação do volume de tráfego para cada período do dia com diferenças significativas dos valores de demanda.

4.5 Tempos de ciclo pelo Método de Webster

Para se encontrar os valores ideais de duração dos ciclos, após identificados os tempos de entreverdes dispostos na Tabela 5, foram apontados os horários de pico dentro dos intervalos significativos das Tabelas 7, 8 e 9 e então foram calculadas as taxas de fluxo para cada aproximação dentro desses intervalos majorando-se a demanda dos 15 minutos de maior fluxo dentro da hora de pico, de acordo com o item 3.3.2. Posse das taxas de fluxo e dos respectivos fluxos de saturação indicados na Tabela 4 foi possível a obtenção das taxas de ocupação por meio da equação 9, para aplicação do Método de Webster.

Os tempos de ciclo e os tempos de verde pelo Método de Webster foram calculados através das equações 10 e 16, respectivamente, sempre se respeitando o tempo de verde mínimo, segundo o item 2.2.4.c). Os resultados para as intersecções A, B e C estão expostos nas Tabelas 12, 13 e 14, respectivamente.

Tabela 12 – Tempos de ciclo calculados pelo Método de Webster para o cruzamento A nos intervalos significativos dos Histogramas

Cruz.	Intervalo	Horário (duração)	Aproximação	Fmax (veic/h)	Ymax	Tco (s)	tv calc. (s)	Tc util (s)
A	I	00h:00 - 07h:00 22h:00 - 00h:00	Ven. Aires (G2)	103	0.06	23	10	30
			Gal. Sampaio (G1)	105	0.04	23	10	
	II	07h:00 - 10h:00 19h:00 - 22h:00	Ven. Aires (G2)	389	0.24	32	15	35
			Gal. Sampaio (G1)	355	0.13	32	10	
	III	10h:00 - 17h:00	Ven. Aires (G2)	625	0.39	45	26	46
			Gal. Sampaio (G1)	436	0.16	45	10	
	IV	17h:00 - 19h:00	Ven. Aires (G2)	732	0.46	58	34	58
			Gal. Sampaio (G1)	549	0.20	58	14	

Fonte: Elaboração Própria (2018)

Tabela 13 – Tempos de ciclo calculados pelo Método de Webster para o cruzamento B nos intervalos significativos dos Histogramas

Cruz.	Intervalo	Horário (duração)	Aproximação	Fmax (veic/h)	Ymax	Tco (s)	tv calc. (s)	Tc util (s)
B	I	00h:00 - 07h:00	Gal. Vitorino (G4)	122	0.09	24	10	30
			Gal. Sampaio (G3)	73	0.05	24	10	
	II	07h:00 - 10h:00	Gal. Vitorino (G4)	435	0.31	42	20	42
			Gal. Sampaio (G3)	295	0.21	42	12	
	III	10h:00 - 11h:00	Gal. Vitorino (G4)	523	0.37	55	27	55
			Gal. Sampaio (G3)	364	0.26	55	18	
	IV	11h:00 - 12h:00	Gal. Vitorino (G4)	579	0.41	66	34	66
			Gal. Sampaio (G3)	392	0.28	66	22	
	V	12h:00 - 13h:00	Gal. Vitorino (G4)	576	0.41	96	45	96
			Gal. Sampaio (G3)	530	0.38	96	41	
	VI	13h:00 - 19h:00	Gal. Vitorino (G4)	576	0.41	76	37	76
			Gal. Sampaio (G3)	453	0.32	76	29	
	VII	19h:00 - 00h:00	Gal. Vitorino (G4)	418	0.30	46	20	46
			Gal. Sampaio (G3)	362	0.26	46	16	

Fonte: Elaboração própria (2018)

Tabela 14 – Tempos de ciclo calculados pelo Método de Webster para o cruzamento C nos intervalos significativos dos Histogramas

Cruz.	Intervalo	Horário (duração)	Aproximação	Fmax (veic/h)	Ymax	Tco (s)	tv calc. (s)	Tc util (s)
C	I	00h:00 - 07h:00	Vasco Alves (G6)	196	0.14	28	10	30
		22h:00 - 00h:00	Gal. Sampaio (G5)	199	0.14	28	10	
	II	07h:00 - 10h:00	Vasco Alves (G6)	328	0.23	39	15	39
			Gal. Sampaio (G5)	349	0.25	39	14	
	III	10h:00 - 11h:00 19h:00 - 22h:00	Vasco Alves (G6)	441	0.32	50	22	50
			Gal. Sampaio (G5)	396	0.28	50	18	
	IV	11h:00 - 12h:00	Vasco Alves (G6)	390	0.28	58	21	58
			Gal. Sampaio (G5)	524	0.37	58	27	
	V	12h:00 - 17h:00	Vasco Alves (G6)	449	0.32	62	25	62
			Gal. Sampaio (G5)	498	0.36	62	27	
	VI	17h:00 - 19h:00	Vasco Alves (G6)	597	0.43	112	54	112
			Gal. Sampaio (G5)	552	0.39	112	48	

Fonte: Elaboração própria (2018)

É possível verificar na avaliação das tabelas 12, 13 e 14 que há uma variação bem significativa tanto nos tempos de ciclo calculados para cada período do dia como para os tempos de verde demandados para cada aproximação em um mesmo cruzamento. Isso comprova a necessidade de um aprimoramento da sinalização

semafórica nos cruzamentos A, B e C para um melhor aproveitamento dos usuários ao utilizarem as vias.

Os valores das indicações luminosas dispostos nas Tabela 12, 13 e 14 juntamente com os valores de Fluxo de Saturação indicados na Tabela 4, possibilitaram o conhecimento da capacidade do cruzamento, para o novo regime de funcionamento proposto. Os valores encontrados para a nova capacidade, obtida através da equação 1, nos cruzamentos A, B e C nos intervalos significativos encontram-se na Tabela 15, 16 e 17 juntamente com os valores de taxa de fluxos, obtidas conforme item 3.3.2, e dos graus de saturação, calculado através da equação 2, no horário de pico dos intervalos significativos de cada aproximação, tendo sido este período escolhido por sua representatividade.

Tabela 15 – Capacidades, graus de saturação e FHP em função dos tempos de ciclo calculados pelo Método de Webster para o cruzamento A nos intervalos significativos dos histogramas

Cruz.	Intervalo	Grupo	Fmax (veic/h)	Tc util (s)	Cap (ucp/h)	xmax	FHP	Fmin (veic/h)	xmin
A	I	G2	103	30	533	0.19	0.750	20	-
		G1	105		933	0.11	0.722	8	-
	II	G2	389	35	686	0.57	0.930	148	0.22
		G1	355		800	0.44	0.962	128	0.16
	III	G2	625	46	904	0.69	0.905	520	0.58
		G1	436		609	0.72	0.906	384	0.63
	IV	G2	732	58	938	0.78	0.884	732	0.78
		G1	549		676	0.81	0.914	536	0.79

Fonte: Autoria própria (2018)

Nota-se que, para o intervalo I, o grau de saturação denota uma espera excessiva relacionada ao emprego do tempo de verde mínimo devido à baixa demanda, porém este tempo de ciclo é o mínimo aplicável para garantir-se a segurança do usuário. Para o intervalo II o grau de saturação para o horário de maior demanda ficou em cerca de 50% nas duas aproximações, havendo uma folga no atendimento, enquanto para o horário menos movimentado os valores apresentaram valores próximos a 20%, que denotam uma espera excessiva. No intervalo III o grau de saturação da via ficou em torno de 70%, próximo do ideal, mas que ainda há folga nos tempos de verde, enquanto no horário de menor fluxo houve uma ocupação de cerca de 60% da capacidade. O intervalo IV foi o que operou mais

próximo do ideal, com ocupação de cerca de 80% tanto no horário maior, quanto no de menor fluxo.

Tabela 16 – Capacidades, graus de saturação e FHP em função dos tempos de ciclo calculados para o cruzamento B nos intervalos significativos dos histogramas

Cruz.	Intervalo	Grupo	Fmax (veic/h)	Tc util (s)	Cap (ucp/h)	xmax	FHP	Fmin (veic/h)	xmin
B	I	G4	122	30	467	0.26	0.759	28	-
		G3	73		467	0.16	0.546	8	-
	II	G4	435	42	667	0.65	0.895	312	0.47
		G3	295		400	0.74	0.869	276	0.69
	III	G4	523	55	687	0.76	0.844	524	0.76
		G3	364		458	0.79	0.833	364	0.79
	IV	G4	579	66	721	0.80	0.861	580	0.80
		G3	392		467	0.84	0.865	364	0.78
	V	G4	576	96	656	0.88	0.650	576	0.88
		G3	530		598	0.89	0.594	532	0.89
	VI	G4	576	76	682	0.85	0.858	476	0.70
		G3	453		534	0.85	0.922	336	0.63
	VII	G4	418	46	609	0.69	0.753	200	0.33
		G3	362		487	0.74	0.706	112	0.23

Fonte: Elaboração própria (2018)

No cruzamento B, para o intervalo I, há uma baixa demanda em relação à oferta, situação relacionada emprego do tempo de verde mínimo, o que garante a segurança dos usuários, mas gera espera excessiva. Para o intervalo II o cruzamento opera na faixa de 70% para o horário de pico, já no horário de menor demanda há uma espera excessiva, principalmente na aproximação pela Rua General Sampaio (G3), pois a aproximação do outro grupo semaforico estaria com fluxo de apenas 47% da capacidade. Já nos intervalos de III à VI o cruzamento opera próximo à faixa de grau de saturação ideal para que não haja congestionamentos e nem verde ocioso. No intervalo VII o grau de saturação fica próximo à 70% para o horário de pico, mas apresenta um tempo de espera excessivo para o horário de menor fluxo de veículos, onde a vida chegaria a atender apenas 20% da capacidade.

Tabela 17 – Capacidades, graus de saturação e FHP em função dos tempos de ciclo calculados para o cruzamento C nos intervalos significativos dos histogramas

Cruz.	Intervalo	Grupo	Fmax (veic/h)	Tc util (s)	Cap (ucp/h)	xmax	FHP	Fmin (veic/h)	xmin
C	I	G6	196	30	467	0.42	0.894	16	-
		G5	199		467	0.43	0.917	20	-
	II	G6	328	39	538	0.61	0.885	324	0.60
		G5	349		503	0.69	0.862	300	0.60
	III	G6	441	50	616	0.72	0.884	284	0.46
		G5	396		504	0.78	0.907	280	0.56
	IV	G6	390	58	507	0.77	0.941	284	0.56
		G5	524		652	0.80	0.875	552	0.85
	V	G6	449	62	565	0.80	0.882	364	0.64
		G5	498		610	0.82	0.827	424	0.70
	VI	G6	597	112	675	0.88	0.791	464	0.69
		G5	552		600	0.92	0.885	552	0.92

Fonte: Autoria própria (2018)

Para o intervalo I do cruzamento C é aplicável o tempo de verde mínimo, acarretando em valores de grau de saturação baixos, esta situação é necessária para manter a segurança de operação da via. No intervalo II e III a via opera com fluxo de 60% a 70% da sua capacidade no horário de pico, havendo uma grande folga e chegando a operar com cerca de metade da capacidade no horário de menor movimento. Nos intervalos IV e V a via opera próxima a faixa de valores ideais nos horários de pico e a cerca de 70% nos horários de menor movimento, com exceção do grupo G5, da Rua General Sampaio no intervalo IV, em que a via operaria dentro da faixa ideal. No intervalo V a rua operaria dentro dos valores ideais para o grupo G6, aproximação pela Rua Vasco Alves, mas muito próxima à saturação pelo grupo G5, da aproximação pela Rua General Sampaio, isso se deu devido ao fato deste ciclo ter sido calculado com os valores máximos no intervalo entre às 17 e às 19 horas, sendo o intervalo das 17 às 18 horas o horário de pico para a General Sampaio e das 18 às 19 horas para a Vasco Alves, o método de escolha dos intervalos pelos histogramas leva à uma situação que não acontece na prática, sendo os valores da taxa de fluxo correspondente a estes horários de pico utilizadas para o cálculo do tempo de ciclo, levando a um “equilíbrio” entre as taxas de

ocupação das aproximações e a um grau de saturação elevado no intervalo não considerado, devido ao horário ser de grande movimento.

Como observado nos valores resultantes de grau de saturação nas vias, para operação com tempos de ciclos calculados nos intervalos significativos de valores de fluxo de veículos, há frequente ocorrência de folgas e esporádicas ocorrências de saturação. Isso se dá devido ao fato de o Método de Webster não considerar um fluxo de saturação ideal para o dimensionamento das indicações luminosas. Além disso, o cálculo dos valores de taxas de fluxo, utilizado para o dimensionamento dos tempos de ciclos, é realizado projetando-se o valor do número de veículos que passou nos 15 minutos mais movimentados dentro da hora de pico para a hora inteira.

Porém nada prova que a hora mais movimentada contenha, total ou parcialmente, os 15 minutos mais movimentados da aproximação. Isso pode ser observado, por exemplo, na aproximação C, em que o período das 11h às 12h caracteriza o horário de pico, mas o maior número de veículos contados nos intervalos de 15 minutos encontra-se defasado para as 12h15min, apesar de o período das 12h às 13h não caracterizar horário de pico. Isso pode ser observado no Apêndice E.

4.6 Proposta de planos semaforicos pelo Método de Webster

Devido ao fato dos intervalos adotados resultarem em graus de saturação indesejáveis, foi realizado um ajuste nos horários que compõem os intervalos de operação dos semáforos, calculando-se o tempo de ciclo pelo Método de Webster para cada hora nos cruzamentos. Os valores de ciclos e de verdes obtidos encontram-se Apêndice A, B, C, D, E e F. O procedimento adotado para a escolha dos intervalos foi a observação dos tempos de ciclo, utilizando-se o maior tempo necessário dentro de um intervalo de ciclos com valores semelhantes, desde que a relação entre os verdes do ciclo adotado e do menor ciclo necessário no intervalo não gerasse um verde ocioso maior que 10s.

Tabela 18 – Planos propostos e tempos de ciclo calculados pelo Método de Webster para o cruzamento A

Plano	HORÁRIO (Duração)	Grupo	Fmax (ucp/h)	Ymax	Tco (s)	tvcalc (s)	Tcutil (s)
IA	00h:00 - 10h:00 19h:00 - 00h:00	G2	498	0.31	35	19	39
		G1	323	0.12		10	
IIA	10h:00 - 12h:00 13h:00 - 17h:00	G2	625	0.39	44	26	46
		G1	432	0.15		10	
IIA	12h:00 - 13h:00 17h:00 - 19h:00	G2	732	0.46	58	34	58
		G1	549	0.20		14	

Fonte: Autoria Própria (2018)

Tabela 19 – Capacidades, graus de saturação e FHP do cruzamento A em função dos planos semaforicos propostos

Plano	Grupo	Fmax (ucp/h)	Tcutil (s)	Cap (ucp/h)	xmax	FHP	Fmin (ucp/h)	xmin
IA	G2	498	39	779	0.64	0.672	-	-
	G1	323		718	0.45	0.933	-	-
IIA	G2	625	46	904	0.69	0.904	517	0.57
	G1	432		609	0.71	0.815	436	0.72
IIA	G2	732	58	938	0.78	0.884	674	0.72
	G1	549		676	0.81	0.913	535	0.79

Fonte: Autoria Própria (2018)

Tabela 20 – Planos propostos e tempos de ciclo calculados pelo Método de Webster para o cruzamento B

Plano	HORÁRIO (Duração)	Grupo	Fmax (ucp/h)	Ymax	Tco (s)	tvcalc (s)	Tcutil (s)
IB	00h:00 - 08h:00 20h:00 - 00h:00	G4	310	0.22	37	14	37
		G3	319	0.23		13	
IIB	08h:00 - 11h:00 14h:00 - 17h:00 18h:00 - 20h:00	G4	485	0.35	58	26	58
		G3	432	0.31		22	
IIIB	11h:00 - 12h:00 13h:00 - 14h:00 17h:00 - 18h:00	G4	576	0.41	76	37	76
		G3	453	0.32		29	
IVB	12h:00 - 13h:00	G4	576	0.41	96	45	96
		G3	530	0.38		41	

Fonte: Autoria própria (2018)

Tabela 21 – Capacidades, graus de saturação e FHP do cruzamento B em função dos planos semaforicos propostos

Plano	Grupo	Fmax (ucp/h)	Tcutil (s)	Cap (ucp/h)	xmax	FHP	Fmin (ucp/h)	xmin
IB	G4	310	37	530	0.59	0.721	-	-
	G3	319		492	0.65	0.579	-	-
IIB	G4	485	58	628	0.77	0.903	434	0.69
	G3	432		531	0.81	0.927	295	0.55
IIIB	G4	576	76	682	0.84	0.857	578	0.85
	G3	453		534	0.85	0.920	392	0.73
IVB	G4	576	96	656	0.88	0.649	576	-
	G3	530		598	0.89	0.594	530	-

Fonte: Autoria Própria (2018)

Tabela 22 – Planos propostos e tempos de ciclo calculados pelo Método de Webster para o cruzamento C

Plano	HORÁRIO (Duração)	Grupo	Fmax (ucp/h)	Ymax	Tco (s)	tvcalc (s)	Tcutil (s)
IC	00h:00 - 10h:00 20h:00 - 00h:00	G6	357	0.26	42	16	42
		G5	372	0.27		16	
IIC	10h:00 - 12h:00 13h:00 - 17h:00 19h:00 - 20h:00	G6	449	0.32	62	25	62
		G5	498	0.36		27	
IIIC	12h:00 - 13h:00 18h:00 - 19h:00	G6	521	0.37	171	56	120
		G5	715	0.51		54	
IVC	17h:00 - 18h:00	G6	462	0.33	73	29	73
		G5	552	0.39		34	

Fonte: Autoria Própria (2018)

Tabela 23 – Capacidades, graus de saturação e FHP do cruzamento C em função dos planos semafóricos propostos

Plano	Grupo	Fmax (ucp/h)	Tcutil (s)	Cap (ucp/h)	xmax	FHP	Fmin (ucp/h)	xmin
IC	G6	357	42	533	0.67	0.695	-	-
	G5	372		533	0.70	0.650	-	-
IIC	G6	449	62	565	0.80	0.880	441	0.78
	G5	498		610	0.82	0.825	396	0.65
IIIC	G6	521	120	653	0.80	0.551	597	0.91
	G5	715		630	1.14	0.524	562	0.89
IVC	G6	462	73	556	0.83	0.962	462	0.83
	G5	552		652	0.85	0.884	552	0.85

Fonte: Autoria Própria (2018)

Salienta-se que nas Tabelas 19, 21 e 23 não foram apontados valores de grau de saturação mínimos nos intervalos que possuem fluxo muito baixo e nem

para aqueles intervalos que possuem apenas uma hora, onde o grau de saturação mínimo é igual ao máximo.

Observou-se que, comparado à escolha dos ciclos por intervalos significativos dos histogramas, o método de fixação do tempo de ciclo que atende um intervalo mostrou melhor relação entre a oferta e demanda. Isso se torna evidente ao se observar a uniformidade dos valores dos graus de saturação deste método em relação ao dos histogramas. Isso se deve principalmente ao fato de que o Método de Webster foi elaborado considerando-se que a fila de veículos descarrega a uma taxa contínua, o que não se aplica na prática, além do mais, esse método foi desenvolvido não com pretensão sobre valores do grau de saturação desejado, mas principalmente baseado na minimização da espera veicular.

É importante salientar que a taxa de fluxo é dimensionada para valores dentro de uma hora e isso se torna, de certo modo uma limitação. Por outro lado, realizar o dimensionamento da capacidade de uma via baseado em intervalos que não iniciem juntamente com uma hora completa, apenas por eles possuírem um grande número de veículos passantes poderia levar a um superdimensionamento da via e um excesso da capacidade. Isso se torna claro ao se analisar o FHP, que denota a uniformidade de fluxo dentro da hora e mostra, na prática, as flutuações de demanda que existem em situações reais.

O método aqui utilizado para aproximar a capacidade da demanda para tempos de ciclo calculados pelo Método de Webster se tornaria impraticável para ruas com altos valores de fluxo de veículos, nas quais seja necessário manter a operação saturada, implantando o ciclo máximo de 120s, pois o fato dos graus de saturação apresentarem repetidamente valores próximos ou superiores à 1 dificultaria a análise dos dados.

As Tabelas 24, 25 e 26 foram elaboradas para melhor visualização dos resultados obtidos, nos cruzamentos A, B e C, respectivamente, servindo para análise comparativa entre os métodos de utilização dos dados.

Tabela 24 – Tabela resumo-comparativa dos tempos de ciclos para o cruzamento A

Horário (duração)	Grupo	Histogramas				Tempos de ciclo			
		Int.	Duração	tv (s)	Tc (s)	Plano	Duração	tv (s)	Tc (s)
00h - 07h	G2	I	00h - 07h	10	30	IA	00h - 10h	19	39
	G1		22h - 00h	10			19h - 00h	10	
07h - 10h	G2	II	07h - 10h	15	35	IA	00h - 10h	19	39
	G1		19h - 22h	10			19h - 00h	10	
10h - 12h	G2	III	10h - 17h	26	46	IIA	10h - 12h	26	46
	G1			10			13h - 17h	10	
12h - 13h	G2	III	10h - 17h	26	46	IIIA	12h - 13h	34	58
	G1			10			17h - 19h	14	
13h - 17h	G2	III	10h - 17h	26	46	IIA	10h - 12h	26	46
	G1			10			13h - 17h	10	
17h - 19h	G2	IV	17h - 19h	34	58	IIIA	12h - 13h	34	58
	G1			14			17h - 19h	14	
19h - 22h	G2	II	07h - 10h	15	35	IA	00h - 10h	19	39
	G1		19h - 22h	10			19h - 00h	10	
22h - 00h	G2	I	00h - 07h	10	30	IA	00h - 10h	19	39
	G1		22h - 00h	10			19h - 00h	10	

Fonte: elaboração própria (2018)

Tabela 25 – Tabela resumo-comparativa dos métodos de utilização dos dados para o cruzamento B

Cruzamento B									
Horário (duração)	Grupo	Histogramas				Tempos de ciclo			
		Int.	Duração	tv (s)	Tc (s)	Plano	Duração	tv (s)	Tc (s)
00h - 07h	G4	I	00h - 07h	10	30	IB	00h - 08h 20h - 00h	14	37
	G3			10				13	
07h - 08h	G4	II	07h - 10h	20	42	IB	00h - 08h 20h - 00h	14	37
	G3			12				13	
08h - 10h	G4	II	07h - 10h	20	42	IIB	08h - 11h 14h - 17h 18h - 20h	26	58
	G3			12				22	
10h - 11h	G4	III	10h - 11h	27	55	IIB	08h - 11h 14h - 17h 18h - 20h	26	58
	G3			18				22	
11h - 12h	G4	IV	11h - 12h	34	66	IIIB	11h - 12h 13h - 14h 17h - 18h	37	76
	G3			22				29	
12h - 13h	G4	V	12h - 13h	45	96	IVB	12h - 13h	45	96
	G3			41				41	
13h - 14h	G4	VI	13h - 19h	37	76	IIIB	11h - 12h 13h - 14h 17h - 18h	37	76
	G3			29				29	
14h - 17h	G4	VI	13h - 19h	37	76	IIB	08h - 11h 14h - 17h 18h - 20h	26	58
	G3			29				22	
17h - 18h	G4	VI	13h - 19h	37	76	IIIB	11h - 12h 13h - 14h 17h - 18h	37	76
	G3			29				29	
19h - 20h	G4	VII	19h - 00h	20	46	IIB	08h - 11h 14h - 17h 18h - 20h	26	58
	G3			16				22	
20h - 00h	G4	VII	19h - 00h	20	46	IB	00h - 08 20h - 00h	14	37
	G3			16				13	

Fonte: elaboração própria (2018)

Tabela 26 – Tabela resumo-comparativa dos métodos de utilização dos dados para o cruzamento C

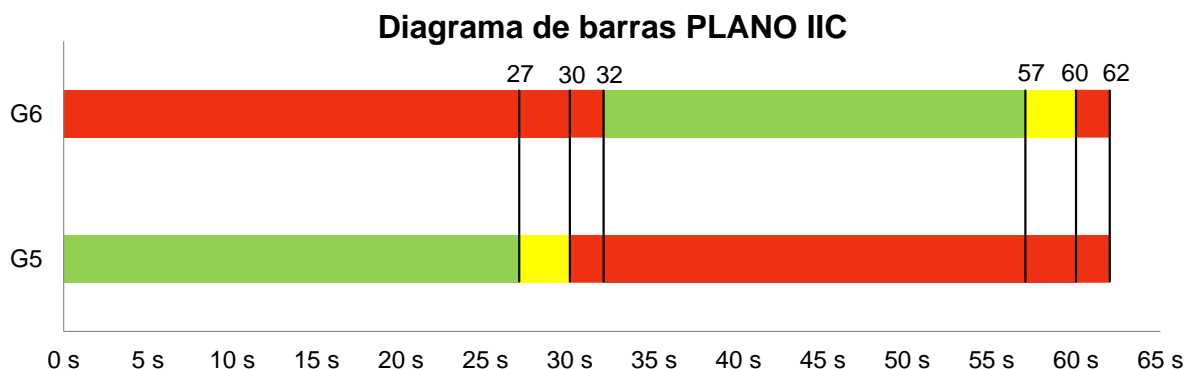
Cruzamento C									
Horário (duração)	Grupo	Histogramas				Tempos de ciclo			
		Int.	Duração	tv (s)	Tc (s)	Plano	Duração	tv (s)	Tc (s)
00h - 07h	G6	I	00h - 07h 22h - 00h	10	30	IC	00h - 10h 20h - 00h	16	42
	G5			10				16	
07h - 10h	G6	II	07h - 10h	15	39	IC	00h - 10h 20h - 00h	16	42
	G5			14				16	
10h - 11h	G6	III	10h - 11h 19h - 22h	22	50	IIC	10h - 12h 13h - 17h 19h - 20h	25	62
	G5			18				27	
11h - 12h	G6	IV	11h - 12h	21	58	IIC	10h - 12h 13h - 17h 19h - 20h	25	62
	G5			27				27	
12h - 13h	G6	V	12h - 17h	25	62	IIIC	12h - 13h 18h - 19h	56	120
	G5			27				54	
13h - 17h	G6	V	12h - 17h	25	62	IIC	10h - 12h 13h - 17h 19h - 20h	25	62
	G5			27				27	
17h - 18h	G6	VI	17h - 19h	54	112	IVC	17h - 18h	29	73
	G5			48				34	
18h - 19h	G6	VI	17h - 19h	54	112	IIIC	12h - 13h 18h - 19h	56	120
	G5			48				54	
19h - 20h	G6	III	10h - 11h 19h - 22h	22	50	IIC	10h - 12h 13h - 17h 19h - 20h	25	62
	G5			18				27	
20h - 22h	G6	III	10h - 11h 19h - 22h	22	50	IC	00h - 10h 20h - 00h	16	42
	G5			18				16	
22h - 00h	G6	I	00h - 07h 22h - 00h	10	30	IC	00h - 10h 20h - 00h	16	42
	G5			10				16	

Fonte: elaboração própria (2018)

4.7 Diagramas de barras

Encontrados os valores do tempo de ciclo, de verde e de entreverdes, foram elaborados os diagramas de barras de cada uma das aproximações para uma melhor compreensão dos planos semaforicos propostos. Para exemplificar tais diagramas, encontra-se disposto no gráfico 16 o diagrama do plano IIC, enquanto os diagramas correspondentes aos outros planos encontram-se nos APÊNDICES K, L e M.

Gráfico 16 – Diagrama de barras Plano IIC – das 10h:00 às 12h:00 e das 13h:00 às 17h:00 e das 19h:00 às 20h:00.



Fonte: Elaboração própria (2018)

O diagrama de barras se mostra relevante quanto à avaliação visual da funcionalidade de um plano semaforico, ilustrando o direito de passagem de uma aproximação em relação à outra, sendo de extrema importância para a sincronização dos semáforos e obtenção da onda verde futuramente, através da elaboração do diagrama espaço-tempo, conforme figura 17. Lembrando que a viabilidade da sincronização semaforica depende ainda dos tempos de verde dos ciclos dos semáforos em sequência, para que haja encaixe do centro do primeiro em relação ao centro do subsequente, respeitando-se ainda a velocidade máxima característica da via.

4.8 Proposta de melhoria nas sinalizações auxiliares

Como para a determinação do fluxo de saturação nas vias estava prevista a utilização do quadro 2, as contagens foram feitas de modo a classificar os movimentos entre aqueles que seguiram reto e os que realizaram conversão. Os resultados obtidos nas contagens encontram-se na Tabela 27.

Tabela 27 – Relação de veículos que realizaram conversões e seguiram reto nos cruzamentos

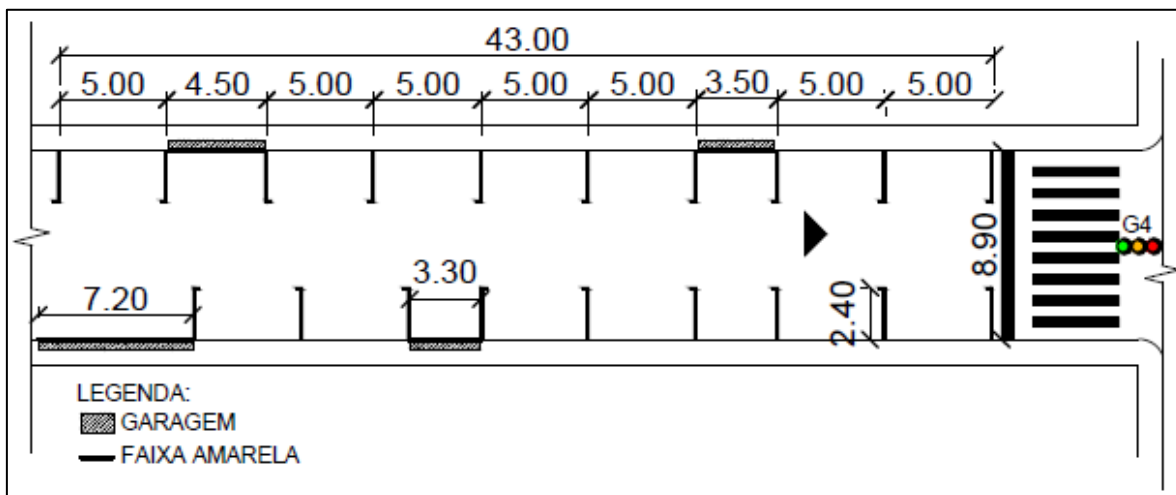
Cruzamento	A		B		C	
	General Sampaio	Venancio Aires	General Sampaio	General Vitorino	General Sampaio	Vasco Alves
Total geral	5172	7010	5057	7376	6627	6459
Total reto	3926	4886	4008	3469	4981	4994
Total dobra	1246	2124	1049	3907	1646	1465
RETO	76%	70%	79%	47%	75%	77%
DOBROU	24%	30%	21%	53%	25%	23%

Fonte: Elaboração Própria

Como para as intersecções B e C o fator determinante foi o uso do solo, levando a utilização do menor valor disponível no Quadro 2 para fluxo de saturação, e devido a intersecção A não possuir número considerável de conversões à esquerda, resultando no mesmo fator determinante dos outros dois cruzamentos, porém com a utilização do segundo menor valor do Quadro 2, esses dados não foram determinantes para o fluxo de saturação. Porém é notável a relevância do número das conversões à esquerda na Rua General Vitorino, no cruzamento B, no qual mais da metade dos veículos que chegaram realizaram conversão.

Com base nisso, elaborou-se uma proposta para viabilizar o aumento da capacidade da intersecção B, fixando-se uma faixa de rolamento para seguir reto e outra para realizar conversão à esquerda. Desta maneira a capacidade para este cruzamento seria o dobro da proposta anteriormente, o que levaria a uma diminuição das taxas de ocupação para metade e diminuiria os tempos de ciclos necessários para atendimento. Esta proposta se encontra simulada no Apêndice J, com os respectivos diagramas de barras correspondentes onde nota-se que o maior ciclo ficaria de 48 segundos, uma redução considerável se comparado ao maior tempo de ciclo calculado para as condições atuais, com valor de 96 segundos. A figura 29 mostra a atual situação da aproximação do cruzamento B pela Rua General Vitorino, enquanto a Figura 30 mostra a proposta de melhoria.

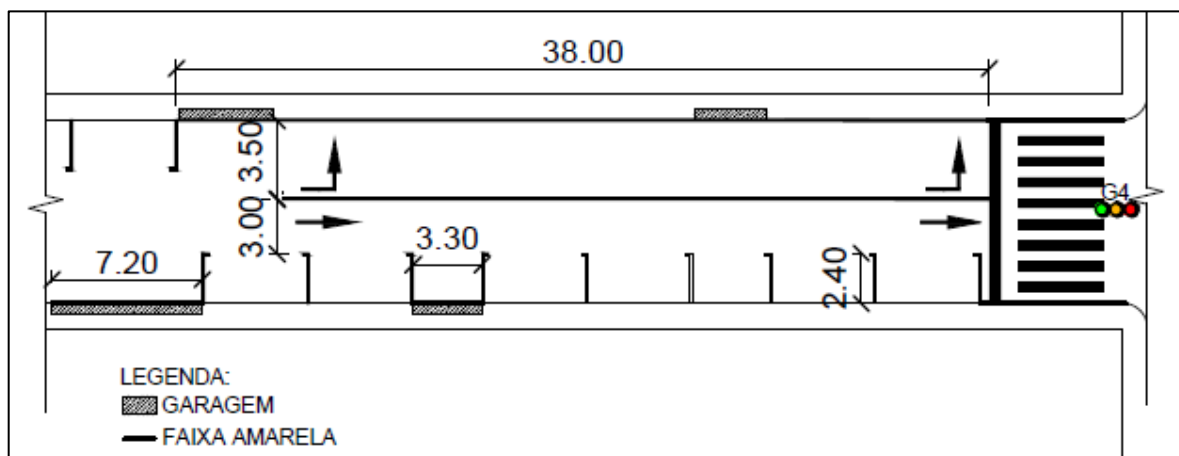
Figura 29 – Aproximação do cruzamento B pela Rua General Vitorino (dimensões em metros)



Fonte: Elaboração própria (2018)

A proposta baseia-se em suprimir 6 vagas de estacionamento, do lado esquerdo da via, mostrado na parte superior do desenho da Figura 25, que juntamente com as duas garagens situada entre elas totalizaria um vão de 38 metros. A nova concepção da aproximação com as propostas implantadas encontra-se ilustrada no croqui da Figura 26.

Figura 30 – Proposta de melhoria na aproximação pela Rua General Vitorino dimensões em metros



Fonte: Elaboração própria (2018)

É recomendável que se faça um estudo mais detalhado dos efeitos desta modificação nas intersecções que seguem o cruzamento B. Além disso, notou-se durante as observações em campo que no período em que o sol se põe há uma dificuldade do condutor em fixar a visão no grupo focal que rege esta aproximação, levando a um tempo de reação estendido, sendo assim, recomenda-se a mudança da localização do grupo focal ou a colocação de um segundo grupo focal, com o mesmo funcionamento do já implantado, na linha de visão do condutor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Quanto à observação em campo, pode se estimar o fluxo de saturação de cada aproximação, essencial para a definição da capacidade da via, avaliar-se as larguras das travessias de pedestres e veículos, que definiram os tempos de verde e entreverdes. Além do mais, notou-se o acúmulo de veículos nas aproximações, ao mesmo passo da ocorrência de verdes ociosos ao longo do dia. Estes foram consideráveis incentivos para o desenvolvimento desse trabalho. Além disso, quanto ao número de veículos nos horários de pico, os histogramas se mostraram eficazes, porém como constatado, o dimensionamento da capacidade para a hora de pico poderia não absorver flutuações de demanda em horários em que parte da totalidade da hora se encontre saturada, parte com fluxo reduzido.

Na questão da avaliação do sistema semaforico atualmente em vigor em relação aos teóricos calculados constatou-se que é possível promover o aumento da fluidez na extensão da Rua General Sampaio. Isso foi provado ao se medir os tempos atualmente em vigor, os quais não levam em conta a variação da demanda ao longo do dia, assim, a capacidade das intersecções se mantém constante, ao passo que o fluxo de veículos varia, já os tempos de ciclo calculados nesse trabalho levam em conta a demanda em cada intervalo horário, adequando a capacidade das intersecções de acordo com a variação do fluxo de veículos. Os planos semaforicos mais adequados para esse fim seriam os escolhidos de acordo com o tempo de ciclo por hora em relação aos calculados para os intervalos significativos dos histogramas, por levarem em consideração as flutuações da demanda.

No que diz respeito às outras sinalizações, que colaboram para a funcionalidade do sistema, foi indicado que, para o cruzamento B há a possibilidade de dobrar-se a capacidade realizando-se mudanças na sinalização horizontal, suprimindo-se algumas vagas de estacionamento e dividindo-se a pista em duas faixas de rolamento, o que representaria uma solução de baixo custo e acarretaria em uma diminuição significativa no atraso da aproximação pela Rua General Vitorino, além da diminuição da espera na aproximação pela Rua General Sampaio.

Um tema que não se encontra aqui explorado, mas que é de fundamental importância diz respeito à sincronização dos semáforos de um cruzamento com o subsequente, a “onda verde”. Este sistema proporciona um maior aproveitamento do sistema por parte do usuário no que diz respeito à paradas, diminuindo os atrasos. Para a implantação da onda verde há que se fazer um estudo da sua viabilidade, de modo que os tempos de verde de um cruzamento em relação ao outro sejam passíveis de encaixe no espaço tempo, respeitando-se a velocidade máxima da via. Outro tema importante diz respeito ao semáforo da travessia de pedestres situado entre os cruzamentos B e C, pois este influencia diretamente na funcionalidade do sistema de modo geral, devendo ser incorporado dentro das programações de sincronia. Além do mais a prioridade do planejamento das cidades no que diz respeito à mobilidade urbana deve estar focado em benefícios para a população de modo geral e não somente aos veículos.

Por fim, o estudo mostrou a viabilidade do aumento da capacidade das intersecções por meio da implantação de sistemas semaforicos que contenham programação de acordo com a demanda observada.

5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se a elaboração de um estudo detalhado a respeito da viabilidade de implantação da sincronização de cada semáforo com tempo de ciclo dimensionado nesse trabalho com o respectivo semáforo subsequente, objetivando a promoção de uma “onda verde”. Sugere-se ainda, a inclusão do semáforo de pedestres, situado entre os cruzamentos B e C, nesta programação de sincronia, para melhor aproveitamento do sistema.

Destaca-se, como sugestão, o estudo futuro desses dois tipos de programação para melhor benefício do sistema apresentado nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

AKISHINO, P. **Algumas Técnicas de Engenharia de Tráfego na Redução e Prevenção de Acidentes de Trânsito**. 1995. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR.

AQUINO, T.D.C de. Análise da intersecção semaforizada formada pelas Av. Prudente de Moraes e Av. Amintas Barros. 13 de jun 2017. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN.

AZEREDO, L. **Seis fatores essenciais para o sincronismo entre semáforos**. 2014. EMDEC - Campinas-SP.

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: 2017-10-04.

CTB. **Código de trânsito brasileiro e legislação complementar em vigor**. 2008. 1ª edição, Brasília, DF.

CTB. **Código de trânsito brasileiro e legislação complementar em vigor**. 2016. 1ª edição, Brasília, DF.

CONFEA. **NR 1.010**. 22 de Agosto de 2005. Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia. Brasil.

CERVANTES, S. G. S. **Um algoritmo descentralizado para controle de tráfego urbano em tempo real**. 2005. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

CONTRAN-CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume I**. 2005. 212 p. Brasília, DF.

CONTRAN-CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume II**. 2007b. 205 Brasília, DF.

CONTRAN-CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume IV**. 2007b. 116 p. Brasília, DF.

CONTRAN-CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V**. 2014. 299 p. Brasília, DF.

DA COSTA A. H. P.; SECO A. J. M.; VASCONCELOS A. L. P. **Sinais Luminosos**. 2005. Universidade do Porto. Cidade do Porto, POR.

DETRAN. **Frota em circulação no RS por município ao ano**. 2017 Disponível em: <<http://www.detran.rs.gov.br/conteudo/27453/frota-do-rs>> Acesso em: 12 out 2017.

DEEPASK. **Frota de veículos: Veja número de veículos por cidade do Brasil - ALEGRETE, RS**. 2013. Disponível em: <Frota de veículos: Veja número de veículos por cidade do Brasil - ALEGRETE, RS>. Acesso em: 12 out 2017.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte. **Manual de Estudo do Tráfego**. 2006. Brasília, DF.

EJZENBERG, Sergio. **Reprogramação de semáforos – Método de Observação de Campo**. Ejzenberg Engenharia e Consultoria. 2005. São Paulo – SP.

FENASDETRANS. **Mortes no Trânsito devem superar AIDS**. Disponível em:<<http://fenasdetran.com/noticia/mortes-no-transito-devem-superar-aids-ate-2030-diz-oms>> Acessado em: 7 ago 2017.

FERNANDES, E. **Capacidade e nível de serviço em rodovias**. 2015. FATEC-ZL Faculdade de Tecnologia da Zona Leste. Notas de Aula.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Brasil em Síntese**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/alegrete/panorama>> Acesso em: 29 out 2017.

JONER, S.; VOLPI, N. M. P. **Sincronização de Semáforos: Modelo matemático para uma aplicação ao tráfego de Curitiba**. Abril 2013. HOLOS, Ano 29, Vol. 2.

JORNAL DO GRANDE ABC. **Mobilidade urbana desafia grandes cidades brasileiras**. Dez 2010. Disponível em:<<http://www.dgabc.com.br/Noticia/182680/mobilidade-urbana-desafia-grandes-cidades-brasileiras>> Acessado em: 12 ago 2017

KRAUSS, Mauricio. **Automação de Sistema Semafórico**. 2014. 67f. UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba – PR.

LACORTT, M.; KRIPKA, M; KRIPKA R.M.L. **Modelos matemáticos para otimização do tráfego urbano semaforizado**. Set 2013. TEMA, vol.14, nº 3. São Carlos – SP.

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.

NETO, J CUCCI. **Um pequeno estudo sobre contagens veiculares na área central da cidade**. 2015. Mackenzie, São Paulo – SP.

PAIVA NETO, CASTRO NETO, LOUREIRO. **Progressão em tempo real versus tempo fixo por banda de passagem em períodos de baixa demanda – Estudo**

de caso. Mar 2006 Disponível em<http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/semaforo_banda_real.pdf>acessado em: 12 ago 2017

PLACAS DE TRÂNSITO. Advertência - Regulamentação - Obras - Educativas - Indicação - Serviços Auxiliares - Atrativos Turísticos. **Placa A-14.** Disponível em: <http://www.placasdetransito.net.br/placa_A-14.html> Acessado em: 12 ago 2017.

PMA. 2017. **Prefeitura Municipal de Alegrete.** Disponível em: < <http://www.alegrete.rs.gov.br>> Acessado em: 12 out 2017.

QUEDNAU, M. **Sincronização de Tempo de Sinal Verde de Semáforos Utilizando Microcontrolador (Malha Aberta).** 2008. Projeto Final de Curso. UniCEUB - Centro Universitário de Brasília, Brasília - DF.

REDIG, Joaquim. **Não há cidadania sem informação, nem informação sem design.** 2004. InfoDesign Revista Brasileira de Design da Informação. ISSN 1808-5377, p. 58-66.

SANTOS, M. **Engenharia de Tráfego: Sinalização Semafórica.** 2017. UNIPAMPA Universidade Federal do Pampa. Notas de Aula.

SINAL DE TRÂNSITO. **Engenharia, operação e educação de trânsito.** Disponível em:<http://www.sinaldetransito.com.br/curiosidades_foto.php?IDcuriosidade=35. Acessado em 12 ago 2017.

TRÂNSITO IDEAL. **Sinalização de Trânsito.** Disponível em< <http://www.transitoideal.com/pt/artigo/1/conductor/49/sinalizacao-de-transito>> Acesso em: ago 2017.

VILANOVA, L. M. Levantamento expedito de dados para Reprogramação Semafórica. 2006, São Paulo - SP.

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

APÊNDICES

Apêndice A
Contagens, FHP, taxa de fluxo a cada 15 minutos para o cruzamento A
aproximação pela Rua General Sampaio

GENERAL SAMPAIO			FS (ucp)	2800
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F (ucp/h)	Y	FHP
0:00 - 0:15	9	37.32	0.013	0.741
0:15 - 0:30	9			
0:30 - 0:45	2			
0:45 - 1:00	7			
1:00 - 1:15	3	21.32	0.008	0.547
1:15 - 1:30	5			
1:30 - 1:45	2			
1:45 - 2:00	1			
2:00 - 2:15	4	17.32	0.006	0.500
2:15 - 2:30	1			
2:30 - 2:45	1			
2:45 - 3:00	2			
3:00 - 3:15	0	8	0.003	0.291
3:15 - 3:30	2			
3:30 - 3:45	0			
3:45 - 4:00	0			
4:00 - 4:15	0	21.32	0.008	0.422
4:15 - 4:30	5			
4:30 - 4:45	2			
4:45 - 5:00	1			
5:00 - 5:15	1	8	0.003	0.500
5:15 - 5:30	0			
5:30 - 5:45	1			
5:45 - 6:00	2			
6:00 - 6:15	8	64	0.023	0.692
6:15 - 6:30	9			
6:30 - 6:45	12			
6:45 - 7:00	16			

... continua

... continuação

GENERAL SAMPAIO			FS (ucp)	2800
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F (ucp/h)	Y	FHP
7:00 - 7:15	24	321.3	0.115	0.641
7:15 - 7:30	32			
7:30 - 7:45	80			
7:45 - 8:00	69	322.6	0.115	0.933
8:00 - 8:15	76			
8:15 - 8:30	71			
8:30 - 8:45	73			
8:45 - 9:00	81	354.5	0.127	0.960
9:00 - 9:15	87			
9:15 - 9:30	82			
9:30 - 9:45	83			
9:45 - 10:00	89	395.8	0.141	0.846
10:00 - 10:15	79			
10:15 - 10:30	63			
10:30 - 10:45	99			
10:45 - 11:00	95	435.8	0.156	0.904
11:00 - 11:15	92			
11:15 - 11:30	96			
11:30 - 11:45	97			
11:45 - 12:00	109	534.5	0.191	0.659
12:00 - 12:15	134			
12:15 - 12:30	71			
12:30 - 12:45	72			
12:45 - 13:00	76	411.8	0.147	0.925
13:00 - 13:15	92			
13:15 - 13:30	97			
13:30 - 13:45	103			
13:45 - 14:00	89	397.2	0.142	0.917
14:00 - 14:15	89			
14:15 - 14:30	81			
14:30 - 14:45	99			
14:45 - 15:00	95			

...continua

...continuação

GENERAL SAMPAIO				FS (ucp)	2800
TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F (ucp/h)	Y	F (ucp/h)	Y	FHP
15:00 - 15:15	88		431.9	0.154	0.815
15:15 - 15:30	74				
15:30 - 15:45	83				
15:45 - 16:00	108				
16:00 - 16:15	79		383.8	0.137	0.884
16:15 - 16:30	74				
16:30 - 16:45	96				
16:45 - 17:00	90				
17:00 - 17:15	137		549.2	0.196	0.913
17:15 - 17:30	121				
17:30 - 17:45	136				
17:45 - 18:00	108				
18:00 - 18:15	133		533.2	0.190	0.735
18:15 - 18:30	89				
18:30 - 18:45	82				
18:45 - 19:00	87				
19:00 - 19:15	95		378.6	0.135	0.715
19:15 - 19:30	74				
19:30 - 19:45	55				
19:45 - 20:00	47				
20:00 - 20:15	35		188	0.067	0.867
20:15 - 20:30	47				
20:30 - 20:45	36				
20:45 - 21:00	45				
21:00 - 21:15	31		125.3	0.045	0.888
21:15 - 21:30	26				
21:30 - 21:45	23				
21:45 - 22:00	30				
22:00 - 22:15	26		105.3	0.038	0.715
22:15 - 22:30	18				
22:30 - 22:45	22				
22:45 - 23:00	9				
23:00 - 23:15	12		70.64	0.025	0.585
23:15 - 23:30	6				
23:30 - 23:45	18				
23:45 - 0:00	5				

Apêndice B
Contagens, FHP, taxa de fluxo a cada 15 minutos para o cruzamento A
aproximação pela Rua Venâncio Aires

VENANCIO AIRES			FS (ucp)	1600
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F	Y	FHP
0:00 - 0:15	7	32	0.020	0.781
0:15 - 0:30	8			
0:30 - 0:45	6			
0:45 - 1:00	4			
1:00 - 1:15	3	29.32	0.018	0.579
1:15 - 1:30	7			
1:30 - 1:45	1			
1:45 - 2:00	6			
2:00 - 2:15	2	17.32	0.011	0.635
2:15 - 2:30	2			
2:30 - 2:45	2			
2:45 - 3:00	4			
3:00 - 3:15	5	20	0.013	0.483
3:15 - 3:30	1			
3:30 - 3:45	1			
3:45 - 4:00	2			
4:00 - 4:15	5	18.64	0.012	0.679
4:15 - 4:30	2			
4:30 - 4:45	4			
4:45 - 5:00	2			
5:00 - 5:15	5	27.92	0.017	0.692
5:15 - 5:30	2			
5:30 - 5:45	5			
5:45 - 6:00	7			
6:00 - 6:15	8	81.28	0.051	0.787
6:15 - 6:30	17			
6:30 - 6:45	20			
6:45 - 7:00	19			
7:00 - 7:15	26	273.24	0.171	0.744
7:15 - 7:30	47			
7:30 - 7:45	68			
7:45 - 8:00	63			

...continua

...continuação

VENANCIO AIRES			FS (ucp)	1600
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F	Y	FHP
8:00 - 8:15	59	498.32	0.311	0.672
8:15 - 8:30	75			
8:30 - 8:45	77			
8:45 - 9:00	125			
9:00 - 9:15	92	389.12	0.243	0.930
9:15 - 9:30	85			
9:30 - 9:45	97			
9:45 - 10:00	88			
10:00 - 10:15	107	611.72	0.382	0.792
10:15 - 10:30	118			
10:30 - 10:45	153			
10:45 - 11:00	107			
11:00 - 11:15	110	517.12	0.323	0.934
11:15 - 11:30	129			
11:30 - 11:45	117			
11:45 - 12:00	126			
12:00 - 12:15	169	674.36	0.421	0.762
12:15 - 12:30	112			
12:30 - 12:45	129			
12:45 - 13:00	104			
13:00 - 13:15	120	578.48	0.362	0.916
13:15 - 13:30	141			
13:30 - 13:45	145			
13:45 - 14:00	125			
14:00 - 14:15	131	631.76	0.395	0.851
14:15 - 14:30	122			
14:30 - 14:45	127			
14:45 - 15:00	158			
15:00 - 15:15	140	625.08	0.391	0.904
15:15 - 15:30	156			
15:30 - 15:45	127			
15:45 - 16:00	142			

...continua

...continuação

VENANCIO AIRES			FS (ucp) 1600	
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F	Y	FHP
16:00 - 16:15	145	578.52	0.362	0.867
16:15 - 16:30	113			
16:30 - 16:45	119			
16:45 - 17:00	126			
17:00 - 17:15	130	731.8	0.457	0.884
17:15 - 17:30	167			
17:30 - 17:45	167			
17:45 - 18:00	183			
18:00 - 18:15	185	739.76	0.462	0.738
18:15 - 18:30	123			
18:30 - 18:45	132			
18:45 - 19:00	106			
19:00 - 19:15	106	425.12	0.266	0.783
19:15 - 19:30	86			
19:30 - 19:45	73			
19:45 - 20:00	68			
20:00 - 20:15	52	206.64	0.129	0.868
20:15 - 20:30	46			
20:30 - 20:45	38			
20:45 - 21:00	43			
21:00 - 21:15	34	147.96	0.092	0.910
21:15 - 21:30	32			
21:30 - 21:45	31			
21:45 - 22:00	37			
22:00 - 22:15	26	102.64	0.064	0.750
22:15 - 22:30	13			
22:30 - 22:45	26			
22:45 - 23:00	13			
23:00 - 23:15	13	85.28	0.053	0.652
23:15 - 23:30	21			
23:30 - 23:45	6			
23:45 - 0:00	15			

Apêndice C
Contagens, FHP, taxa de fluxo a cada 15 minutos para o cruzamento B
aproximação PELA Rua General Sampaio

GENERAL SAMPAIO		FS (ucp)		1400
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F (ucp/h)	Y	FHP
0:00 - 0:15	9	36	0.026	0.666
0:15 - 0:30	7			
0:30 - 0:45	4			
0:45 - 1:00	5			
1:00 - 1:15	4	24	0.017	0.569
1:15 - 1:30	6			
1:30 - 1:45	1			
1:45 - 2:00	2			
2:00 - 2:15	1	16	0.011	0.458
2:15 - 2:30	1			
2:30 - 2:45	1			
2:45 - 3:00	4			
3:00 - 3:15	0	12	0.009	0.361
3:15 - 3:30	3			
3:30 - 3:45	0			
3:45 - 4:00	1			
4:00 - 4:15	4	17	0.012	0.827
4:15 - 4:30	4			
4:30 - 4:45	4			
4:45 - 5:00	2			
5:00 - 5:15	6	25	0.018	0.526
5:15 - 5:30	2			
5:30 - 5:45	3			
5:45 - 6:00	2			
6:00 - 6:15	6	73	0.052	0.545
6:15 - 6:30	4			
6:30 - 6:45	11			
6:45 - 7:00	18			
7:00 - 7:15	23	319	0.228	0.579
7:15 - 7:30	24			
7:30 - 7:45	80			
7:45 - 8:00	59			

...continua

...continuação

GENERAL SAMPAIO		FS (ucp) 1400		
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F (ucp/h)	Y	FHP
8:00 - 8:15	81	325	0.232	0.787
8:15 - 8:30	63			
8:30 - 8:45	51			
8:45 - 9:00	61			
9:00 - 9:15	68	295	0.210	0.867
9:15 - 9:30	61			
9:30 - 9:45	52			
9:45 - 10:00	74			
10:00 - 10:15	73	364	0.260	0.831
10:15 - 10:30	91			
10:30 - 10:45	71			
10:45 - 11:00	67			
11:00 - 11:15	74	392	0.280	0.864
11:15 - 11:30	76			
11:30 - 11:45	91			
11:45 - 12:00	98			
12:00 - 12:15	133	530	0.379	0.594
12:15 - 12:30	72			
12:30 - 12:45	59			
12:45 - 13:00	51			
13:00 - 13:15	79	376	0.268	0.952
13:15 - 13:30	93			
13:30 - 13:45	94			
13:45 - 14:00	92			
14:00 - 14:15	49	365	0.261	0.845
14:15 - 14:30	78			
14:30 - 14:45	91			
14:45 - 15:00	90			
15:00 - 15:15	91	362	0.259	0.892
15:15 - 15:30	91			
15:30 - 15:45	77			
15:45 - 16:00	66			

...continua

...continuação

GENERAL SAMPAIO			FS (ucp)	1400
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F (ucp/h)	Y	FHP
16:00 - 16:15	67	342	0.245	0.918
16:15 - 16:30	79			
16:30 - 16:45	83			
16:45 - 17:00	86			
17:00 - 17:15	103	453	0.324	0.920
17:15 - 17:30	104			
17:30 - 17:45	113			
17:45 - 18:00	97			
18:00 - 18:15	108	432	0.308	0.927
18:15 - 18:30	107			
18:30 - 18:45	106			
18:45 - 19:00	79			
19:00 - 19:15	60	362	0.259	0.705
19:15 - 19:30	91			
19:30 - 19:45	59			
19:45 - 20:00	46			
20:00 - 20:15	49	235	0.168	0.839
20:15 - 20:30	59			
20:30 - 20:45	49			
20:45 - 21:00	41			
21:00 - 21:15	43	173	0.124	0.819
21:15 - 21:30	31			
21:30 - 21:45	27			
21:45 - 22:00	41			
22:00 - 22:15	23	109	0.078	0.896
22:15 - 22:30	22			
22:30 - 22:45	25			
22:45 - 23:00	27			
23:00 - 23:15	16	85	0.061	0.660
23:15 - 23:30	21			
23:30 - 23:45	11			
23:45 - 0:00	8			

Apêndice D
Contagens, FHP, taxa de fluxo a cada 15 minutos para o cruzamento B
aproximação pela Rua General Vitorino

GENERAL VITORINO			FS (ucp) 1400	
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F	Y	FHP
0:00 - 0:15	21	121	0.087	0.753
0:15 - 0:30	19			
0:30 - 0:45	30			
0:45 - 1:00	20			
1:00 - 1:15	15	59	0.042	0.722
1:15 - 1:30	11			
1:30 - 1:45	8			
1:45 - 2:00	9			
2:00 - 2:15	3	27	0.019	0.751
2:15 - 2:30	4			
2:30 - 2:45	6			
2:45 - 3:00	7			
3:00 - 3:15	8	37	0.027	0.759
3:15 - 3:30	5			
3:30 - 3:45	5			
3:45 - 4:00	9			
4:00 - 4:15	6	40	0.029	0.591
4:15 - 4:30	10			
4:30 - 4:45	4			
4:45 - 5:00	4			
5:00 - 5:15	3	45	0.032	0.721
5:15 - 5:30	10			
5:30 - 5:45	11			
5:45 - 6:00	9			
6:00 - 6:15	11	56	0.040	0.767
6:15 - 6:30	9			
6:30 - 6:45	10			
6:45 - 7:00	14			
7:00 - 7:15	18	310	0.222	0.721
7:15 - 7:30	57			
7:30 - 7:45	71			
7:45 - 8:00	78			

...continua

...continuação

GENERAL VITORINO			FS (ucp) 1400	
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F	Y	FHP
8:00 - 8:15	76	425	0.304	0.798
8:15 - 8:30	91			
8:30 - 8:45	66			
8:45 - 9:00	106			
9:00 - 9:15	109	434	0.310	0.894
9:15 - 9:30	85			
9:30 - 9:45	97			
9:45 - 10:00	98			
10:00 - 10:15	87	522	0.373	0.843
10:15 - 10:30	131			
10:30 - 10:45	127			
10:45 - 11:00	96			
11:00 - 11:15	128	578	0.413	0.860
11:15 - 11:30	101			
11:30 - 11:45	145			
11:45 - 12:00	125			
12:00 - 12:15	144	576	0.411	0.649
12:15 - 12:30	93			
12:30 - 12:45	75			
12:45 - 13:00	61			
13:00 - 13:15	68	572	0.408	0.775
13:15 - 13:30	110			
13:30 - 13:45	143			
13:45 - 14:00	122			
14:00 - 14:15	88	476	0.340	0.868
14:15 - 14:30	119			
14:30 - 14:45	105			
14:45 - 15:00	101			
15:00 - 15:15	135	541	0.386	0.904
15:15 - 15:30	123			
15:30 - 15:45	111			
15:45 - 16:00	120			

...continua

...continuação

GENERAL VITORINO			FS (ucp) 1400	
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F	Y	FHP
16:00 - 16:15	108	510	0.365	0.868
16:15 - 16:30	92			
16:30 - 16:45	116			
16:45 - 17:00	128			
17:00 - 17:15	111	576	0.411	0.857
17:15 - 17:30	117			
17:30 - 17:45	144			
17:45 - 18:00	122			
18:00 - 18:15	121	485	0.346	0.903
18:15 - 18:30	114			
18:30 - 18:45	109			
18:45 - 19:00	95			
19:00 - 19:15	83	417	0.298	0.751
19:15 - 19:30	104			
19:30 - 19:45	62			
19:45 - 20:00	64			
20:00 - 20:15	80	373	0.267	0.810
20:15 - 20:30	93			
20:30 - 20:45	68			
20:45 - 21:00	61			
21:00 - 21:15	71	314	0.225	0.864
21:15 - 21:30	79			
21:30 - 21:45	55			
21:45 - 22:00	68			
22:00 - 22:15	90	361	0.258	0.652
22:15 - 22:30	73			
22:30 - 22:45	34			
22:45 - 23:00	38			
23:00 - 23:15	50	198	0.142	0.722
23:15 - 23:30	38			
23:30 - 23:45	31			
23:45 - 0:00	25			

Apêndice E
Contagens, FHP, taxa de fluxo a cada 15 minutos para o cruzamento C
aproximação pela Rua General Sampaio

GENERAL SAMPAIO			FS (ucp)	1400
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F (ucp/h)	Y	FHP
0:00 - 0:15	16	64	0.046	0.781
0:15 - 0:30	12			
0:30 - 0:45	9			
0:45 - 1:00	13			
1:00 - 1:15	12	49	0.035	0.837
1:15 - 1:30	12			
1:30 - 1:45	11			
1:45 - 2:00	7			
2:00 - 2:15	5	37	0.027	0.625
2:15 - 2:30	4			
2:30 - 2:45	9			
2:45 - 3:00	5			
3:00 - 3:15	6	25	0.018	0.526
3:15 - 3:30	2			
3:30 - 3:45	2			
3:45 - 4:00	2			
4:00 - 4:15	2	25	0.018	0.461
4:15 - 4:30	1			
4:30 - 4:45	6			
4:45 - 5:00	2			
5:00 - 5:15	2	17	0.012	0.692
5:15 - 5:30	1			
5:30 - 5:45	4			
5:45 - 6:00	4			
6:00 - 6:15	6	55	0.039	0.780
6:15 - 6:30	13			
6:30 - 6:45	10			
6:45 - 7:00	14			
7:00 - 7:15	25	372	0.266	0.650
7:15 - 7:30	51			
7:30 - 7:45	93			
7:45 - 8:00	72			

...continua

...continuação

GENERAL SAMPAIO			FS (ucp) 1400	
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F (ucp/h)	Y	FHP
8:00 - 8:15	71	349	0.249	0.862
8:15 - 8:30	67			
8:30 - 8:45	75			
8:45 - 9:00	87			
9:00 - 9:15	74	317	0.226	0.878
9:15 - 9:30	60			
9:30 - 9:45	65			
9:45 - 10:00	79			
10:00 - 10:15	99	396	0.283	0.907
10:15 - 10:30	79			
10:30 - 10:45	96			
10:45 - 11:00	85			
11:00 - 11:15	120	524	0.374	0.873
11:15 - 11:30	100			
11:30 - 11:45	131			
11:45 - 12:00	106			
12:00 - 12:15	179	715	0.511	0.524
12:15 - 12:30	77			
12:30 - 12:45	52			
12:45 - 13:00	68			
13:00 - 13:15	90	498	0.356	0.825
13:15 - 13:30	105			
13:30 - 13:45	91			
13:45 - 14:00	125			
14:00 - 14:15	108	432	0.308	0.868
14:15 - 14:30	79			
14:30 - 14:45	100			
14:45 - 15:00	89			
15:00 - 15:15	122	488	0.348	0.823
15:15 - 15:30	83			
15:30 - 15:45	107			
15:45 - 16:00	90			
16:00 - 16:15	91	482	0.345	0.840
16:15 - 16:30	121			
16:30 - 16:45	88			
16:45 - 17:00	105			

...continua

...continuação

GENERAL SAMPAIO		FS (ucp)		1400
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F (ucp/h)	Y	FHP
17:00 - 17:15	106	552	0.394	0.884
17:15 - 17:30	122			
17:30 - 17:45	138			
17:45 - 18:00	121			
18:00 - 18:15	141	562	0.402	0.851
18:15 - 18:30	105			
18:30 - 18:45	121			
18:45 - 19:00	112			
19:00 - 19:15	93	404	0.288	0.837
19:15 - 19:30	101			
19:30 - 19:45	78			
19:45 - 20:00	66			
20:00 - 20:15	74	300	0.214	0.956
20:15 - 20:30	75			
20:30 - 20:45	75			
20:45 - 21:00	63			
21:00 - 21:15	70	280	0.200	0.856
21:15 - 21:30	58			
21:30 - 21:45	63			
21:45 - 22:00	49			
22:00 - 22:15	50	199	0.142	0.916
22:15 - 22:30	47			
22:30 - 22:45	49			
22:45 - 23:00	36			
23:00 - 23:15	24	141	0.101	0.771
23:15 - 23:30	35			
23:30 - 23:45	28			
23:45 - 0:00	22			

Apêndice F
Contagens, FHP, taxa de fluxo a cada 15 minutos para o cruzamento C
aproximação pela Rua Vasco Alves

VASCO ALVES			FS (ucp)	1400
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F	Y	FHP
0:00 - 0:15	30	119	0.085	0.601
0:15 - 0:30	14			
0:30 - 0:45	14			
0:45 - 1:00	14			
1:00 - 1:15	11	44	0.031	0.545
1:15 - 1:30	5			
1:30 - 1:45	3			
1:45 - 2:00	5			
2:00 - 2:15	5	25	0.018	0.723
2:15 - 2:30	4			
2:30 - 2:45	6			
2:45 - 3:00	3			
3:00 - 3:15	4	17	0.012	0.749
3:15 - 3:30	1			
3:30 - 3:45	3			
3:45 - 4:00	4			
4:00 - 4:15	1	13	0.010	0.650
4:15 - 4:30	3			
4:30 - 4:45	2			
4:45 - 5:00	2			
5:00 - 5:15	2	23	0.016	0.706
5:15 - 5:30	4			
5:30 - 5:45	6			
5:45 - 6:00	4			
6:00 - 6:15	7	88	0.063	0.542
6:15 - 6:30	7			
6:30 - 6:45	12			
6:45 - 7:00	22			
7:00 - 7:15	22	357	0.255	0.695
7:15 - 7:30	65			
7:30 - 7:45	89			
7:45 - 8:00	72			

...continua

...continuação

VASCO ALVES			FS (ucp)	1400
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F	Y	FHP
8:00 - 8:15	81	323	0.230	0.854
8:15 - 8:30	68			
8:30 - 8:45	71			
8:45 - 9:00	56			
9:00 - 9:15	68	328	0.234	0.884
9:15 - 9:30	68			
9:30 - 9:45	72			
9:45 - 10:00	82			
10:00 - 10:15	87	441	0.315	0.882
10:15 - 10:30	106			
10:30 - 10:45	86			
10:45 - 11:00	110			
11:00 - 11:15	88	390	0.279	0.939
11:15 - 11:30	89			
11:30 - 11:45	92			
11:45 - 12:00	98			
12:00 - 12:15	130	521	0.372	0.551
12:15 - 12:30	57			
12:30 - 12:45	46			
12:45 - 13:00	54			
13:00 - 13:15	76	449	0.321	0.880
13:15 - 13:30	105			
13:30 - 13:45	102			
13:45 - 14:00	112			
14:00 - 14:15	102	432	0.308	0.912
14:15 - 14:30	108			
14:30 - 14:45	88			
14:45 - 15:00	96			
15:00 - 15:15	84	418	0.299	0.849
15:15 - 15:30	83			
15:30 - 15:45	84			
15:45 - 16:00	105			
16:00 - 16:15	91	362	0.259	0.932
16:15 - 16:30	81			
16:30 - 16:45	89			
16:45 - 17:00	77			

...continua

...continuação

VASCO ALVES			FS (ucp)	1400
HORÁRIO	TOTAL EQUIVALENTE (ucp)	F	Y	FHP
17:00 - 17:15	116	462	0.330	0.962
17:15 - 17:30	105			
17:30 - 17:45	115			
17:45 - 18:00	109			
18:00 - 18:15	149	597	0.426	0.790
18:15 - 18:30	88			
18:30 - 18:45	132			
18:45 - 19:00	103			
19:00 - 19:15	109	437	0.312	0.863
19:15 - 19:30	108			
19:30 - 19:45	75			
19:45 - 20:00	85			
20:00 - 20:15	80	320	0.228	0.861
20:15 - 20:30	71			
20:30 - 20:45	64			
20:45 - 21:00	60			
21:00 - 21:15	67	284	0.203	0.923
21:15 - 21:30	71			
21:30 - 21:45	66			
21:45 - 22:00	58			
22:00 - 22:15	40	196	0.140	0.889
22:15 - 22:30	49			
22:30 - 22:45	36			
22:45 - 23:00	49			
23:00 - 23:15	27	107	0.076	0.963
23:15 - 23:30	25			
23:30 - 23:45	26			
23:45 - 0:00	26			

Apêndice G
Calculo dos tempos de ciclos por hora e intervalos significativos para o
cruzamento A

INTERVALOS SIGNIFICATIVOS PARA PLANOS SEMAFÓRICOS				
CRUZAMENTO A				
HORÁRIO	tv calc (G2)	Tc util	Tc= 39 s	PLANO IA Tc adot 39 s
00h:00 - 01h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G1)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util		
01h:00 - 02h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G1)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util		
02h:00 - 03h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G1)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util		
03h:00 - 04h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G1)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util		
04h:00 - 05h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G1)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util		
05h:00 - 06h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G1)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util		
06h:00 - 07h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G1)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util		
07h:00 - 08h:00	11 s	31 s		
	tv calc (G1)			
	10 s			

...continua

...continuação

HORARIO	tv calc (G2)	Tc util			
08h:00 - 09h:00	19 s	39 s	Tc= 39 s	PLANO IA Tc adot 39 s	
	tv calc (G1)				
	10 s				
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util			
09h:00 - 10h:00	15 s	35 s			
	tv calc (G1)				
	10 s				
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util		Tc= 44 s	PLANO IIA Tc adot 46 s
10h:00 - 11h:00	24 s	44 s			
	tv calc (G1)				
	10 s				
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util			
11h:00 - 12h:00	20 s	40 s			
	tv calc (G1)				
	10 s				
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util	Tc= 52 s		PLANO IIIA Tc adot 58 s
12h:00 - 13h:00	29 s	52 s			
	tv calc (G1)				
	13 s				
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util	Tc= 46 s	PLANO IIA Tc adot 46 s	
13h:00 - 14h:00	23 s	43 s			
	tv calc (G1)				
	10 s				
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util			
14h:00 - 15h:00	26 s	46 s			
	tv calc (G1)				
	10 s				
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util			
15h:00 - 16h:00	25 s	45 s			
	tv calc (G1)				
	10 s				
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util			
16h:00 - 17h:00	22 s	42 s			
	tv calc (G1)				
	10 s				

...continua

...continuação

HORARIO	tv calc (G2)	Tc util		
17h:00 - 18h:00	34 s	58 s	Tc= 58 s	PLANO IIIA Tc adot 58 s
	tv calc (G1)			
	14 s			
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util		
18h:00 - 19h:00	34 s	58 s		
	tv calc (G1)			
	14 s			
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util	Tc= 36 s	PLANO IA Tc adot 39 s
19h:00 - 20h:00	16 s	36 s		
	tv calc (G1)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util		
20h:00 - 21h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G1)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util		
21h:00 - 22h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G1)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util		
22h:00 - 23h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G1)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G2)	Tc util		
23h:00 - 24h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G1)			
	10 s			

Apêndice H
Calculo dos tempos de ciclos por hora e intervalos significativos para o
cruzamento B

INTERVALOS SIGNIFICATIVOS PARA PLANOS SEMAFÓRICOS			
CRUZAMENTO B			
HORÁRIO	tv calc (G4)	Tc util	
00h:00 - 01h:00	11 s	31 s	Tc= 37 s
	tv calc (G3)		
	10 s		
01h:00 - 02h:00	tv calc (G4)	30 s	
	10 s		
	tv calc (G3)		
02h:00 - 03h:00	10 s	30 s	
	tv calc (G3)		
	10 s		
03h:00 - 04h:00	tv calc (G4)	30 s	
	10 s		
	tv calc (G3)		
04h:00 - 05h:00	10 s	30 s	
	tv calc (G3)		
	10 s		
05h:00 - 06h:00	tv calc (G4)	30 s	
	10 s		
	tv calc (G3)		
06h:00 - 07h:00	10 s	30 s	
	tv calc (G3)		
	10 s		
			PLANO IB Tc adot 37s

...continua

...continuação

HORARIO	tv calc (G4)	Tc util		
07h:00 - 08h:00	14 s	37 s	Tc= 37 s	PLANO IB Tc adot 37s
	tv calc (G3)			
	13 s			
08h:00 - 09h:00	20 s	44 s	Tc= 55 s	PLANO IIB Tc adot 58s
	tv calc (G3)			
	14 s			
09h:00 - 10h:00	20 s	42 s		
	tv calc (G3)			
	12 s			
10h:00 - 11h:00	27 s	55 s		
	tv calc (G3)			
	18 s			
11h:00 - 12h:00	34 s	66 s		
	tv calc (G3)			
	22 s			
12h:00 - 13h:00	45 s	96 s	Tc= 96 s	PLANO IVB Tc adot 96s
	tv calc (G3)			
	41 s			
13h:00 - 14h:00	32 s	62 s	Tc= 62 s	PLANO IIIB Tc adot 76s
	tv calc (G3)			
	20 s			
14h:00 - 15h:00	24 s	51 s	Tc= 57 s	PLANO IIB Tc adot 58 s
	tv calc (G3)			
	17 s			
15h:00 - 16h:00	29 s	57 s		
	tv calc (G3)			
	18 s			
16h:00 - 17h:00	26 s	52 s		
	tv calc (G3)			
	16 s			

...continua

...continuação

HORARIO	tv calc (G4)	Tc util	Tc= 76 s	PLANO IIIB Tc adot 76s		
17h:00 - 18h:00	37 s	76 s				
	tv calc (G3)					
	29 s					
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util	Tc= 58 s	PLANO IIB Tc adot 58s		
18h:00 - 19h:00	26 s	58 s				
	tv calc (G3)					
	22 s					
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util				
19h:00 - 20h:00	20 s	46 s				
	tv calc (G3)					
	16 s					
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util	Tc= 37 s	PLANO IB Tc adot 37s		
20h:00 - 21h:00	16 s	36 s				
	tv calc (G3)					
	10 s					
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util				
21h:00 - 22h:00	14 s	34 s				
	tv calc (G3)					
	10 s					
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util				
22h:00 - 23h:00	17 s	37 s				
	tv calc (G3)					
	10 s					
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util				
23h:00 - 24h:00	12 s	32 s				
	tv calc (G3)					
	10 s					

Apêndice I
Calculo dos tempos de ciclos por hora e intervalos significativos para o
cruzamento C

INTERVALOS SIGNIFICATIVOS PARA PLANOS SEMAFÓRICOS				
CRUZAMENTO C				
HORÁRIO	tv calc (G6)	Tc util	Tc= 42 s	PLANO IC Tc adot 42s
00h:00 - 01h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G5)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G6)	Tc util		
01h:00 - 02h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G5)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G6)	Tc util		
02h:00 - 03h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G5)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G6)	Tc util		
03h:00 - 04h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G5)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G6)	Tc util		
04h:00 - 05h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G5)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G6)	Tc util		
05h:00 - 06h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G5)			
	10 s			
HORARIO	tv calc (G6)	Tc util		
06h:00 - 07h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G5)			
	10 s			

...continua

...continuação

HORARIO	tv calc (G6)	Tc util		
07h:00 - 08h:00	16 s	42 s	Tc= 36 s	PLANO IC Tc adot 42s
	tv calc (G5)			
	16 s			
08h:00 - 09h:00	14 s	39 s		
	tv calc (G5)			
	15 s			
09h:00 - 10h:00	15 s	38 s		
	tv calc (G5)			
	13 s			
10h:00 - 11h:00	22 s	50 s	Tc= 58 s	PLANO IIC Tc adot 62s
	tv calc (G5)			
	18 s			
11h:00 - 12h:00	21 s	58 s		
	tv calc (G5)			
	27 s			
12h:00 - 13h:00	68 s	171 s	Tc= 171 s	PLANO IIIC Tc adot 120s
	tv calc (G5)			
	93 s			
13h:00 - 14h:00	25 s	62 s	Tc= 62 s	PLANO IIC Tc adot 62s
	tv calc (G5)			
	27 s			
14h:00 - 15h:00	22 s	53 s		
	tv calc (G5)			
	21 s			
15h:00 - 16h:00	22 s	57 s		
	tv calc (G5)			
	25 s			
16h:00 - 17h:00	18 s	51 s		
	tv calc (G5)			
	23 s			

...continua

...continuação

HORARIO	tv calc (G6)	Tc util		
17h:00 - 18h:00	29 s	73 s	Tc= 73 s	PLANO IVC Tc adot 73s
	tv calc (G5)			
	34 s			
18h:00 - 19h:00	56 s	117 s	Tc= 117 s	PLANO IIIC Tc adot 120s
	tv calc (G5)			
	51 s			
19h:00 - 20h:00	22 s	51 s	Tc= 51 s	PLANO IIC Tc adot 62s
	tv calc (G5)			
	19 s			
20h:00 - 21h:00	14 s	36 s	Tc= 36 s	PLANO IC Tc adot 42s
	tv calc (G5)			
	12 s			
21h:00 - 22h:00	13 s	34 s		
	tv calc (G5)			
	11 s			
22h:00 - 23h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G5)			
	10 s			
23h:00 - 24h:00	10 s	30 s		
	tv calc (G5)			
	10 s			

Apêndice J

Calculo dos tempos de ciclos por hora e intervalos significativos para o cruzamento B com duas aproximações

INTERVALOS SIGNIFICATIVOS PARA PLANOS SEMAFÓRICOS CRUZAMENTO B		
HORÁRIO	tv calc (G4)	Tc util
00h:00 - 01h:00	10 s	30 s
	tv calc (G3)	
	10 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
01h:00 - 02h:00	10 s	30 s
	tv calc (G3)	
	10 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
02h:00 - 03h:00	10 s	30 s
	tv calc (G3)	
	10 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
03h:00 - 04h:00	10 s	30 s
	tv calc (G3)	
	10 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
04h:00 - 05h:00	10 s	30 s
	tv calc (G3)	
	10 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
05h:00 - 06h:00	10 s	30 s
	tv calc (G3)	
	10 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
06h:00 - 07h:00	10 s	30 s
	tv calc (G3)	
	10 s	

...continua

...continuação

HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
07h:00 - 08h:00	10 s	34 s
	tv calc (G3)	
	14 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
08h:00 - 09h:00	10 s	33 s
	tv calc (G3)	
	13 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
09h:00 - 10h:00	10 s	32 s
	tv calc (G3)	
	12 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
10h:00 - 11h:00	12 s	37 s
	tv calc (G3)	
	15 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
11h:00 - 12h:00	13 s	39 s
	tv calc (G3)	
	16 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
12h:00 - 13h:00	14 s	49 s
	tv calc (G3)	
	25 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
13h:00 - 14h:00	13 s	38 s
	tv calc (G3)	
	15 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
14h:00 - 15h:00	11 s	36 s
	tv calc (G3)	
	15 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
15h:00 - 16h:00	12 s	37 s
	tv calc (G3)	
	15 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
16h:00 - 17h:00	11 s	35 s
	tv calc (G3)	
	14 s	

...continua

...continuação

HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
17h:00 - 18h:00	13 s	43 s
	tv calc (G3)	
	20 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
18h:00 - 19h:00	11 s	58 s
	tv calc (G3)	
	18 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
19h:00 - 20h:00	10 s	35 s
	tv calc (G3)	
	15 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
20h:00 - 21h:00	10 s	30 s
	tv calc (G3)	
	10 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
21h:00 - 22h:00	10 s	30 s
	tv calc (G3)	
	10 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
22h:00 - 23h:00	10 s	30 s
	tv calc (G3)	
	10 s	
HORARIO	tv calc (G4)	Tc util
23h:00 - 24h:00	10 s	30 s
	tv calc (G3)	
	10 s	

Apêndice K

Diagramas de barras para os planos semafóricos propostos para o cruzamento A

Diagrama de barras PLANO IA

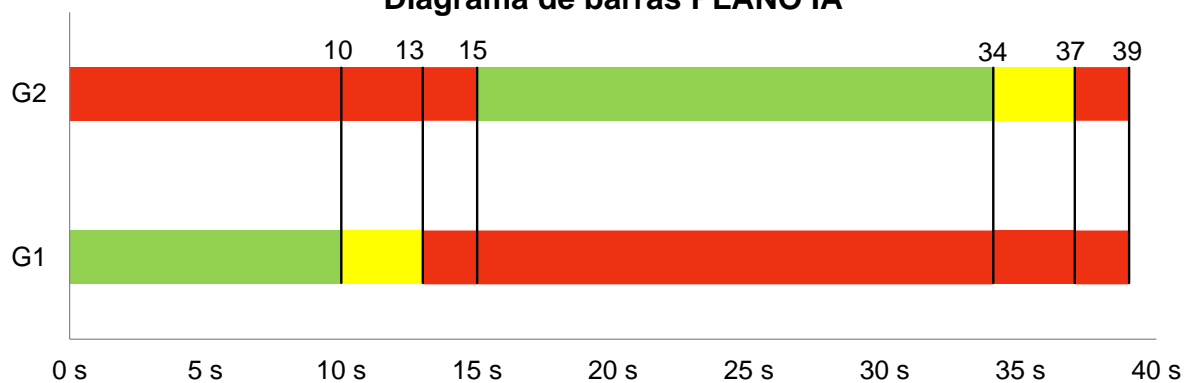


Diagrama de barras PLANO IIA

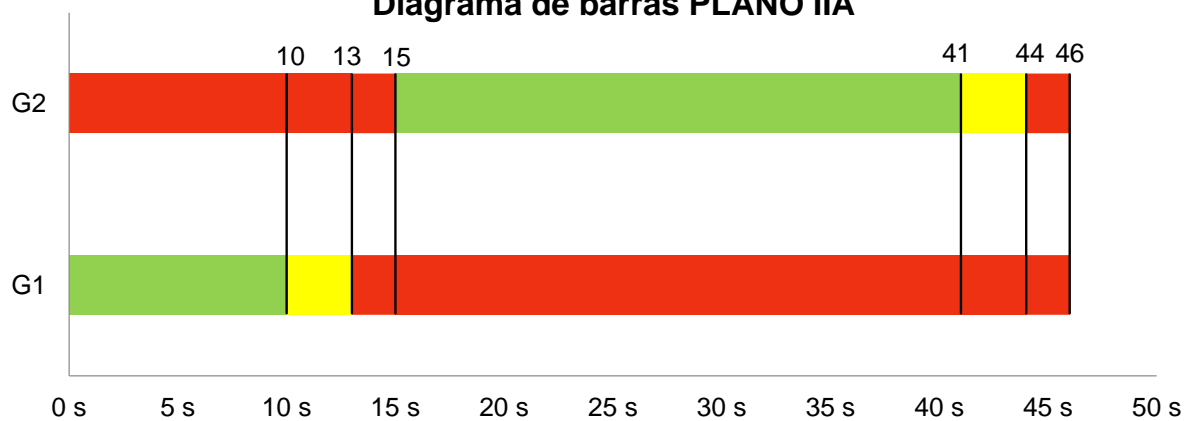
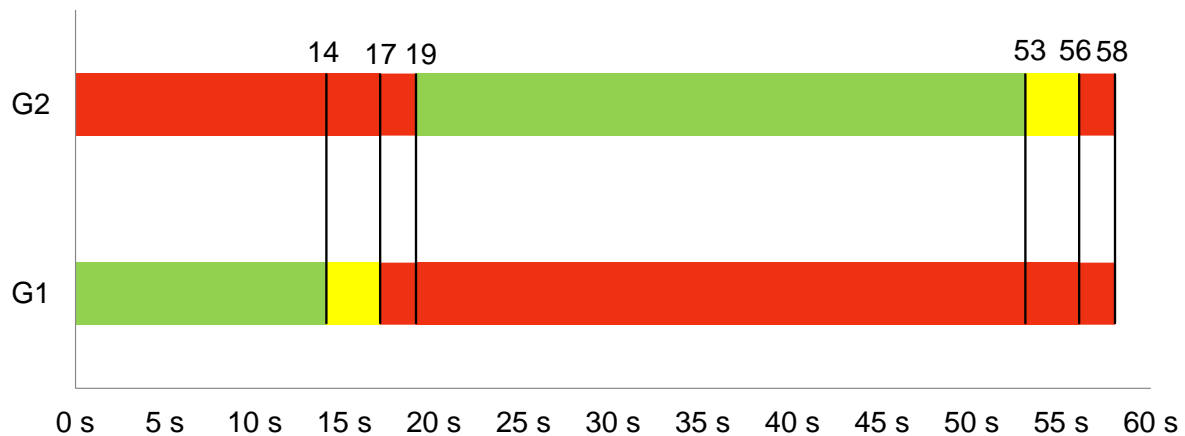


Diagrama de barras PLANO IIIA



Apêndice L
Diagramas de barras para os planos semafóricos propostos para o cruzamento
B

Diagrama de barras PLANO IB

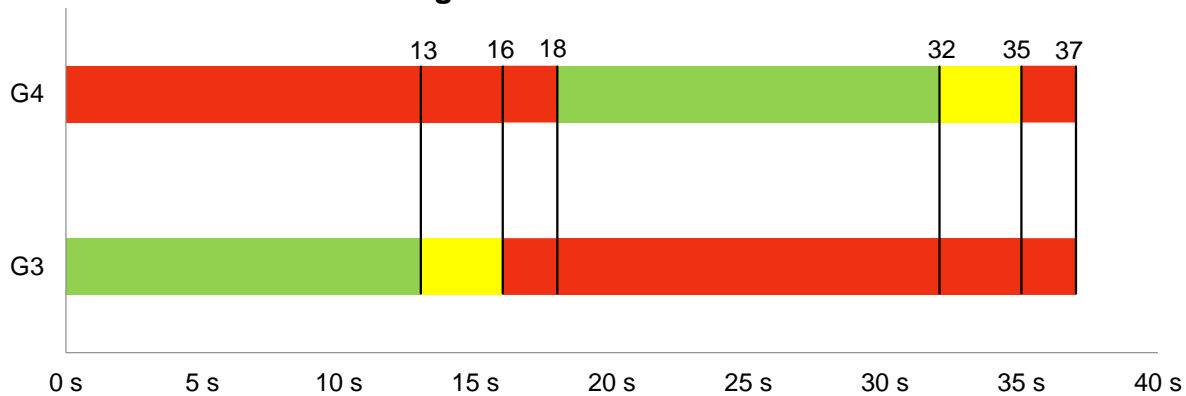


Diagrama de barras PLANO IIB

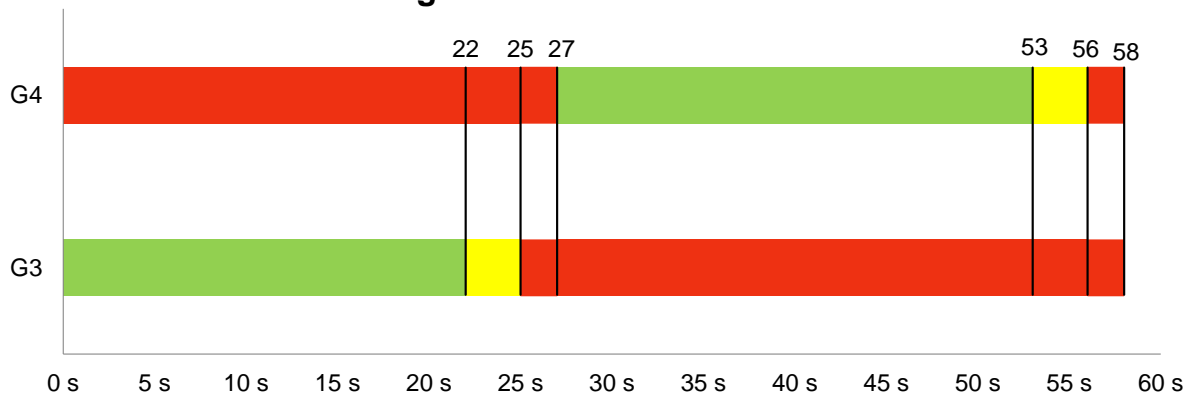


Diagrama de barras PLANO IIIB

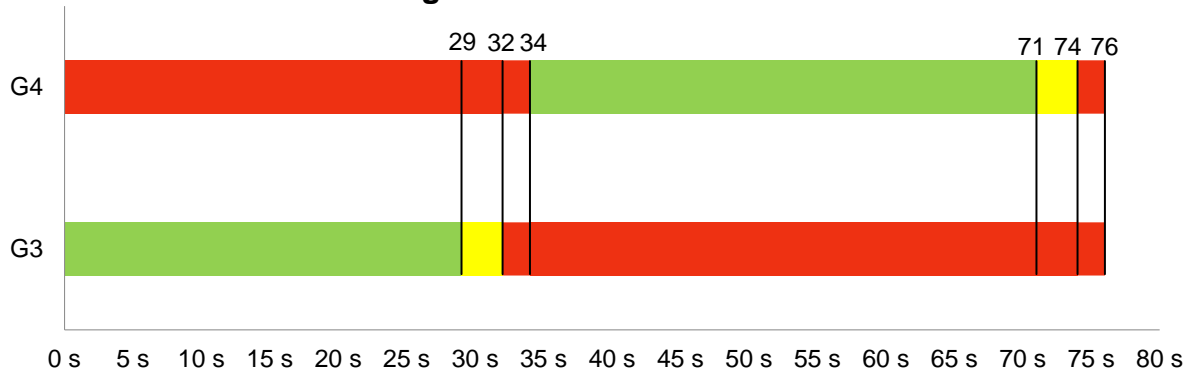
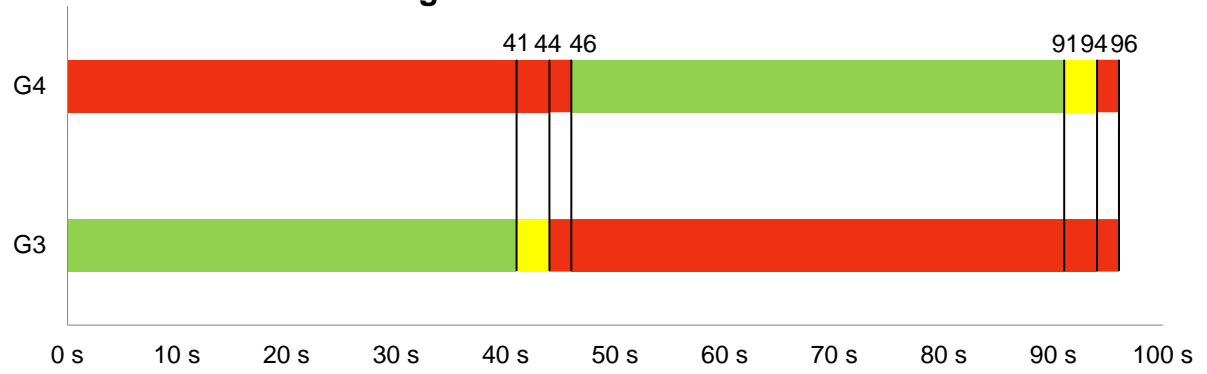


Diagrama de barras PLANO IVB

Apêndice M

Diagramas de barras para os planos semafóricos propostos para o cruzamento C

Diagrama de barras PLANO IC

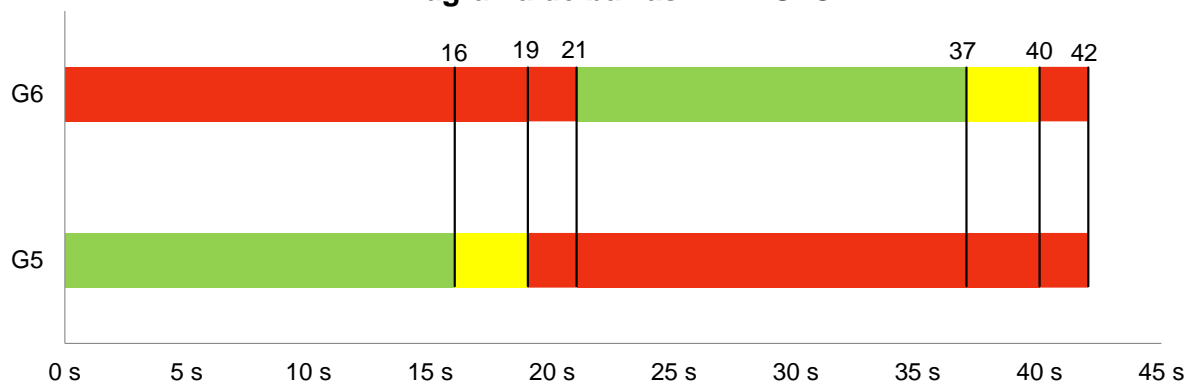


Diagrama de barras PLANO IIC

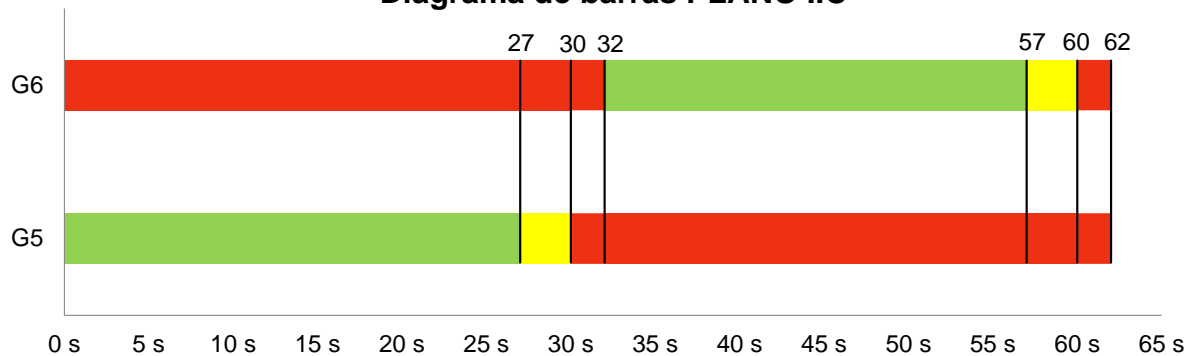


Diagrama de barras PLANO IIIC

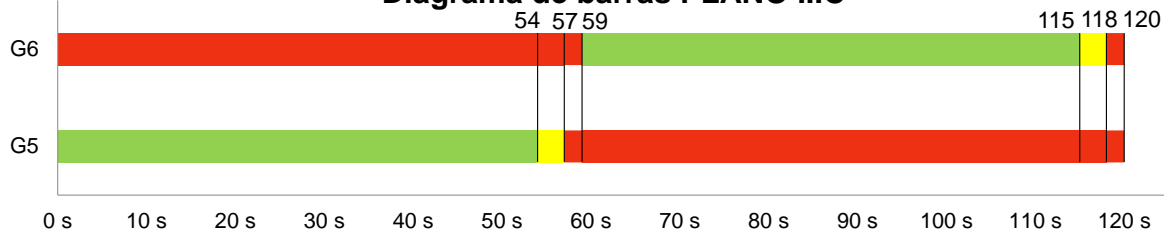


Diagrama de barras PLANO IVC

