

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

FACULDADE DE TECNOLOGIA

ENGENHARIA CIVIL

RAINARA LIMA CAETANO

ANÁLISE SITUACIONAL E PROPOSTA DE MELHORIAS NA INTERSEÇÃO  
SEMAFORIZADA DAS AVENIDAS RODRIGO OTÁVIO E TEFÉ EM MANAUS

Manaus  
2022

RAINARA LIMA CAETANO

ANÁLISE SITUACIONAL E PROPOSTA DE MELHORIAS NA INTERSEÇÃO  
SEMAFORIZADA DAS AVENIDAS RODRIGO OTÁVIO E TEFÉ EM MANAUS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à coordenação do Curso  
de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Amazonas como requisito  
parcial para obtenção do Grau em  
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Maria Guerra Seráfico Pinheiro

Manaus  
2022

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Caetano, Rainara Lima  
C128a Análise situacional e proposta de melhorias na interseção  
semaforizada das Avenidas Rodrigo Otávio e Tefé em Manaus /  
Rainara Lima Caetano, Ana Pinheiro. 2022  
73 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Ana Maria Guerra Seráfico Pinheiro  
TCC de Graduação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do  
Amazonas.

1. Interseção semaforizada. 2. Ciclo semafórico. 3. Método de  
Webster. 4. Análise de saturação. I. Pinheiro, Ana. II. Universidade  
Federal do Amazonas III. Título

RAINARA LIMA CAETANO

Análise Situacional e Proposta de Melhorias na Interseção Semaforizada das  
Avenidas Rodrigo Otávio e Tefé em Manaus

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à coordenação do Curso de  
Engenharia Civil – da Universidade  
Federal do Amazonas, como requisito  
parcial para a obtenção do Grau em  
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado pela Banca Examinadora em 06 de outubro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Maria Guerra Seráfico Pinheiro- (UFAM)

Orientadora

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Augusto César Barreto Rocha – (UFAM)

Membro da Banca

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Ellem Cristiane Morais de Sousa Contente – (UFAM)

Membro da Banca

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pois sem ele não estaria aqui.

Aos meus pais e irmãos, que sempre aconselharam, motivaram a seguir os meus sonhos e nunca me deixaram parar de estudar. Sempre fazendo o possível e o impossível para eu sempre estar todos os dias na faculdade.

Aos meus amigos da faculdade, Aline Angiolis, Ayrton, Carla, Leticia França, Leticia Thaís, Victor Hugo, Vitor Angelo, Alexandre, Janaina, Jaíne, Gabriel Gomes, Gabriel Menezes, Luiz Fernando e Diego, por estarem comigo nessa caminhada, por terem me dado apoio, dado conselhos, estarem comigo em momentos tristezas e alegrias. Além disso, por contribuírem para minha vida profissional.

Aos amigos que conheci ao longo da vida que me deram apoio em momentos difíceis. Em especial, o Agnaldo, que sempre esteve disposto a me ouvir e dar ótimos conselhos sobre a vida pessoal e profissional.

Aos professores da Universidade Federal do Amazonas, que tiveram bastante paciência comigo e tiveram todo o cuidado em me ensinar. Eu sei que sou uma aluna com várias dificuldades, mas tenho a perseverança de continuar e nunca desistir. Agradeço imensamente à minha orientadora Ana Seráfico que é a mulher que eu me inspiro todos os dias a ser.

## RESUMO

CAETANO, Rainara Lima. **Análise Situacional e Proposta de Melhorias na Interseção SemafORIZADA das Avenidas Rodrigo Otávio e Tefé em Manaus.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas, 2022.

A Avenida Rodrigo Otávio, corredor viário de grande relevância para o Polo Industrial de Manaus (PIM), apresenta aspectos físicos e operacionais que impactam, direta ou indiretamente, na mobilidade urbana, gerando custos operacionais e desconforto à sociedade, sendo um destes atrasos em interseções semaforizadas. Assim sendo, o objetivo deste estudo é analisar o desempenho dos tempos semaforicos instalados na interseção da Avenida Rodrigo Otávio com a Av. Tefé, e comparar com os tempos semaforicos solicitados pela demanda atual, verificando seus impactos na mobilidade urbana do referido corredor. A pesquisa foi embasada pelo Método de Webster, apresentado no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Sinalização Semafórica, do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). A partir dos dados coletados em campo, foram verificados fluxo de saturação, fluxo categorizado de veículos, movimentos na via, características geométricas, tempos semaforicos existentes e dimensionamento do novo tempo de ciclo semaforico. Os resultados mostram uma incompatibilidade da programação semaforica instalada e a demanda real computada no local. Isso representa uma limitação no escoamento veicular em torno de 33%, quando considerados os tempos de verde efetivo existentes e os recomendados pelo referido manual brasileiro. Além disso, o trecho viário após o conjunto semaforico analisado, possui vários aspectos limitantes, que, também, precisam ser tratados para minimizar os congestionamentos naquela região.

**Palavras-chaves:** Interseção semaforizada. Ciclo semaforico. Método de Webster. Análise de saturação

## ABSTRACT

CAETANO, Rainara Lima. **Situational analysis and proposal for improvements in the signalized intersection of Rodrigo Otávio and Tefé Avenues in Manaus.** Monograph (Graduation in Civil Engineering) - College of Technology. Federal University of Amazonas. Manaus, Amazonas, 2022.

The Rodrigo Otávio Avenue, a road corridor of great relevance to the Industrial Pole of Manaus (PIM), presents physical and operational aspects that impact, directly or indirectly, on urban mobility, generating operational costs and discomfort to society, one of these being delays in signalized intersections. Therefore, the objective of this study is to analyze the performance of the signal timing installed at the intersection of Avenida Rodrigo Otávio and Av. Tefé, and compare it with the signal timing required by current demand, verifying its impacts on urban mobility in this corridor. The research was based on the Webster Method, presented in the Brazilian Traffic Signalization Manual - Traffic Signalization, of the National Traffic Council (CONTRAN). From the data collected in the field, we verified the saturation flow, the categorized flow of vehicles, movements on the street, geometric characteristics, existing signal timing, and the dimensioning of the new signal cycle time. The results show an incompatibility between the installed traffic light schedule and the real demand computed at the location. This represents a limitation in vehicular flow of around 33%, when considering the existing effective green times and those recommended by the aforementioned Brazilian manual. In addition, the road section after the analyzed set of traffic lights has several limiting aspects, which also need to be addressed to minimize congestion in that region.

Key-words: Signalized intersection. Traffic light cycle. Webster Method. Saturation analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de Foco (a) e grupo focal (b) .....	22
Figura 2 - Elementos de sustentação.....	23
Figura 3 - Montagem dos focos do grupo focal veicular .....	23
Figura 4 - Exemplos de aproximações em interseções .....	24
Figura 5 - Exemplo de representação dos movimentos veiculares (a) e pedestres (b) .....	25
Figura 6 - Representação de grupos semaforicos em uma interseção.....	26
Figura 7 - Diagrama de estágios de um ciclo semaforico .....	27
Figura 8 - Exemplo de diagrama de intervalos luminosos .....	27
Figura 9 - Exemplo de planilha utilizada para contagem do fluxo de saturação.....	31
Figura 10 - Pontos de coleta de dados do fluxo veicular .....	40
Figura 11 - Localização da interseção das avenidas Tefé e General Rodrigo Otávio, Manaus/AM.....	44
Figura 12 - Movimentos veiculares: Av. Rodrigo Otávio <i>versus</i> Av. Tefé.....	45
Figura 13 - Posicionamento dos grupos focais e elementos de sustentação (a) aproximação 1; (b) aproximação 3; (c) aproximação 2.....	46
Figura 14 - Croqui da distribuição de grupos semaforicos e sinalização horizontal nas aproximações.....	47
Figura 15 - Diagrama de estágio .....	48
Figura 16 - Diagrama de intervalos luminosos para um tempo de ciclo de 87s .....	49
Figura 17 - Rampa ascendente na Av. Gen. Rodrigo Otávio (Porto Chibatão / CVGM) .....	56



Figura 18 - Diagrama de intervalos luminosos para um tempo de ciclo de 120s .....	59
Figura 19 - Fatores de equivalência: MANAUSTRANS, DNIT E CONTRAN .....	63
Figura 20 -Faixa de pedestres e acesso .....	64
Figura 21 - Polos geradores de viagens e retorno na Av. Rodrigo Otávio .....	65
Figura 22 - Veículos em fila para realizar retorno na Av. Rodrigo Otávio .....	65
Figura 23 - Proposta de alça para retorno com passagem subterrânea .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cores e sinais da sinalização semafórica em focos de forma circular .....	19
Tabela 2 - Cores e sinais da sinalização semafórica em focos .....	20
Tabela 3 - Semáforos para sinalização semafórica de regulamentação.....	21
Tabela 4 - Fator de equivalência para diferentes tipos de veículos .....	30
Tabela 5 - Velocidade Média em Km com seus respectivos tempos de amarelo. ....	34
Tabela 6 - Fluxo de veículos na Av. Rodrigo Otávio – MV1.....	50
Tabela 7 - Fluxo de veículos na Av. Tefé – MV2.....	51
Tabela 8 - Fluxo de veículos na Av. Rodrigo Otávio – MV3.....	51
Tabela 9 - Fluxo de Saturação (FS): Av . Rodrigo Octavio - CVGM / Porto Chibatão (MV1).....	52
Tabela 10 – Fluxo de Saturação (FS): Av . Tefé - Centro / CVGM (MV2) .....	53
Tabela 11 – Fluxo de Saturação (FS): Av. Rodrigo Octavio – Porto Chibatão / CVGM (MV3).....	53
Tabela 12 - Taxa de ocupação na interseção Av. Tefé e Av. Rodrigo Otávio .....	54
Tabela 13 - Fatores considerados para determinação do tempo de entreverdes .....	55
Tabela 14 - Tempo de amarelo e tempo de vermelho geral .....	57
Tabela 15 - Tempo de entreverdes .....	57
Tabela 16 - Cálculo para tempo de ciclo ótimo.....	58
Tabela 17 - Tempo de verde efetivo para cada grupo focal .....	59
Tabela 18 - Tempos de ciclo semafórico: Av.Tefé versus Av. Rodrigo Otávio.....	60
Tabela 19 - Número de veículos e percentual de atendimento por tempo de verde efetivo .....	61

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CETSP: Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo

CONTRAN: Conselho Nacional de Trânsito.

CVGM: Complexo Viário Gilberto Mestrinho

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

IMMU: Instituto Municipal de Mobilidade Urbana

MV: Movimento Veicular

MP: Movimentação de pedestre

PIM: Polo Industrial de Manaus

PGV: Polo Gerador de Viagem

VUC: Veículos Urbanos de Carga

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	14
1.1.	Objetivo.....	16
1.1.1.	Objetivo geral.....	16
1.1.2.	Objetivo específicos .....	16
1.2.	Estrutura do trabalho.....	17
2.	REFERENCIAL TEÓRICO .....	18
2.1.	Sinalização semafórica .....	18
2.1.1.	Semáforo .....	20
2.1.1.1.	Foco e grupo focal .....	21
2.1.2.	Elementos de sustentação .....	22
2.1.3.	Interseção semaforizada, aproximação e movimentos .....	24
2.1.4.	Tipos de travessia para pedestre .....	25
2.1.5.	Grupo Semafórico.....	25
2.1.6.	Vermelho geral.....	26
2.1.7.	Entreverdes.....	26
2.1.8.	Estágio.....	26
2.1.9.	Diagrama de estágios e diagrama de intervalos luminosos.....	27
2.1.10.	Ciclo semafórico.....	28
2.1.11.	Tipos e estratégias de controle .....	28
2.2.	Metodologia para dimensionamento de Semáforo isolado .....	29
2.2.1.	Volume de Tráfego.....	29
2.2.2.	Volume de tráfego equivalente.....	29
2.2.3.	Fluxo de saturação.....	30
2.2.4.	Tempo perdido de um ciclo .....	31

2.2.5.	Taxa de ocupação.....	32
2.2.6.	Entreverdes.....	32
2.2.7.	Grau de Saturação.....	34
2.2.8.	Tempo de ciclo semaforico .....	35
2.2.9.	Tempo de verde real e tempo de verde efetivo .....	36
2.2.10.	Capacidade.....	37
3.	METODOLOGIA.....	39
4.	INTERSEÇÃO SEMAFORIZADA DAS AVENIDAS TEFÉ E RODRIGO OTÁVIO .....	43
4.1.	Área de estudo.....	43
4.2.	Caracterização da Interseção semaforizada .....	45
4.2.1.	Aproximação e Movimento veicular.....	45
4.2.2.	Grupos focais e elementos de sustentação.....	45
4.2.3.	Diagrama de estágios e diagrama de intervalos luminosos.....	48
4.3.	Determinação do novo tempo de ciclo semaforico .....	49
4.3.1.	Fluxo de veículos .....	50
4.3.2.	Fluxo de saturação.....	52
4.3.3.	Taxa de ocupação.....	54
4.3.4.	Entreverdes.....	54
4.3.5.	Cálculo do tempo de ciclo semaforico .....	57
4.4.	Análise comparativa dos tempos de ciclo semaforicos.....	60
4.4.1.	Programação semaforica instalada e a taxa de escoamento veicular.....	60
4.4.2.	Características no entorno da interseção .....	64
5.	CONCLUSÕES .....	68
6.	REFERÊNCIAS.....	71

## 1. INTRODUÇÃO

O Polo Industrial de Manaus (PIM) agrega mais de 600 indústrias em diversos setores como, “de bens de informática, eletroeletrônico, metalúrgico, mecânico, químico, têxtil, automotivo (duas rodas), bebidas, indústria moveleira, de editorial e gráfico, empregando diretamente 87 mil trabalhadores” (SUFRAMA, 2018). Diante da sua produção industrial, o PIM gera grande movimentação de pessoas e cargas no sistema viário de Manaus, no processo de suprimento das plantas industriais e de distribuição física dos produtos acabados.

Bernardes e Ferreira (2015) relatam que cidades grandes, com desenvolvimento econômico e uma localização privilegiada, costumam apresentar em paralelo, uma evolução nos meios de transportes por conta do grande volume de produção que escoam internamente e para outras localidades. Contudo, de acordo com Caixeta e Martins (2001), nem sempre o sistema de transporte acompanha o desenvolvimento da cidade, gerando desconforto, dificuldades e impactos na sociedade em geral. Essas dificuldades podem ser observadas na cidade de Manaus.

Segundo o Ministério das Cidades (2006),

As cidades têm como papel principal maximizar a troca de bens e serviços, cultura e conhecimentos entre seus habitantes, mas isso só é possível se houver condições de mobilidade adequadas para seus cidadãos. Nesse sentido, a mobilidade é um atributo associado à cidade, e corresponde à facilidade de deslocamento de pessoas e bens na área urbana (...) (Ministério das Cidades, 2006, apud COSTA, 2008).

Visando tal facilidade, foi promulgada a Lei Federal nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012, que institui a Política Nacional de Mobilidade Urbana, e define mobilidade urbana como a condição em que se realizam os deslocamentos de pessoas e cargas no espaço urbano (Guimarães, 2012). Nesse contexto, percebe-se que a mobilidade urbana em Manaus, quando trata-se de deslocamentos de cargas no meio urbano, apresenta vários aspectos que ainda precisam ser melhor investigados.

De acordo com o Plano de Mobilidade Urbana de Manaus – PlanMob/Manaus (MANAUS, 2015), para o tratamento do transporte de cargas nessa cidade, é sugerido uma reestruturação de rotas, horários e regulamentação, para que esse tipo de

transporte seja mais eficiente. Neste caso, essa reestruturação deve ser cuidadosamente pensada, haja vista que a malha viária é solicitada por dois tipos de sistema de transporte de carga: o que abastece o comércio local (bairros), com veículos urbanos de carga (VUCs) ou de médio porte (caminhões toco ou trucado), e os que atendem as cadeias produtivas do Polo Industrial de Manaus (PIM), com veículos de carga de um porte maior (semipesados e pesados).

Dessa forma, o planejamento da circulação viária, considerando os dispositivos de controle de tráfego, como exemplo, os semáforos, deve atentar para as características operacionais desses tipos de veículos. Estudos de autores como Silva (2006) e Silva (2012), destacam que as questões sobre o dimensionamento adequado das faixas de rolamento, do sentido do fluxo e da sinalização viária, influenciam as manobras e o tempo de operação de veículos. Projetos inadequados geram problemas para a mobilidade urbana.

Segundo Felex (2017), a importância dos semáforos para o cotidiano urbano está em aumentar a capacidade dos veículos de trafegarem por uma via e melhorar a qualidade de vida. O semáforo opera como controlador de movimentos, permitindo o fechamento de um movimento para que outro movimento tenha permissão e acesso à via. Se o semáforo for o causador da retenção, isso deverá ser estudado.

Em alguns corredores urbanos de Manaus (AM), em interseções semaforizadas, observam-se acúmulo de veículos em filas devido à inadequação entre oferta e demanda. Muitas vezes isso se deve ao fato de que, o tempo de verde não é suficiente para absorver o número de veículos que chegam em uma determinada via, dentro de um nível de aceitação. É necessário fazer um estudo adequado do fluxo de veículos nas vias que se interceptam, para que haja um equilíbrio e uma distribuição adequada dos tempos semaforicos.

Uma das vias que apresenta problemas no escoamento do tráfego é Avenida Rodrigo Otávio. Esta via é uma das principais avenidas da zona Sul, tem uma extensão aproximada de 7,34 km, e contém 08 pontos com sinalizações semaforicas. Além disso, seu início é próximo ao porto Chibatão, que é responsável por 80% de toda movimentação de carga do estado do Amazonas, sendo considerado o maior

complexo portuário privado da América Latina (Grupo Chibatão, 2022). De acordo com os estudos de Freitas (2022), sobre pesquisas de velocidade e retardamento nessa avenida, a velocidade média operacional no trecho mais crítico, logo após uma das interseções semaforizadas, é de 10 km/h.

Nesse contexto, investigar a eficiência da sinalização semafórica se faz necessário. Estudos visando checar a compatibilidade entre o fluxo de veículos e os dispositivos de controle de tráfego, do tipo semáforo, considerando o desempenho de veículos de carga em rotas urbanas, podem contribuir para análises e monitoramento da capacidade viária, bem como para identificar trechos críticos e o nível de serviço das vias. E, também, contribuir para a elaboração de indicadores de transporte de carga em áreas urbanas. Embora o Instituto Municipal de Mobilidade Urbana - IMMU, gestor do trânsito e transporte em Manaus, tenha divulgado em setembro de 2022, a contratação para implantação de 50 semáforos inteligentes (TORRES, 2022), atuados pelo tráfego, o foco deste estudo se limitará aos semáforos veiculares isolados, de planos fixos.

## **1.1. Objetivo**

### **1.1.1. Objetivo geral**

Analisar os tempos semafóricos para interseção localizada na Avenida Rodrigo Otávio e Avenida Tefé, Zona Leste de Manaus (AM), frente à demanda veicular atual, e comparar com os tempos semafóricos implantados e em operação, considerando seu desempenho e implicações na fluidez do tráfego local.

### **1.1.2. Objetivo específicos**

- Levantar os dados físicos e operacionais na interseção selecionada para estudo, tais como: geometria local, sinalização, fluxo categorizado de veículos, fluxo de saturação, tempos semafóricos existentes, dentre outros julgados necessários para o estudo;
- Dimensionar o tempo de ciclo semafórico para os dados coletados do fluxo veicular e comparar com os tempos semafóricos existentes em operação;



- Analisar o desempenho do sistema semafórico instalado na Av. Rodrigo Otávio e seus impactos na fluidez do tráfego local.

## **1.2. Estrutura do trabalho**

Este trabalho está estruturado em seis capítulos. Sendo o primeiro capítulo destinado à introdução, contextualização sobre o tema, identificação da problemática, objetivos e justificativas para a prática do estudo. O segundo capítulo, apresenta o referencial teórico, que consiste em apresentar os conceitos, tipologia e metodologia para o dimensionamento de sinalização semafórica, adotados no Brasil.

A metodologia adotada para esta pesquisa é mostrada no terceiro capítulo, e no quarto capítulo é apresentado um estudo sobre a operação dos semáforos instalados na interseção das avenidas Tefé e Rodrigo Otávio, com dados expostos em tabelas, quadros e figuras.

O quinto capítulo refere-se à análise dos resultados e discussões sobre o desempenho do conjunto semafórico e seus impactos na mobilidade urbana. Por fim, no sexto capítulo estão contidas as conclusões deste trabalho, e na sequência, as referências e anexos.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Este capítulo apresenta o referencial teórico que embasa as pesquisas de campo e as análises sobre o dimensionamento do tempo de ciclo de um semáforo isolado. No Brasil, o único documento oficial que apresenta uma metodologia para elaboração de programação semaforica, seja ela para semáforos do tipo isolado ou em rede, é o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V: Sinalização Semafórica, publicado pelo Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN, aprovado pela Resolução CONTRAN n.º 483/2014.

Outros documentos semelhantes foram publicados por órgão gestores municipais, mas são espelhados na resolução acima. À exemplo, as publicações da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo – CETSP (2021) e as da Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte – BHTrans (2011).

Assim sendo, pretende-se apresentar neste tópico, de maneira sucinta, definições e métodos para o cálculo de tempos semaforicos baseados na Resolução CONTRAN n.º 483/2014. Ressaltando que as publicações acima, mostram modelos matemáticos estrangeiros, que na atualidade são adotados para o dimensionamento de sinalização semaforica de cidades brasileiras.

### **2.1. Sinalização semaforica**

Segundo o CONTRAN (2014), “a sinalização semaforica é um subsistema da sinalização viária, composta de indicações luminosas acionadas, alternada ou intermitentemente, por meio de sistema elétrico/eletrônico, cuja função é controlar os deslocamentos”. É um sistema de linguagem simples que tem como finalidade alertar e orientar, tanto os condutores dos veículos quanto os pedestres, sobre os movimentos da via.
















Essa sinalização pode ser de dois tipos, de acordo com sua função:

- a) Sinalização semaforica de regulamentação: baseada no sistema de indicação luminosa, alternada, em duas ou três cores, dependendo de sua função. O sistema de duas cores é para pedestres e três cores é para veículos.

b) Sinalização semafórica de advertência: são formados por dois focos amarelos em funcionamento intermitente que indicam uma situação perigosa ou obstáculos na via.






Os focos ou pictogramas de uma sinalização semafórica apresentam as cores conforme especificações das Normas ABNT NBR7995 e NBR15889, como mostradas nas tabelas a seguir.

Tabela 1 - Cores e sinais da sinalização semafórica em focos de forma circular

FORMA	COR	SINAL	SIGNIFICADO	AÇÃO DO USUÁRIO DA VIA	
Circular	Vermelha		Indica a proibição do direito de passagem	Obrigatoriedade do condutor em parar o veículo	
	Amarela		Indica o término do direito de passagem.	O condutor <b>deve</b> parar o veículo salvo se não for possível 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, podendo efetuar os movimentos de acordo com a indicação luminosa e observar as normas de circulação e conduta.	
	Amarela (intermitente)		Adverte da existência de situação perigosa ou obstáculo.	O condutor <b>deve</b> reduzir a velocidade e observar as normas de circulação e conduta.	
	Amarela com seta (opcional)		Indica término do direito de passagem em semáforo direcional.	O condutor <b>deve</b> parar o veículo salvo se não for possível imobilizá-lo em condições de segurança.	
					
					
	Vermelha		Indica a proibição 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.	
					
					
Vermelha		Indica para o ciclista a proibição do direito de passagem.	Obrigatoriedade do ciclista em parar o veículo.		
Verde		Indica para o ciclista a permissão do direito de passagem.	O ciclista tem a permissão de iniciar ou prosseguir em marcha.		

Fonte: CONTRAN, 2014, p.25.

Tabela 2 - Cores e sinais da sinalização semafórica em focos

FORMA	COR	SINAL	SIGNIFICADO	AÇÃO DO USUÁRIO DA VIA
Quadrada	Vermelha		Indica para o pedestre a proibição da travessia	O pedestre <b>não deve</b> iniciar a travessia
	Vermelha (intermitente)		Indica para o pedestre o término do direito de iniciar a travessia. Sua duração <b>deve</b> permitir a conclusão das travessias iniciadas no tempo de verde.	O pedestre <b>não deve</b> iniciar a travessia. O pedestre que já iniciou a travessia no tempo de verde <b>deve</b> 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 de iniciar a travessia
	Vermelha		Indica, por meio do símbolo "X", a proibição de circular na faixa sinalizada	O condutor <b>não deve</b> circular pela faixa sinalizada
	Verde		Permite a circulação na faixa indicada pela seta	O condutor tem a permissão de circular pela faixa sinalizada

Fonte: CONTRAN, 2014, p.25.











### 2.1.1. Semáforo

De acordo com Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Sinalização Semafórica (CONTRAN, 2014):

O semáforo, ou grupo focal, é o conjunto obtido pela montagem de um ou mais focos luminosos com suas faces voltadas para o sentido do movimento. Os grupos focais são empregados na sinalização semafórica de regulamentação e advertência, de acordo com a disposição apresentada na Resolução No 160/04 do CONTRAN (Anexo II do CTB) (CONTRAN, 2014, p.27).

Os semáforos de regulamentação podem ser: veicular; veicular direcional; veicular de direção livre; veicular de controle de acesso; veicular de faixa reversível; pedestres; e, ciclistas (ver Tabela 3).

Tabela 3 - Semáforos para sinalização semafórica de regulamentação

TIPO DO SEMÁFORO	POSIÇÃO VERTICAL	POSIÇÃO HORIZONTAL
Veicular	 Observação: O grupo focal pode ser configurado com vermelho 300mm e amarelo/verde 200mm	 Observação: Só utilizar quando projetado sobre a via
Veicular Direcional	 Observação: Opcionalmente, pode-se utilizar foco amarelo com seta.	 Observações: ✓ Só utilizar quando projetado sobre a via. ✓ Opcionalmente, pode-se utilizar foco amarelo com seta.
Veicular Direção Livre		
Veicular Controle de Acesso Específico		
Veicular Controle ou Faixa Reversível	Em semáforos de LED pode ser usado foco único.	
Pedestre		
Ciclista		

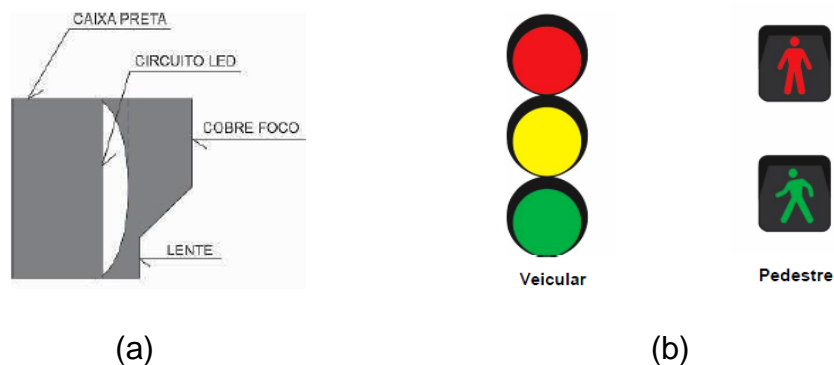
Fonte: CONTRAN, 2014, p.28.

Quando uma interseção se utiliza de semáforos como sinalização, para determinar o direito de passagem dos movimentos de veículos ou de pedestres, é denominada de interseção semafórica (CETSP, 2021) ou semaforizada. Sendo esta última denominação bastante usual nas literaturas técnico-científicas.

#### 2.1.1.1. Foco e grupo focal

Segundo a CETSP (2021, p.33), o foco é “o elemento que emite a indicação luminosa colorida, utilizando as funções de regulamentação ou advertência” (Figura 1.a) formado pelos seguintes elementos: conjunto óptico, máscara, pestana ou cobre-foco e caixa porta-foco. Já o grupo focal (Figura 1.b) é “o conjunto de focos, com uma determinada composição de cores, que emite as indicações luminosas de forma alternada ou intermitente”.

Figura 1 - Tipos de Foco (a) e grupo focal (b)



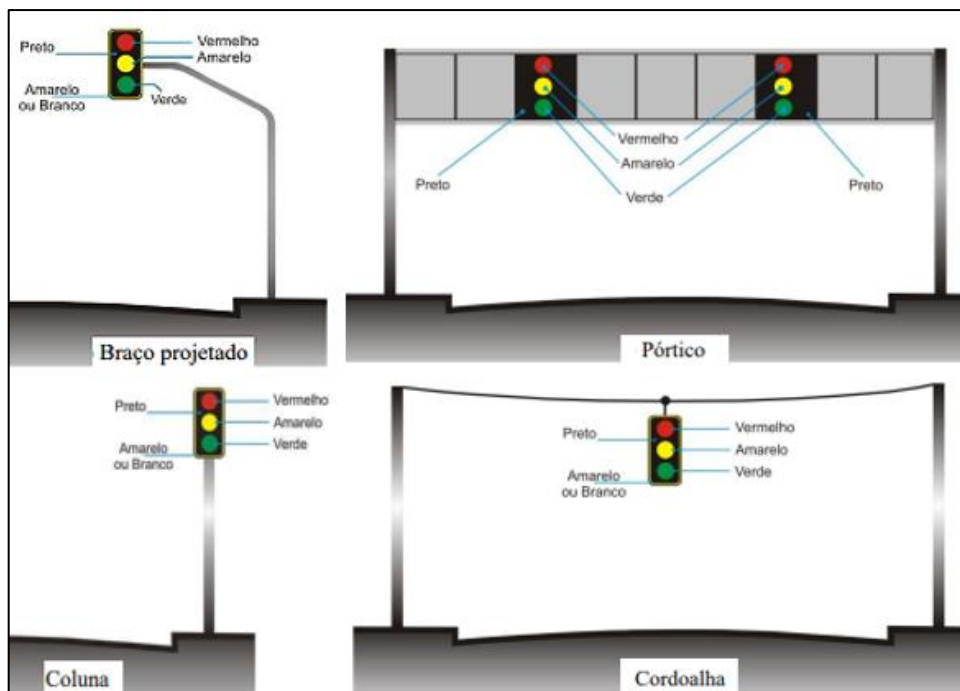
Fonte: CETSP (2021)

Como indicado na figura acima, os formatos dos focos para pedestre e veículos são diferentes. Para veículos o foco deverá ser circular com diâmetro de 200mm ou 300mm e composto por uma sequência luminosa, na vertical, composta por vermelha, amarela e verde. Em alguns semáforos veiculares mais modernos, esses focos mostram-se na horizontal. Quanto ao grupo focal para pedestres, possui forma quadrada com lado mínimo de 200mm e composta por dois focos nas cores vermelha com símbolo de boneco parado, e verde com símbolo de boneco andando. Cada foco deverá ser a LED e conter lente e cobre foco (pesta), sendo montado em uma caixa na cor preta, para evitar reflexos e melhorar o contraste.

### 2.1.2. Elementos de sustentação

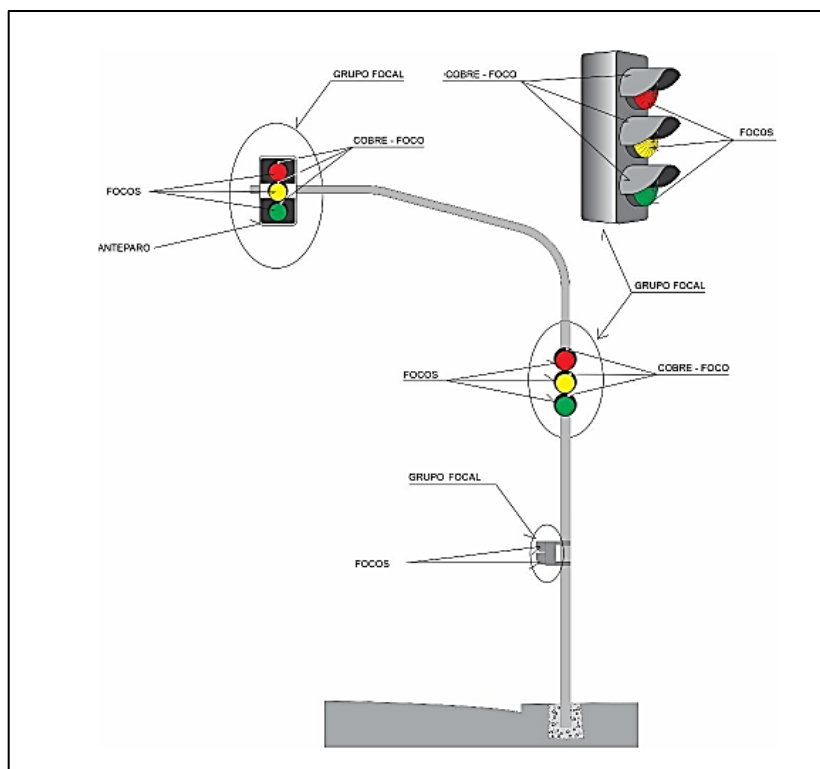
Há quatro maneiras de implantar um semáforo: em coluna, em braço projetado, cordoalha e pórtico” (CONTRAN, 2014). No caso de grupo focal locado em braço projetado é obrigatório o uso de anteparo, ver Figuras 2 e 3, a seguir. O anteparo “é um dispositivo de chapa metálica, de forma retangular, pintado na cor preta, com tarja e orla externa branca que envolve os grupos focais” (CETSP, 2021), que possibilita uma melhor visibilidade dos focos luminosos.

Figura 2 - Elementos de sustentação



Fonte: CONTRAN (2014)

Figura 3 - Montagem dos focos do grupo focal veicular



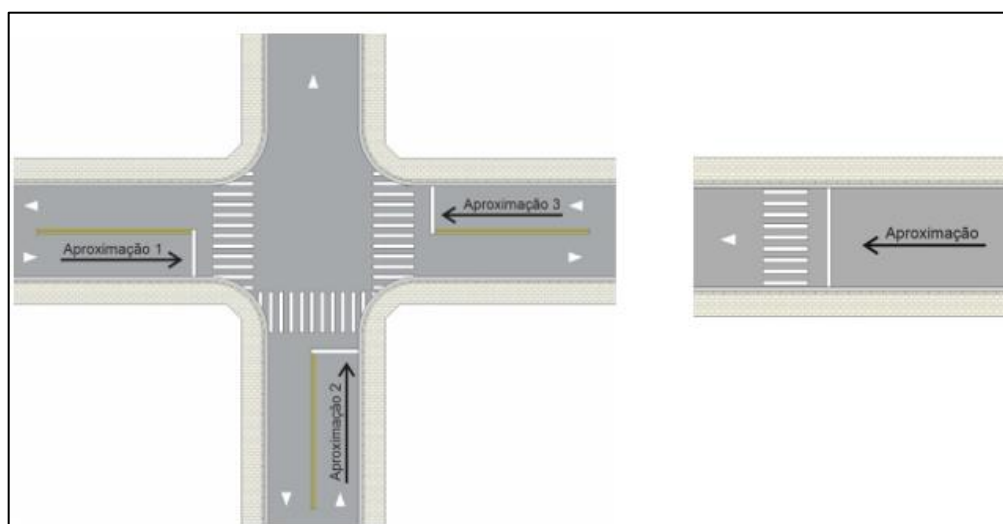
Fonte: CETSP (2021)

### 2.1.3. Interseção semaforizada, aproximação e movimentos

De acordo com o Anexo I, do Código de Trânsito Brasileiro - CTB (BRASIL, 1997), uma interseção é “todo cruzamento em nível, entroncamento ou bifurcação, incluindo as áreas formadas por tais cruzamentos, entroncamentos ou bifurcações”. Tratando-se de interseção semaforizada se, nestes cruzamentos estiver instalado semáforos para alternância do direito de passagem dos vários movimentos de veículos e/ou pedestres e advertir da existência de obstáculo ou situação perigosa.

Aproximação é um trecho de via onde os veículos se aproximam de uma interseção em nível, conforme CETSP (2021), ver Figura 04.

Figura 4 - Exemplos de aproximações em interseções

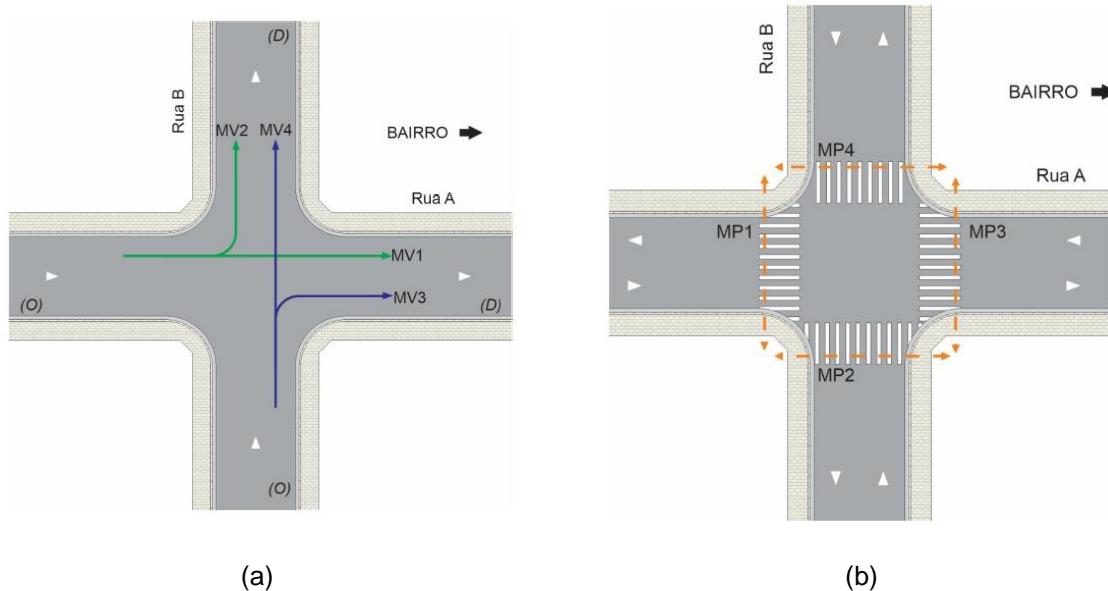


Fonte: CETSP (2021).

Os movimentos são representados por um esquema que indica a direção e o sentido do fluxo. Sendo que os movimentos veiculares (MV) são simbolizados por uma linha cheia com uma única seta, sendo o sentido da seta indique o sentido do fluxo (Figura 5.a). A simbologia para indicar os movimentos dos pedestres (MP) é por uma linha tracejada e com dupla seta (Figura 5. b). O fluxo do pedestre tem a mesma direção, independente do sentido. (CET, 2021)



Figura 5 - Exemplo de representação dos movimentos veiculares (a) e pedestres (b)



Fonte: CET (2021)

Como indica na Figura 5, um exemplo de cruzamento com uma representação do fluxo de veículos e pedestres. Os movimentos veiculares estão representados como MV1, MV2, MV3 e MV4 e Os movimentos de pedestres são indicados por MP1, MP2, MP3 e MP4.

#### 2.1.4. Tipos de travessia para pedestre

Há dois tipos de travessia que são denominadas travessia de pedestre em paralelo e não paralelo. E são definidas como:

“Travessia de pedestres em paralelo – “em carona” é a travessia de pedestres que ocorre paralela e concomitante a um movimento veicular não conflitante (...). Travessia de pedestres não paralela – “não carona” é a travessia de pedestres que conflita com os movimentos veiculares, podendo ser semaforizada ou não” (CETSP,2021, p.57).

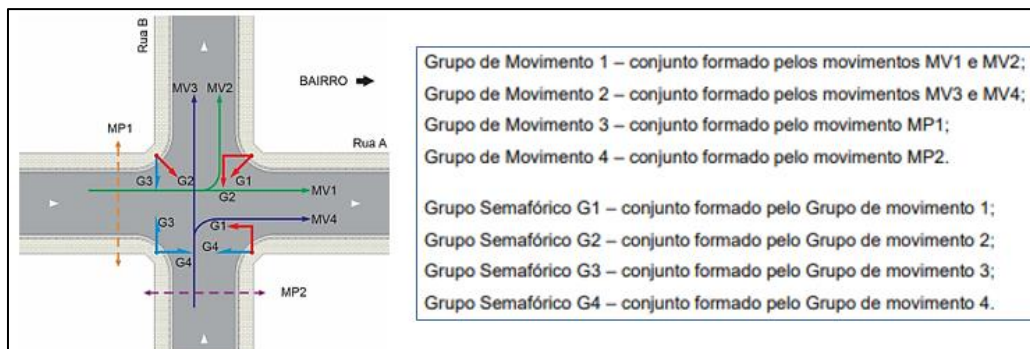
#### 2.1.5. Grupo Semafórico

O grupo semafórico (Figura 6) é definido como:

[...] um conjunto de grupos focais (GF), destinados a um ou mais movimentos que têm direito de passagem simultâneo e que emitem indicações luminosas idênticas, ou seja, grupo semafórico é um conjunto de grupos de movimentos

que sempre têm direito de passagem concomitante. O Grupo Semafórico é representado pela letra **G** [...]” (CETSP,2021, p.48).

Figura 6 - Representação de grupos semafóricos em uma interseção



Fonte: CETSP (2021).

### 2.1.6. Vermelho geral

Vermelho geral, segundo o CONTRAN (2014), é o período de tempo compreendido entre o final do amarelo de um estágio e o início do verde do próximo estágio. Adotado para garantir o escoamento de veículos ainda na área de conflito, e evitar acidentes. Nesse período todos os movimentos veiculares são interrompidos.

### 2.1.7. Entreverdes

O entreverdes consiste no período entre o final do verde de um estágio e o início do verde do outro estágio. Para os grupos semafóricos veiculares, o entreverdes é a soma do tempo de amarelo seguido do tempo de vermelho geral (CONTRAN, 2014).

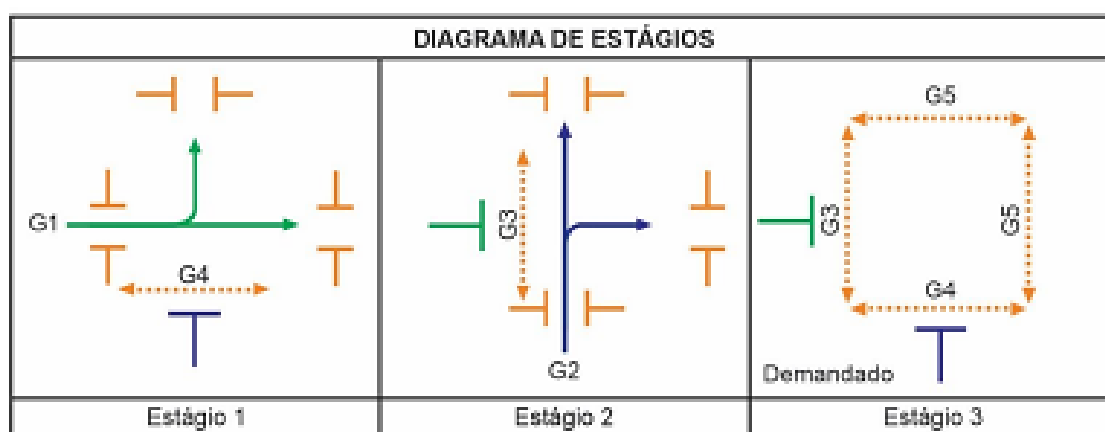
### 2.1.8. Estágio

É o período em que um ou mais grupos de movimentos recebem simultaneamente o direito de passagem. O tempo de estágio abrange o tempo de verde acrescido do tempo de entreverdes dos grupos semafóricos que têm direito de passagem no estágio (CET, 2014).

### 2.1.9. Diagrama de estágios e diagrama de intervalos luminosos

De acordo com a definição descrita no Manual do CETSP (2021), o diagrama de estágios é o desenho gráfica, representado comumente por barras, do conjunto de estágios do ciclo semafórico, que mostra, para cada estágio, quais movimentos são liberados e quais são retidos.

Figura 7 - Diagrama de estágios de um ciclo semafórico



Fonte: CETSP (2021)

A partir do diagrama de estágios pode-se construir o diagrama de intervalos luminosos, que “consiste na representação por barras da duração e sequência dos intervalos luminosos (verde, amarelo e vermelho) e estágios, e sua correspondência com os grupos semafóricos, Figuras 7 a 8.

Figura 8 - Exemplo de diagrama de intervalos luminosos

DIAGRAMA DE INTERVALOS LUMINOSOS											
INSTANTES	15	25	28	30	45	48	50	55	64	65	
G1	VERDE		AMARELO	VERMELHO							
G2	VERMELHO				VERDE		AMARELO	VERMELHO			
G3	VERMELHO				VERDE				VERMELHO INTERMITENTE		VERMELHO
G4	VERDE		VERMELHO INTERMITENTE		VERMELHO			VERDE		VERMELHO INTERMITENTE	
G5	VERMELHO							VERDE	VERMELHO INTERMITENTE		
INTERVALOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
DURAÇÃO (s)	15	10	3	2	15	3	2	5	9	1	
ESTÁGIO	1				2			3			

■ VERDE      ■ VERMELHO  
■ AMARELO      ■ VERMELHO INTERMITENTE

Fonte: CETSP (2021, p.55).

### **2.1.10. Ciclo semafórico**

A definição de ciclo semafórico segundo a CETSP (2021) é:

“Sequência completa dos estágios de uma programação semafórica, na qual cada um dos estágios indispensáveis ocorre, pelo menos, uma vez. A duração do ciclo (tempo de ciclo), é definida pela soma dos tempos de todos os estágios programados na sequência de estágios” (CET,2021, p.54).

### **2.1.11. Tipos e estratégias de controle**

Os dois tipos de controle proporcionados pela sinalização semafórica são: (a) controle em tempo fixo e (b) controle atuado pelo tráfego. No primeiro caso, são utilizados “planos semafóricos calculados com base em dados de tráfego disponíveis, obtidos por contagens volumétricas e outros levantamentos de campo. As contagens volumétricas, sempre que possível, devem ser classificatórias” (CONTRAN, 2014, p.76). Esse controle pode ser feito com um único plano semafórico, ou através de planos específicos para atender a variação diária demanda de tráfego. Ao longo do período de ação de um plano semafórico, o tempo de ciclo, a sequência de estágios, a duração dos intervalos luminosos e a defasagem, no caso das redes semafóricas, são mantidos constantes. Este tipo de controle é o foco do presente estudo.

O controle atuado pelo tráfego pode ser de dois tipos: semiatuado e totalmente atuado. No controle semiatuado a indicação verde “é dada continuamente para os veículos da via principal, sendo interrompida quando detectores implantados nas aproximações da via secundária indicarem a presença de veículos motorizados” (CONTRAN, 2014, p.76). No caso do controle totalmente atuado se dá em função do monitoramento da demanda de tráfego na interseção:

“(…) mediante a implantação de detectores de tráfego em todas as suas aproximações, permitindo alterações nos tempos dos estágios. (...) Esse tipo de controle pode permitir o ajuste em tempo real dos valores de alguns dos parâmetros de programação, como por exemplo, a prioridade a ser dada para uma aproximação congestionada” (Contran, 2014, p.76).

Após a definição do tipo de controle, deve-se adotar uma estratégia de controle: controle isolado ou controle em rede. No controle semafórico isolado considera-se a

operação de cada interseção independentemente das demais. Segundo o CONTRAN (2014, p. 77) “a estratégia de controle em rede permite a programação da sinalização semafórica visando não somente o desempenho do tráfego em cada interseção mas, sobretudo, o seu desempenho global ao longo do conjunto de cruzamentos.

## **2.2. Metodologia para dimensionamento de Semáforo isolado**

O Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume V, Sinalização Semafórica, editado pelo Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN, e embasado na Resolução n.º 483/2014, apresenta os modelos matemáticos que suportam o Método de Webster, para a determinação de tempos de ciclo semafóricos, e, neste estudo, será dada ênfase para semáforos isolados, de controle de tempo fixo. São apresentados procedimentos e equações para obtenção e cálculo dos parâmetros necessários para o resultado dessas equações.

### **2.2.1. Volume de Tráfego**

O volume de tráfego é o número de veículos e pedestre que trafegam durante um determinado período de tempo, em uma seção via. Esse fluxo varia ao longo do tempo (hora, dia, semana, mês e ano). Além disso, a mudança se dá pelas características do local e da cidade. O CONTRAN (2014) recomenda que a coleta de dados seja realizada em intervalos de 15 minutos, em uma seção pré-selecionada da via, sendo os veículos computados de forma categorizada.

### **2.2.2. Volume de tráfego equivalente**

Cada tipo veículo tem um desempenho diferente na via. Veículos de carga costumam ser mais lentos que os veículos de passeio, e isso interfere na capacidade viária. Para tratar o volume de tráfego de maneira uniforme, o referido manual apresenta os fatores de equivalência para a conversão de veículos e unidades de carro de passeio, conforme mostrados na Tabela 4 (CONTRAN, 2014,p.85).

Tabela 4 - Fator de equivalência para diferentes tipos de veículos

CONTRAN, 2014	
Automóveis	1
Motos	0,33
Ônibus	2
Caminhões (2 eixos)	2
Caminhões (3 eixos)	3

Fonte: CONTRAN (2014).

O volume de tráfego veicular é expresso em termos de unidade de carros de passeio (ucp). O Manual CONTRAN (2014), relata que para efeitos de programação semafórica pode ser utilizado o fator de equivalência em situações onde não for possível medir o fluxo de saturação diretamente no local.

### 2.2.3. Fluxo de saturação.

De acordo com Manual do CONTRAN (2014), o fluxo de saturação refere-se ao número de veículos que conseguem, efetivamente, passar no tempo de verde em uma determinada interseção. Para a determinação desse fluxo, é necessário contagem de veículos durante uma hora, e que seja representativa para o estudo. Porém, esse fluxo pode sofrer interferências externas, como os tipos variados de veículos que circulam na via, volume de pedestres, ponto de ônibus, estacionamentos e outros aspectos do entorno local. O referido manual recomenda medir diretamente no local, os valores do fluxo de saturação e dos tempos perdidos. Para o fluxo de saturação, um modelo de planilha para organização dos dados é mostrado na Figura 9, abaixo.

Figura 9 - Exemplo de planilha utilizada para contagem do fluxo de saturação

Fluxo de Saturação: Av . Rodrigo Octavio Sentido bairro-centro (G1)						
Cidade		Croqui:				
Tempo						
Número de faixas						
Data						
Hora						
t(s)	Número de veículos por intervalo s					Fluxo (FS)
	moto	carro	caminhão	Ônibus	Total	
0 - 5						
05. - 10						
10. - 15						
15. - 20						
20. - 25						
25. - 30						
30. - 35						
35. - 40						
Duração do tempo verde						
Duração do entreverdes	Amarelo					
	Vermelho					

Fonte: Adaptado de CONTRAN (2014).

O tempo de verde é dividido em intervalos de 5 segundos, e os veículos são computados de forma categorizada dentro desses intervalos, com recomendação de 10 observações, em cada aproximação, por faixa de tráfego. Após as contagens, recomenda-se descartar os primeiros e o últimos intervalos, devido início de verde e início do amarelo, respectivamente, que provocam lentidão na corrente de tráfego. É computada a média do número de veículos observados nos intervalos intermediários, e dividido por 5 seg (tempo do intervalo), obtendo-se uma taxa de escoamento em veículos por segundo. Essa taxa é expressa em veículos por hora multiplicando-se por 3.600 segundos, resultando no fluxo de saturação.

#### 2.2.4. Tempo perdido de um ciclo

O Manual do CONTRAN (2014), aponta o tempo perdido como um período do ciclo semafórico onde não há passagem de veículos. Isso ocorre quando a passagem de veículos é interrompida para passagem de pedestres e/ou uma troca de estágio (vermelho) por razões de segurança.

### 2.2.5. Taxa de ocupação

A taxa de ocupação ( $\gamma$ ) é relação entre a taxa de fluxo e o fluxo de saturação, como mostra abaixo:

$$y = \frac{F}{F_s} \quad (2.2.5)$$

Onde:

$\gamma$  – Taxa de ocupação;

F – Taxa de fluxo do grupo de movimentos, em veículos por hora ou ucp por hora;

$F_s$  – Fluxo de saturação do grupo de movimentos, em veículos por hora ou ucp por hora.

### 2.2.6. Entreverdes

Segundo o Manual do CONTRAN (2014), entreverdes é utilizado da seguinte maneira:

“Este tempo tem a função de assegurar a travessia da interseção por veículos que, ao receberem a indicação amarela, se encontrem a uma distância da linha de retenção insuficiente para parar com segurança. Com isso, calcula o tempo de entreverdes necessário para atender o veículo que estiver na posição mais desfavorável no instante em que seu intervalo verde é encerrado” (CONTRAN, 2021).

O tempo entreverdes é obtido pela forma a seguir:

$$t_{ent} = t_{pr} + \frac{v}{2(a_{ad} \pm ig)} + \frac{d_2 + c}{v} \quad (2.2.6)$$

Sendo que,

$$t_{am} = t_{pr} + \frac{v}{2(a_{ad} \pm ig)} \quad (2.2.6 - 1)$$



$$t_{vg} = \frac{d_2 + c}{v} \quad (2.2.6 - 2)$$

Onde:

$t_{ent}$  - Tempo de entreverdes para o grupo focal de veículos, em segundos;

$t_{pr}$  - Tempo de percepção e reação do condutor, em segundos;

$V$  - Velocidade do veículo, em m/s;

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

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

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

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

$c$  - comprimento do veículo, em metros.

$t_{am}$  - Tempo de amarelo para o grupo focal de veículos, em segundos;

$t_{vg}$  - Tempo de vermelho geral, em segundos;

Adota-se as seguintes variáveis nas equações citadas acima:

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

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

$$a_{ad} = 3,0 \text{ m/s}^2;$$

$c$  = é comprimento de veículos é predominantemente no fluxo analisado. Caso for veículos de passeio será o comprimento de 5 m.

De acordo com Manual do CONTRAN (2014), para manter a segurança na via é preciso verificar se os cálculos estão de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 5 - Velocidade Média em Km com seus respectivos tempos de amarelo.

Velocidade Máxima	Tempo de amarelo
≤ 40	3s
50	4s
60	4s
≥ 70	5s

Fonte: CONTRAN (2014)

Caso os cálculos tiverem o tempo de amarelo inferior o que consta na tabela, deverá adotar o tempo de amarelo da tabela. Exemplificando, se velocidade média da via for inferior ou igual 40 km/h e o cálculo tempo de amarelo for inferior que 3 segundos, adota-se o que está na tabela.

### 2.2.7. Grau de Saturação

Conforme o CONTRAN (2014, p. 92) “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”. Sendo expresso pela equação abaixo:

$$x = \frac{F}{Cap} \quad (2.2.7)$$

em que,

x – grau de saturação;

F – Taxa de fluxo do grupo de movimentos, em veículos por hora, ou ucp por hora;

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

### 2.2.8. Tempo de ciclo semafórico

Como já foi citado anteriormente, o tempo de ciclo é a somatória dos tempos dos intervalos luminosos. Se os valores do tempo de ciclo forem elevados, acarretará um tempo maior de espera. Logo, o CONTRAN (2014) faz as seguintes observações:

“Nas situações comuns de controle esse valor não deve superar 120s. Em situações excepcionais de tráfego e/ou de geometria da interseção, pode ser necessário adotar tempos de ciclo maiores. Nesses casos deve ser dada especial atenção ao tratamento para a travessia dos pedestres no local, adotando-se medidas como implantação de travessia em etapas, travessia em desnível, dentre outras soluções possíveis” (CONTRAN, 2014, p.93).

O CONTRAN (2014) indica dois métodos para calcular o tempo de ciclo, que é o método do grau de saturação máximo e método de Webster, porém, no presente estudo será mostrado somente o último método citado, mais utilizado nos trabalhos técnicos sobre o assunto aqui abordado.

No Método de Webster, o tempo de ciclo, também denominado tempo de ciclo ótimo, é calculado considerando-se que o tempo de espera veicular seja mínimo. Este método pressupõe chegadas aleatórias dos veículos nas aproximações e, portanto, sua utilização não é recomendada quando essa condição não se verifica. Também no caso de interseções com alto grau de saturação, a utilização desse método não é recomendável.

O tempo de ciclo ótimo é calculado por meio da Equação 2.2.8.

$$t_{co} = \frac{1,5 \times T_p + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i} \quad (2.2.8)$$

Em que,

$t_{co}$  – Tempo de ciclo ótimo, em segundos;

$t_p$  – Tempo perdido total, em segundos;

$y_i$  – Taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio  $i$ ;

$n$  – número de estágios.

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

A definição do tempo de verde real e tempo de verde efetivo foi descrito da seguinte maneira, pelo Manual do CONTRA (2014).

“Denomina-se tempo de verde real de um estágio a duração do período em que o respectivo grupo focal permanece em verde, durante um ciclo. Denomina-se tempo de verde efetivo de um estágio ao 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” (CONTRAN, 2021).

O tempo de verde efetivo é representado pela Equação 2.2.12 -1, quando o ciclo for determinado pelo Método do grau de saturação máximo, ou pela Equação 2.2.12 - 2, no caso da utilização do Método de Webster.

$$t_{v,efet,i} = p_i \times t_c \quad (2.2.9 - 1)$$

em que,

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

$t_c$  – Tempo de ciclo, em segundos;

$p$  – Fração de verde requerida para o estágio i.

$$t_{v,efet,i} = (t_c - T_p) \times \frac{y_i}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad (2.2.9 - 2)$$

em que,

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

$t_c$  – Tempo de ciclo, em segundos;

$t_p$  – Tempo perdido total, em segundos;

$y_i$  – Taxa de ocupação do grupo de movimentos crítico do estágio  $i$ ;

$n$  – número de estágios.

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

$$t_{v,real} = t_{v,efet} - t_{ent} + t_{pin} + t_{pfn}$$

(2.2.9 - 2)

em que,

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

$t_{v,efet}$  – Tempo de verde efetivo, em segundos;

$t_{tent}$  – Tempo de entreverdes, em segundos;

$t_{pin}$  – Tempo perdido no início, em segundos;

$t_{pfn}$  – Tempo perdido no final, em segundos.

### 2.2.10. Capacidade

De acordo com o CONTRAN (2014, p. 97) “denomina-se capacidade de um grupo de movimentos o número máximo de veículos que pode passar em uma aproximação controlada por sinalização semafórica durante uma hora, considerando-se a sua operação normal. Pode ser expressa através da seguinte equação:

$$Cap = FS \times \frac{t_{v,efet}}{t_c} \quad (2.2.10)$$

em que,

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

$f_s$  – 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.

### 3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os materiais e métodos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa, que trata da análise de uma interseção semaforizada. Para tal, um levantamento bibliográfico foi realizado, através do qual traçou-se uma contextualização do tema e selecionou-se a metodologia aplicada para o dimensionamento de semáforos no Brasil. Além disso, foram realizadas pesquisas de campo, para obtenção de parâmetros importantes referentes à operação dos semáforos, comportamento do fluxo de veículos, características das vias e das condições do entorno.

A escolha da interseção situada na Avenida Rodrigo Otávio se deu em função do importante papel que este corredor viário representa. Esta via é o principal elo entre a zona portuária (portos Chibatão e Super Terminais) e os bairros Distrito Industrial I e II, bem como entre o Polo Industrial de Manaus e o Aeroporto Internacional Eduardo Gomes. Permite, também, acesso às fábricas e depósitos localizados na zona norte e oeste de Manaus, bem como às rodovias BR-174 e AM-010.

Essa avenida apresenta um intenso movimento, nos dois sentidos, de veículos de carga semipesados e pesados, variando o porte entre 16 a 74 toneladas e comprimento entre 18,60 a 26 metros. Quando ocorre a interseção da Av. Rodrigo Otávio com a Avenida Tefé, no bairro Japiim, o fluxo veicular intensifica, ocorrendo congestionamentos constantes ao longo do dia, verificadas através de imagens capturadas pelo *Google Maps-Trânsito* (2021/2022). Nessa interseção está o conjunto semaforico que é o objeto de estudo desta pesquisa.

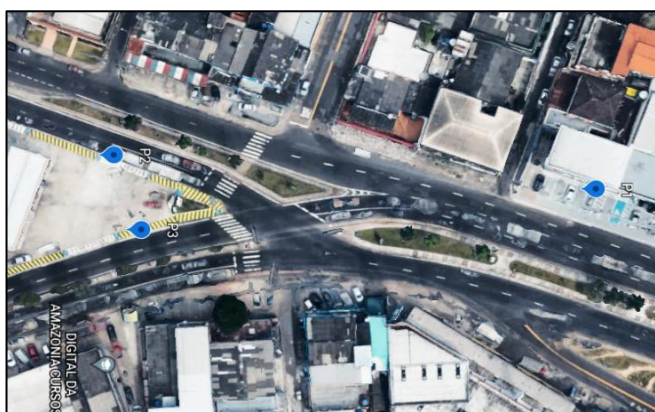
Ressalta-se que, não será analisado o tempo semaforico referente à travessia de pedestres, haja vista que o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V, Sinalização Semaforica, indica que em travessias de pedestres quando ocorrem “durante um estágio veicular (travessia tipo carona), o tempo de verde do grupo focal do pedestre é determinado em função da duração desse estágio” (CONTRAN, 2014, p.96).

Para analisar o desempenho apresentado por aquele conjunto semaforico, foram observados os seguintes passos: (1) identificação do tempo de ciclo semaforico

implantado; (2) identificação da demanda de viagens (volume categorizado de tráfego) nas aproximações da interseção; (3) cálculo do tempo de ciclo semafórico solicitado pela demanda atual; e, (4) análise comparativa dos tempos de ciclo semafórico.

Um levantamento expedito em campo foi realizado para determinação dos pontos de coleta de dados, sendo os fluxos de veículos obtidos através de filmagens, utilizando uma câmera GoPro Atrio HD, instalada nos pontos P1, P2 e P3, indicados na Figura 10, abaixo.

Figura 10 - Pontos de coleta de dados do fluxo veicular



Fonte: Google Earth (2022)

No ponto P1, na Avenida Rodrigo Otávio, foi registrado o fluxo de veículos no sentido do Complexo Viário Gilberto Mestrinho (a partir daqui denominado CVGM) para o Porto Chibatão. O ponto P2, na Av. Tefé, o fluxo de veículos que segue no sentido da região central de Manaus para o CVGM. E no ponto P3, na Av. Rodrigo Otávio, para veículos no sentido Porto Chibatão para CVGM. No link <https://www.youtube.com/watch?v=s9oDnj0m1ys>, é possível observar um exemplo das filmagens referentes ao dia 15/09/2021 (CAETANO, 2022).

As filmagens foram feitas duas vezes por semana, durante o período de 15 de setembro a 8 de outubro de 2021, nos dias de quarta-feira e sexta-feira. O horário de contagem se deu no intervalo de uma hora, logo após o pico do meio-dia, sendo das 14:30 horas às 15:30 horas. A escolha desse horário se deve, principalmente, ao fato de que nos horários de entre picos, observa-se uma maior movimentação de veículos semipesados e pesados na Av. Rodrigo Otávio. Através das filmagens, foram



computados os volumes de tráfego categorizados para cada aproximação, considerando a classificação de veículos adotada pelo DNIT (2006, p. 51-55).

O diagrama de estágios e o diagrama de intervalos luminosos dos semáforos já instalados interseção supracitada, também foram elaborados através das filmagens, sendo observados nos grupos focais, os tempos de verde, amarelo e vermelho, e os movimentos nas aproximações. Nesse diagrama de intervalos luminosos foi possível fazer a leitura do tempo de ciclo do conjunto semaforico implantado naquela interseção. A construção desses diagramas seguiu as recomendações do Manual de Sinalização Semafórica (CONTRAN, 2014).

Os fluxos de saturação necessários para o cálculo do tempo de ciclo semaforico, considerando o volume de tráfego computado nas filmagens, seguiu os modelos matematicos recomendados pelo CONTRAN (2014), vinculados à metodologia de Webster. A contagem de veículos é feita, para cada aproximação durante o tempo de verde, sendo este seccionado em intervalos de 5 segundos.

De acordo com o manual do CONTRAN (2014), deve-se descartar o primeiro e o ultimo intervalo. No primeiro, ocorre redução no fluxo devido ao movimento dos veículos ao iniciar o tempo de verde, e, no último, ocorre a redução de velocidade em função do início de tempo de amarelo (ver Figura 9). A média dos demais intervalos é obtida, resultando no número de veículos, que deve ser dividido por 5 segundos (intervalos). Tem-se, então, veículos por segundos, e, posteriormente, são convertidos para veículos por hora multiplicando-se por 3600 segundos.

Os demais parâmetros necessários para a determinação do ciclo semaforico (taxa de ocupação na aproximação, tempo perdido, entreverdes, tempo de vermelho geral, tempo de amarelo) adotam as formulações matematicas da metodologia de Webster, apresentadas no capítulo anterior. Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas, através da ferramenta EXCEL, e apresentados em quadros, tabelas e figuras.

Após o cálculo do novo ciclo semaforico, foi realizada uma análise comparativa entre esse tempo e o tempo de ciclo observado em campo, observando os parâmetros

adotados no Manual de Sinalização Semafórica (CONTRAN, 2014) quanto ao tempo de ciclo máximo recomendado por questões de segurança viária.

## **4. INTERSEÇÃO SEMAFORIZADA DAS AVENIDAS TEFÉ E RODRIGO OTÁVIO**

Neste capítulo é apresentado estudo sobre uma interseção semaforizada, localizada em um corredor urbano de Manaus (AM), com grande importância socioeconômica, em função do papel que desempenha como principal acesso à zona portuária, e, também, como via para suprimento e distribuição física de diversas indústrias ligadas, direta ou indiretamente, ao Polo Industrial de Manaus (PIM). Trata-se de uma análise sobre os tempos semaforicos instalados e a compatibilidade com os fluxos veiculares atualmente observados no local, em especial, o fluxo de veículos de carga. A caracterização da área de estudo, os dados utilizados, bem como os resultados e considerações a partir da análise proposta, são mostrados ao longo deste capítulo. A intenção maior é provocar uma reflexão sobre a eficiência de dispositivos de controle de tráfego e seus impactos na mobilidade urbana.

### **4.1. Área de estudo**

A interseção semaforizada, objeto deste estudo, está localizada na Zona Sul da cidade de Manaus (AM), cujas coordenadas geográficas são 3° 7' 1.07" S de latitude e 59° 58' 59.27" O de longitude. É formada pela confluência em um mesmo nível, da Avenida Tefé e a Avenida Rodrigo Otávio, com movimento oblíquo e formato em "Y". Para caracterização da área de estudo, foram utilizadas imagens via Google Earth e visitas de campo para registros de imagens via smartphones.

A Av. Tefé possui extensão de 4,24 quilômetros, com duas faixas de tráfego (largura média de 3,0 m) em cada sentido, inicia próximo à principal região comercial de Manaus, no bairro Centro, a partir da Av. Major Gabriel. Corta os bairros de Praça 14 de Janeiro, Cachoeirinha, Raiz e Petrópolis, findando na interseção com a Av. Rodrigo Otávio.

Quanto à Av. Rodrigo Otávio, esta via possui extensão de 7,3 quilômetros e inicia próximo aos Portos Chibatão e Super Terminais. Corta os bairros de Colônia Oliveira Machado, Japiim II, São Lázaro, Distrito Industrial I, Petrópolis, Japiim e Coroado I, terminando no Complexo Viário Gilberto Mestrinho (CVGM). Possui canteiro central e duas faixas de rolamento em cada sentido, em quase toda sua

extensão. Em alguns trechos, se pode observar variações na largura das faixas de rolamento (3,50m - 3,60m) e no número de faixas por sentido (02 – 04). A Figura 11, a seguir, mostra a confluência entre as avenidas supracitadas.

Figura 11 - Localização da interseção das avenidas Tefé e General Rodrigo Otávio, Manaus/AM.



Fonte: Google Earth (2022).

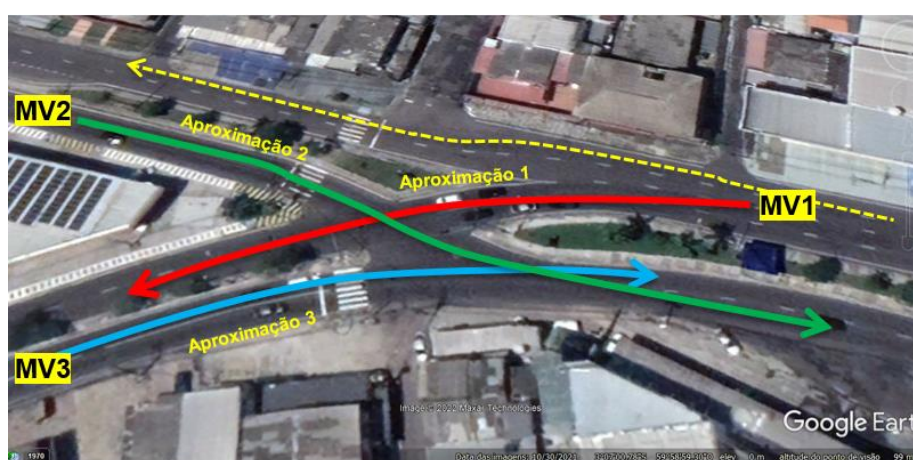
Observando a Figura 11, a linha em vermelho representa a extensão da Av. Rodrigo Otávio e a linha em amarelo indica a Av. Tefé. O entorno desse cruzamento contém vários polos geradores de viagens como, posto de gasolina, petshop, casa bancária, loja de informática, farmácias, lojas de materiais de construção e outros empreendimentos.

## 4.2. Caracterização da Interseção semaforizada

### 4.2.1. Aproximação e Movimento veicular

A interseção em análise apresenta três aproximações, e para cada uma dessas aproximações, tem-se os movimentos veiculares correspondentes. Os movimentos que serão analisados neste estudo são três, considerados a partir deste ponto em diante como MV1, MV2 e MV3, conforme mostrado na Figura 12, abaixo.

Figura 12 - Movimentos veiculares: Av. Rodrigo Otávio versus Av. Tefé.



Fonte: Autor (2022). Imagens Google Earth (2021).

O Movimento veicular MV1 pertence ao fluxo de veículos na Av. Rodrigo Otávio, no sentido CVGM – Porto Chibatão. O Movimento veicular MV2 pertence ao fluxo de veículos na Av. Tefé, entrando na Av. Rodrigo Otávio. Por fim, o Movimento veicular MV3, indica o fluxo de veículos na Av. Rodrigo Otávio, no sentido Porto Chibatão – CVGM. Existe, também, um quarto movimento (linha tracejada amarela), que neste estudo não será alvo de análise, pois trata-se de passagem livre. Além disso, o interesse maior recai na fluidez da Av. Rodrigo Otávio, enquanto rota principal de veículos de carga.

### 4.2.2. Grupos focais e elementos de sustentação

A sinalização semafórica instalada na confluência da Av. Tefé e Av. Rodrigo Otávio, consiste em 08 (oito) semáforos, ou grupos focais, do tipo veicular, de posição vertical, com três focos luminosos (verde, amarelo e vermelho). Os grupos focais, inclusive os repetidores, contendo anteparo e cobre-foco, são sustentados por braços



projetados de estrutura metálica, dispostos nas laterais e no canteiro central da Av. Rodrigo Otávio. Na referida interseção, constam 04 (quatro) grupos focais para pedestres, sendo todos instalados na Av. Rodrigo Otávio, na aproximação 3. Na Figura 13, abaixo, indica a posição desses grupos focais e de seus elementos de sustentação.

Figura 13 - Posicionamento dos grupos focais e elementos de sustentação (a) aproximação 1; (b) aproximação 3; (c) aproximação 2.



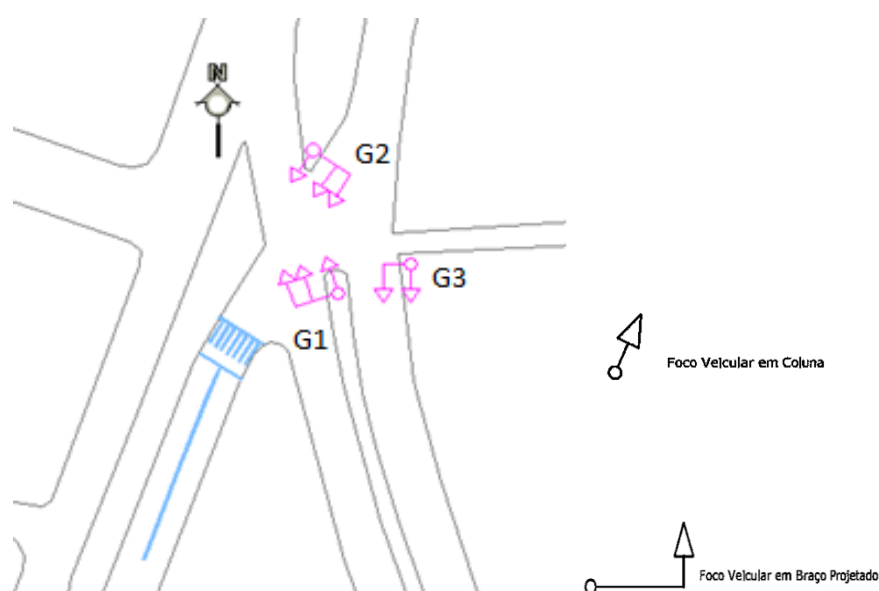
Fonte: Google Earth (2022).

Observando as imagens acima, verifica-se que existe somente um controlador para regular o sistema instalado, sendo este, embutido em caixa azul com braçadeira,

disposto no elemento de sustentação da aproximação 3, conforme mostrado na Figura 13 (b).

Utilizando os registros fotográficos foi possível construir um croqui das vias, com as sinalizações existentes, indicando a localização dos semáforos e sinalização vertical. O croqui foi montado a partir do arquivo em AutoCAD, disponibilizado gratuitamente pelo site do IMPLURB, com o mapa de toda a cidade de Manaus. Foi extraído deste mapa somente a interseção em análise e acrescentado as informações obtidas, desta forma configurando a Figura 14.

Figura 14 - Croqui da distribuição de grupos semafóricos e sinalização horizontal nas aproximações



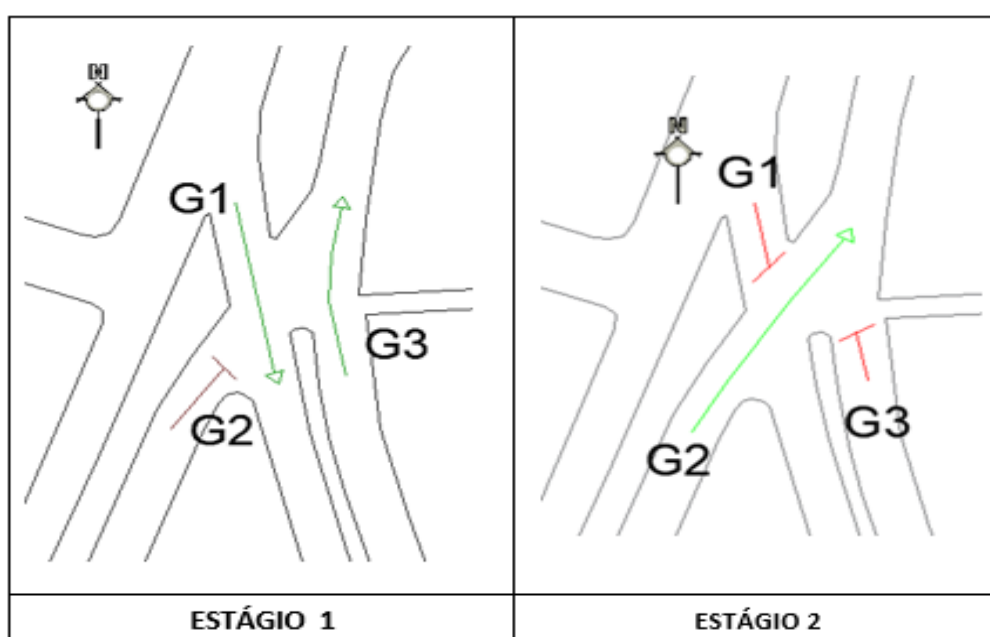
Fonte: Autor (2021).

Desta forma, verificou-se que as aproximações 1 e 2 contêm dois semáforos sustentados em braço projetado, com grupo focal repetidor em coluna (Figura 14). Porém, o conjunto instalado na Av. Rodrigo Otávio no sentido Porto Chibatão – CVGM, apresenta somente um grupo focal (semáforo) e o repetidor. Além disso, nesse mesmo elemento de sustentação está o controlador.

### 4.2.3. Diagrama de estágios e diagrama de intervalos luminosos

A partir das filmagens realizadas para cada aproximação, para verificar o funcionamento do conjunto semafórico, foi possível montar o diagrama de estágios, mostrado na Figura 15. A nomeação dos grupos focais (G1, G2 e G3) foi feita seguindo a mesma lógica da nomeação da posição dos movimentos veiculares, relatada anteriormente, no item 4.2.1 (MV1, MV2 e MV3).

Figura 15 - Diagrama de estágio



Fonte: Autor (2021).

Através do diagrama de estágios acima, pode-se observar a alternância dos fluxos veiculares nas três aproximações. No Estágio 1, o movimento veicular 2 é interrompido, sendo liberados para passagem, simultaneamente, os movimentos 1 e 3. O Estágio 2 permite o movimento veicular 2, interrompendo-se o fluxo das aproximações 1 e 3.

O diagrama de intervalos luminosos, conforme mencionado no capítulo 2, indica, dentre outros aspectos, a duração dos tempos semafóricos para cada estágio e a duração do tempo total para o funcionamento de todos os estágios, ou seja, o tempo de ciclo semafórico.



A Figura 16 apresenta os intervalos luminosos para a interseção das avenidas Tefé e Rodrigo Otávio, após observações e filmagens em campo.

Figura 16 - Diagrama de intervalos luminosos para um tempo de ciclo de 87s

INSTANTES (s)	0	39	40	43	44	48	83	86	87
<b>G1</b>	[Verde]		[Amarelo]	[Vermelho]					[Verde]
<b>G3</b>	[Verde]		[Amarelo]	[Vermelho]					[Verde]
<b>G2</b>	[Vermelho]					[Verde]			[Amarelo]
<b>Nº INTERVALOS</b>	1	2	3	4	5	6	8	7	
<b>DURAÇÃO (s)</b>	39	1	3	1	4	35	3	1	
<b>% CICLO</b>	45,98	a	b	4,6		41,38	a	100	
<b>ESTÁGIOS</b>	<b>1</b>					<b>2</b>			

Obs: valor de a = 3,45% e b = 1,14%

Fonte: Autor (2022).

Como pode ser observado na Figura 16, no estágio 1 os movimentos que são controlados pelos grupos focais G1 e G3 (MV1 e MV3), ambos na Av. Rodrigo Otávio, recebem o sinal verde, enquanto o movimento MV2, controlados pelo grupo focal G2, recebe o sinal vermelho. No estágio 2, o inverso é observado.

O tempo de ciclo semaforico para o referido conjunto, registrado nas pesquisas de campo, é de 87 segundos. Desse tempo, 87,36% é destinado ao tempo de verde efetivo e 12,64% de tempo perdido. Neste caso, o tempo perdido pode ser observado direto no diagrama acima, e tem duração de 8 segundos para o Estágio 1, e de 3 segundos para o Estágio 2, totalizando 11 segundos.

#### 4.3. Determinação do novo tempo de ciclo semaforico

A programação semaforica da interseção em estudo é do tipo isolada, de tempo fixo, e para investigar seu desempenho quanto ao escoamento veicular atual, será calculado neste tópico, o tempo de ciclo semaforico para os dados pesquisados em campo, referentes às demandas nas aproximações. Para esse cálculo, conforme indicado na metodologia do Manual de Sinalização Semaforica (CONTRAN, 2014), vários fatores foram necessários e são apresentados a seguir.

Segundo o referido manual será necessário a determinação das características operacionais do tráfego, tais como: (a) valor da taxa de fluxo; (b) valor do fluxo de saturação; e, (c) os tempos perdidos inicial e final de cada grupo de movimentos durante o período de abrangência do plano, para sinalização semafórica existente, que é o caso do presente estudo.

#### 4.3.1. Fluxo de veículos

Os fluxos de veículos obtidos em campo, conforme item 2.2.1 foram organizados e mostrados nas tabelas 6, 7 e 8, de acordo com os movimentos estabelecidos na Figura 12, item 4.2.1. Essa organização segue os critérios do Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2002). Os fluxos de veículos (volumes de tráfego) categorizados, referentes ao horário de entre picos da tarde, são expressos em veículos por hora, e estão dispostos na terceira coluna de cada tabela a seguir.

Tabela 6 - Fluxo de veículos na Av. Rodrigo Otávio – MV1

MV1		DNIT	SEMAFOR	IMMU	%		
AUTO	522	522	522	522	65,66		
MOTO	121	121	39,93	60,5	15,22		
ÔNIBUS	33	49,5	66	66	4,151		
VEÍCULOS DE CARGA	2C	43	64,5	86	86	5,41	
	3C	23	34,5	69	46	2,89	
	4C	5	7,5	15	10	0,63	8,93
	2S3	23	46	69	92	2,89	
	2I3	2	4	6	8	0,25	
	3S3	18	36	54	72	2,26	
	3T6	2	4	6	8	0,25	
	3D4	3	6	9	12	0,38	6,04
		795	895	941,93	982,5	100,00	14,97
		veic/h	ucp/h	942	983		
				ucp/h	ucp/h		

Nota: Nas colunas 4, 5, e 6, os fluxos de veículos estão convertidos pelos fatores de equivalência recomendados por DNIT, CONTRAN e IMMU.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 7 - Fluxo de veículos na Av. Tefé – MV2

		MV2	DNIT	SEMAFOR	IMMU	%		
VEÍCUL. DE CARGA	AUTO	565	565	565	565	74,64		
	MOTO	133	133	43,89	66,5	17,57		
	ÔNIBUS	23	34,5	46	46	3,04		
	2C	28	42	56	56	3,70		
	3C	7	10,5	21	14	0,92	4,62	
	2S3	1	2	3	4	0,13	4,76	
		757	787	734,89	751,5	100	9,38	
		veic/h	ucp/h	735 ucp/h	752 ucp/h			

Nota: Nas colunas 4, 5, e 6, os fluxos de veículos estão convertidos pelos fatores de equivalência recomendados por DNIT, CONTRAN e IMMU.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 8 - Fluxo de veículos na Av. Rodrigo Otávio – MV3

		MV3	DNIT	SEMAFOR	IMMU	%		
VEÍCULOS DE CARGA	AUTO	733	733	733	733	71,58		
	MOTO	157	157	51,81	78,5	15,33		
	ÔNIBUS	22	33	44	44	2,15		
	2C	61	91,5	122	122	5,96		
	3C	13	19,5	39	26	1,27		
	4C	1	1,5	3	2	0,10	7,32	
	3S2	1	2	3	4	0,10		
	2S3	24	48	72	96	2,34		
	3S3	8	16	24	32	0,78		
	3C4	1	2	3	4	0,10		
	3D4	3	6	9	12	0,29	3,61	
		1024	1109,5	1103,81	1153,5	100,00	10,94	
	veic/h	1110 ucp/h	1104 ucp/h	1154 ucp/h				

Nota: Nas colunas 4, 5, e 6, os fluxos de veículos estão convertidos pelos fatores de equivalência recomendados por DNIT, CONTRAN e IMMU.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

As tabelas acima, além dos volumes de tráfego expressos em veículos / hora (na cor rosa, coluna 3), apresentam os volumes equivalentes em unidade de carro de passeio (em amarelo), descritos nas colunas 4, 5 e 6. Entretanto, a questão da equivalência veicular será abordada em um item posterior deste estudo. Também são destacadas nas colunas 2, 7 e 8 (cores verde e rosa), a tipologia de veículos de carga e sua representação percentual em relação ao fluxo total. Na coluna 8, observa-se o percentual de veículos de carga unitários (cor rosa) e o percentual de veículos de carga combinados (cor verde).

#### 4.3.2. Fluxo de saturação

Os fluxos de saturação calculados neste item, seguem recomendação contida no Manual de Sinalização Semafórica (CONTRAN, 2014). Os dados foram organizados e formatados em planilha eletrônica, e apresentam-se dispostos nas tabelas 9, 10, e 11.

Tabela 9 - Fluxo de Saturação (FS): Av . Rodrigo Octavio - CVGM / Porto Chibatão (MV1)

Data	15/09/2021	17/09/2021	22/09/2021	24/09/2021	29/09/2021	01/10/2021	05/10/2021	08/10/2021			
t(s)	1	2	3	4	5	6	7	8	Media	FS G1	Unidade
0-5	7	5	1	6	6	5	5	6	5,5	2,75	veículos
05.-10	3	2	1	6	4	4	5	4	4	0,55	veíc/s
10.-15	2	3	1	4	2	2	4	3	2,5	1980	veíc/h
15.-20	4	1	1	3	3	4	2	6	3		
20.-25	2	3	0	1	5	3	3	4	3	Fluxo G1	
25.-30	5	2	2	1	2	1	4	4	2	795	veic/h
30.-35	2	5	3	3	1	1	1	3	2,5		
35.-40	3	1	3	5	2	2	0	4	2,5		

Fonte: Autor (2022).

Tabela 10 – Fluxo de Saturação (FS): Av . Tefé - Centro / CVGM (MV2)

Data	15/09/2021	17/09/2021	22/09/2021	24/09/2021	29/09/2021	01/10/2021	05/10/2021	08/10/2021			
t(s)	1	2	3	4	5	6	7	8	Media	FS G2	Unidade
0-5	8	8	5	7	7	2	6	3	6,5	2,5	veículos
05. - 10	3	4	2	3	3	1	1	2	2,5	0,5	veic/s
10. - 15	1	5	3	2	2	4	2	1	2	1800	veic/h
15. - 20	0	4	3	3	3	3	4	1	3		
20. - 25	0	2	3	2	2	1	2	2	2	Fluxo G2	
25. - 30	3	2	3	3	3	1	1	1	2,5	757	veic/h
30. - 35	1	2	4	1	1	1	1	1	1		

Fonte: Autor (2022).

Tabela 11 – Fluxo de Saturação (FS): Av. Rodrigo Octavio – Porto Chibatão / CVGM (MV3)

Data	15/09/2021	17/09/2021	22/09/2021	24/09/2021	29/09/2021	01/10/2021	05/10/2021	08/10/2021			
t(s)	1	2	3	4	5	6	7	8	Media	FS G3	Unidade
0-5	6	9	7	6	8	7	4	8	7	3	veículos
05. - 10	3	1	2	1	3	1	3	2	2	0,6	veic/s
10. - 15	5	1	2	3	1	1	2	5	2	2160	veic/h
15. - 20	4	4	2	3	3	1	1	4	3		
20. - 25	5	3	3	4	3	3	2	2	3	Fluxo G3	
25. - 30	2	4	2	5	4	4	1	2	3	1024	veic/h
30. - 35	1	2	4	7	5	4	2	2	3		
35. - 40	1	1	2	4	1	1	1	1	1		

Fonte: Autor (2022).

Nas tabelas acima, a primeira coluna mostra os intervalos de tempo de 5s, durante o funcionamento do tempo de verde para cada aproximação. Da coluna 2 a até a coluna 9, são mostrados o número de veículos que passaram no tempo de verde, durante os intervalos estabelecidos. Neste caso, foram realizadas oito contagens, em dias distintos, especificados na primeira linha. De acordo as formulações contidas no referencial teórico, pode-se calcular o fluxo de saturação referentes aos movimentos veiculares MV1, MV2 e MV3. Estes estão dispostos na coluna 11, das referidas tabelas.

Cabe ressaltar, que o manual CONTRAN (2014) recomenda descartar o primeiro e o último intervalo, pois eles não representam a condição de normalidade do fluxo que poderia ser escoado pela via, devido ao acúmulo de veículos ao iniciar o tempo de verde e à redução de velocidade ao iniciar o tempo de amarelo. Logo, a média aritmética foi feita pelos demais intervalos.

### 4.3.3. Taxa de ocupação

A taxa de ocupação é a relação da demanda observada na via e fluxo de veículos que a via pode escoar no tempo de verde efetivo (fluxo de saturação). Essa taxa é obtida pela equação 2.2.5 (item 2.2.5), e, substituindo-se os valores obtidos dos fluxos veiculares e dos seus respectivos fluxos de saturação, contidos nas tabelas anteriores, podem ser calculados os valores da taxa de ocupação referente a cada aproximação. A Tabela 12 apresenta os referidos valores, destacados em azul.

Tabela 12 - Taxa de ocupação na interseção Av. Tefé e Av. Rodrigo Otávio

(A)	(B)	(C)	(D)
	Volume de tráfego na via	Fluxo de Saturação	Taxa de ocupação
MV1	795	1980	0,40
MV2	757	1800	0,42
MV3	1024	2160	0,47

Obs: (D) = (B)/(C)

Fonte: Autor (2022).

As tabelas acima mostram três taxas de ocupação, porém, como os movimentos MV1 e MV3 pertencem à Av. Rodrigo Otavio, em sentidos opostos, deve-se escolher a maior taxa de ocupação entre os valores, haja vista que o tempo de ciclo e os tempos de verdes são obtidos considerando somente as taxas de ocupação dos movimentos críticos. Assim sendo, a taxa de ocupação adotada para a Av. Rodrigo Otávio será de 0,47 e para a Av. Tefé de 0,42.

### 4.3.4. Entreverdes

O cálculo do tempo de entreverdes (expresso em segundos) é obtido a partir da soma dos tempos de amarelo e tempos de vermelho geral de todos os estágios. Na Tabela 13, a seguir, são mostrados os fatores necessários para a determinação do entreverdes com seus respectivos valores. Neste estudo, alguns valores adotados seguem recomendados pelo Manual (CONTRAN, 2014), e outros foram possíveis de obter em campo, ou, estimados através das ferramentas do *Google Earth* (2021).

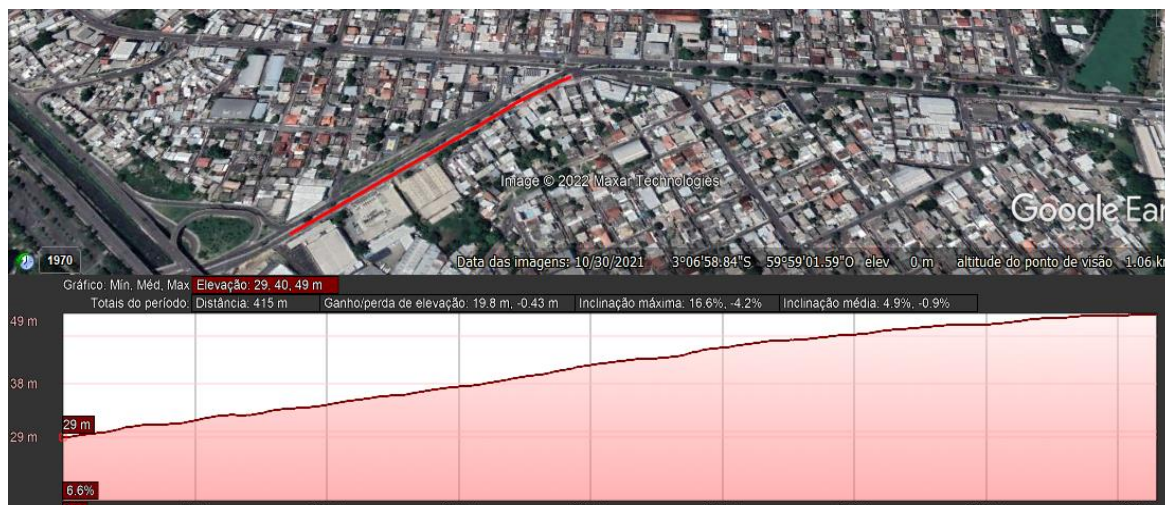
Na referida tabela, os fatores “tpr”, “Aad”, “g” e “c”, assumiram os valores indicados no próprio Manual de Sinalização Semafórica (CONTRAN, 2014). A velocidade média adotada, conforme disposto na metodologia, foi de 40 km/h, para todas as aproximações. A extensão da trajetória do veículo entre a linha de retenção e o término da área de conflito, foi estimada com auxílio das imagens do *Google Earth* (2021). Essa mesma ferramenta permite visualizar o perfil de elevação das vias, sendo possível identificar a inclinação média na rampa ascendente na aproximação 3, conforme mostrado na Figura 17.

Tabela 13 - Fatores considerados para determinação do tempo de entreverdes

Fatores	G1	G2	G3	unidade
tpr = tempo de percepção e reação do condutor	1,00	1,00	1,00	S
v = velocidade do veículo	11,11	11,11	11,11	m/s
Aad = máxima taxa de frenagem admissível em via plana	3,00	3,00	3,00	m/s
i = inclinação da via na aproximação	0	0	0,05	m/m
g = aceleração da gravidade	9,80	9,80	9,80	m/s <sup>2</sup>
d = extensão da trajetória do veículo entre a linha de retenção e o término da área de conflito	21,56	25,65	25,77	M
c = comprimento de veículo predominante no fluxo analisado	5,00	5,00	5,00	M

Fonte: Autor (2022).

Figura 17 - Rampa ascendente na Av. Gen. Rodrigo Otávio (Porto Chibatão / CVGM)



Fonte: Google Earth (2022).

O trecho da Av. Rodrigo Otávio, sentido Porto Chibatão – CVGM, na aproximação 3, é uma subida com extensão aproximada de 415 m e altura de 20 m. Na imagem, acima, pode ser observado o acíve do terreno. A inclinação do terreno é dada pela razão da elevação (m) pela extensão do trecho (m), sendo aproximadamente 0,05m/m ou 5%. Nas aproximações 1 e 2, as vias foram consideradas planas ( $i = 0$ ).

Para o cálculo do tempo de amarelo e do tempo de vermelho geral foram adotadas as equações 2.2.6-1 e 2.2.6-2 (CONTRAN, 2014, p.91). Os valores considerados para esse cálculo podem ser observados, também, na Tabela 13, mostrada anteriormente. Logo, substituindo-se os valores nas equações abaixo, tem-se:



Tabela 14 - Tempo de amarelo e tempo de vermelho geral

Grupos focais		G1	G2	G3
Tempo de amarelo (s)	$t_{am} = t_{pr} + \frac{v}{2(a_{ad} \pm ig)}$	2,85	2,85	3,18
Tempo de vermelho geral (s)	$t_{vg} = \frac{d_2 + c}{v}$	2,39	2,76	2,77

Fonte: Autor (2022).

Por fim, para determinação do tempo de entreverdes, considerando-se a equação 2.2.6 (item 2.2.6), é obtido o valor desse fator, conforme Tabela 15.

Tabela 15 - Tempo de entreverdes

Grupos focais		G1	G2	G3
Tempo de entreverdes (s)	$t_{ent} = t_{pr} + \frac{v}{2(a_{ad} \pm ig)} + \frac{d_2 + c}{v}$	5,24	5,61	5,94

Fonte: Autor (2022).

A partir dos valores apresentados na tabela acima, verifica-se que tempo de entreverdes para o funcionamento do Estágio 1 (grupos focais G1 e G3), para o conjunto semaforico instalado na interseção em estudo, é de 5,94 segundos (maior valor). Para o Estágio 2, esse valor é de 5,61 segundos. Arredondando esses valores para número inteiro, tem-se para cada estágio 6 segundos. Logo, o tempo de entreverdes a ser adotado para o cálculo do tempo de ciclo semaforico, com os dados obtidos nas pesquisas de campo é de 12 segundos.

#### 4.3.5. Cálculo do tempo de ciclo semaforico

O Brasil não tem modelos próprios para o dimensionamento de programação semaforica, seja para semaforos do tipo isolado ou do tipo atuado. As tecnologias usadas são estrangeiras, normalmente *softwares* elaborados, considerando parâmetros para simulação que, na muitas das vezes, não se observam nas situações

brasileiras. A grande maioria dos semáforos no Brasil ainda é do tipo isolado, de programação fixa, com um único plano de operação ao longo do dia. Para programações de semáforos tipo isolado e de planos ou multiplanos fixos, o Manual (CONTRAN,2014) recomenda o Método de Webster.

Assim sendo, foi calculado um tempo de ciclo semaforico para os grupos focais G1, G2 e G3, instalados na interseção das avenidas Tefé e Rodrigo Otávio, considerando os dados pesquisados em campo, para verificar a eficiência da programação instalada naquele local, frente à atual demanda veicular observada. Para tal, foi adotada a equação 2.2.8 (item 2.2.8), e como tempo perdido total, foi empregado o tempo de entreverdes, já calculado anteriormente, conforme recomendado pelo CONTRAN (2014). A Tabela 16 abaixo apresenta o novo tempo de ciclo.

Tabela 16 - Cálculo para tempo de ciclo ótimo

Equação	$t_{co} = \frac{1,5 \times T_p + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i}$	Valores	Referência
$t_{co}$	Tempo de ciclo ótimo (s)	218	Eq.2.2.10
$t_p$	Tempo perdido total (s)	12	Tabela13
$y_1$	Taxa de ocupação (estágio 1)	0,47	Tabela 10
$y_2$	Taxa de ocupação (estágio 2)	0,42	Tabela 10
$\sum y_i$	$\Sigma$ taxa de ocupação (estágios 1 e 2)	0,89	---
n	número de estágios	2	Figura 9

Fonte: Autor (2022).

A Tabela 16 apresenta o valor calculado para o tempo de ciclo semaforico, considerando a demanda atual. Substituindo-se esses valores na equação 2.2.8 (Método de Webster) tem-se que o tempo de ciclo ótimo é 218 s, o que representa mais de três minutos. Porém, conforme o manual do CONTRAN (2014, p.93), é recomendado que o ciclo semaforico seja menor ou igual 120s. Assim sendo, será adotado para elaboração do novo diagrama de intervalos luminosos, o tempo de ciclo de 120s, considerando o tempo de verde efetivo para os estágios 1 e 2.

A partir desse tempo de 120 segundos, foram estabelecidos os tempos de verde efetivo para cada estágio (1 e 2), adotando-se a equação 2.2.9-2 (item 2.2.9). Substituindo-se os valores na referida equação, foram obtidos os resultados mostrados na Tabela 17.

Tabela 17 - Tempo de verde efetivo para cada grupo focal

Tempo de verde Efetivo (Eq. 2.2.9-3)		Estágio 1	Estágio 2
		G1 e G3	G2
$t_{v,efet,i} = (t_c - T_p) \times \frac{y_i}{\sum_{i=1}^n y_i}$		57	51
$t_p$	Tempo perdido total (s)	12 (Tab.13)	
$y_1$	Taxa de ocupação (estágio 1)	0,47 (Tab.10)	
$y_2$	Taxa de ocupação (estágio 2)	0,42 (Tab.10)	
$\sum y_i$	$\Sigma$ taxa de ocupação (estágios 1 e 2)	0,89	

Fonte: Autor (2022).

Após o cálculo do tempo de verde efetivo, foi elaborado o diagrama de intervalos luminosos, conforme figura 18, abaixo.

Figura 18 - Diagrama de intervalos luminosos para um tempo de ciclo de 120s

INSTANTES (s)	0	57	61	65	116	120
G3	[Green]		[Yellow]	[Red]		
G1	[Green]		[Yellow]	[Red]		
G2	[Red]			[Yellow]	[Green]	
Nº INTERVALOS	1	2	3	4	5	
DURAÇÃO (s)	57	4	4	51	4	
% CICLO	48	3	3	43	3	100
ESTÁGIOS	1			2		

Fonte: Autor (2022).

Nota-se na Figura 18, que os tempos de verde efetivo, existentes para os fluxos veiculares nas aproximações 1, 2 e 3, precisam ser ajustados. Cabe ressaltar, que o monitoramento de qualquer dispositivo de controle de tráfego deve

ser periodicamente realizado, para não comprometer a mobilidade urbana. Neste caso, pela importância da Av. Rodrigo Otávio, maior atenção deveria ser dispensada.

#### 4.4. Análise comparativa dos tempos de ciclo semafóricos

Este capítulo destina-se à análise comparativa dos resultados apresentados no item anterior, entre os tempos de ciclo semafórico instalados e os calculados com base na demanda atual. Essa análise foi realizada considerando-se a metodologia recomendada para dimensionamento de semáforos isolados (CONTRAN, 2014), conforme referencial teórico, ressaltando-se os seguintes aspectos: (a) programação semafórica instalada e a taxa de escoamento veicular e (b) características do entorno.

##### 4.4.1. Programação semafórica instalada e a taxa de escoamento veicular

Na observação dos diagramas de intervalos luminosos elaborados e expostos no item 3.3.5, verificaram-se divergências nos tempos de ciclo, logo, apontando necessidades de ajustes nos tempos de verde efetivo para o escoamento veicular observado atualmente. Isso mostra que o conjunto semafórico instalado não funciona de forma eficiente. A Tabela 18 apresenta um comparativo dos tempos de ciclo semafórico registrados para a interseção das vias Tefé e Rodrigo Otávio: o que está implantado, em funcionamento no local (cor azul), o que foi calculado com base na demanda atual (cor rosa) e o tempo recomendado pelo CONTRAN (2014), na cor amarela.

Tabela 18 - Tempos de ciclo semafórico: Av.Tefé versus Av. Rodrigo Otávio

	Atual	Calculado	Recomendado
Verde eft. (G1/G3)	40	109	57
Ver eft. (G2)	35	97	51
Tempo perdido	12	12	12
Tempo de ciclo (s)	87	218	120
Tempo de ciclo (min)	1'27"	3'38"	2'

Fonte: Autor (2022).

Na tabela acima, verifica-se que o plano semafórico estabelecido para o período de abrangência analisado, das 14:30h às 15:30h (no entre pico da tarde), não

é compatível com a demanda registrada naquela interseção. Para atender tal demanda, seria necessário um tempo de ciclo de 3 minutos e 38 segundos, o que não é tecnicamente recomendado por questões de formação de filas e grandes atrasos, bem como possibilidades de acidentes. Neste caso, o Manual Contran (2014) sugere a adoção de um tempo de 120 segundos, totalizando 2 minutos para o ciclo semafórico.

Para ilustrar o quanto essa discrepância entre a demanda atual e o plano semafórico em funcionamento interfere na capacidade viária, por conseguinte, na mobilidade urbana, fez-se uma análise simplificada da taxa de escoamento veicular, considerada para o cálculo do fluxo de saturação, apontadas nas tabelas 9, 10 e 11, no item 4.5, quando adotados os tempos de verdes efetivos calculados e os recomendados pelo CONTRAN (2014). O resultado dessa análise é mostrado na Tabela 19, abaixo

Tabela 19 - Número de veículos e percentual de atendimento por tempo de verde efetivo

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)
	veic/s	verde efetivo atual	nº veículos atual	verde efetivo calculado	nº veículos calculado	verde efetivo recomendado	nº veículos recomendado	% de atendimento (C / E) x 100	% de atendimento (C / G) x 100
MV1	0,55	40	22	109	60	57	31	36,7	70,2
MV2	0,5	35	18	97	49	51	26	36,1	68,6
MV3	0,6	40	24	109	65	57	34	35,8	68,4

Fonte: Autor (2022).

Na Tabela 19, a coluna A contém os valores da taxa de escoamento (veículos/segundos) adotada no horário de 14:30h-15:30h. Multiplicando-se os valores da coluna A, pelos tempos de verde efetivo dos três ciclos semafóricos registrados neste estudo (colunas B, D e F), resultam nos números de veículos escoados no tempo de verde efetivo para os respectivos tempos de ciclo, dispostos nas colunas C, E e G.

Considerando, por exemplo, a demanda atual e o tempo de verde efetivo calculado para movimento MV1, o número de veículos que poderia ser escoado é de 60 veículos (coluna E) e não de 22 veículos (coluna B), conforme fluxo registrado em campo, no semáforo existente. Isso indica que o tempo de verde instalado está atendendo apenas 36,7% (coluna H) do escoamento veicular na aproximação 1. Para

os demais movimentos MV2 e MV3, esses valores representam 36,1% e 35,8%, respectivamente. Entretanto esse, embora os valores da coluna E sejam referentes à demanda real observada, não se aplicam por questões de segurança.

Caso o tempo de ciclo daquela interseção fosse ajustado conforme recomendação do CONTRAN (2014), no caso, para 120 segundos, os tempos de verde efetivo possibilitariam um maior número de veículos em verde efetivo (coluna G) e maiores percentuais de atendimento do fluxo para os movimentos MV1, MV2 e MV3, sendo estes 70,2%, 68,6% e 68,4%, respectivamente, conforme observado na coluna I. Neste caso, pode-se inferir que, sem esse ajuste do plano semafórico, o atendimento na referida interseção fica comprometido, em média, 33% (considerando a diferença entre as médias dos valores da coluna I (69,10%) e da coluna J (36,20%).

No caso do movimento MV3, essa limitação registrada pode ser justificada pela presença de polos geradores de viagens próximo à aproximação 3, mas, também, pela falta de um melhor tratamento do tráfego em relação à compatibilidade veículo-via. A topografia do local apresenta um trecho em curva com rampa média de 5%, e a composição do tráfego possui 11% de veículos de carga, com porte bruto que varia entre 16 toneladas (veículos unitários) a 74 toneladas (caminhão trator trucado com semirreboques). Isso afeta no tempo de manobra desses veículos ao percorrerem a área de conflito daquela interseção, conforme observado no estudo de MAIA (2022).

Neste caso, segundo mostrado por Gandra (2022), dados mais específicos sobre relação peso/potência dos veículos de carga são necessários para analisar a compatibilidade veículo-via, investigando qual seria a melhor velocidade operacional de veículos pesados em aclives.

De acordo com Luna (2003), a ocupação do espaço viário em função da formação de filas nas aproximações e os tempos de manobras, são fatores que influenciam sobremaneira nos tempos de verde efetivo dos semáforos. Este autor recomenda tratar o problema adotando-se o fluxo em veículos por hora, por retratar melhor a realidade, em especial, quando se observam veículos de carga, como exemplo, a Av. Rodrigo Otávio. Entretanto, a grande maioria dos semáforos no Brasil,

consideraram metodologias estrangeiras, com adoção de fatores de equivalência não compatíveis à realidade local.

Ignorar a tipologia e o porte dos veículos de carga, pode não refletir no tempo adequado de ciclo, induzindo a planos semaforicos discrepantes, em especial, planos fixos, como é o caso da maioria dos semáforos da malha urbana em Manaus. Para exemplificação, nas tabelas mostradas no item 4.3.1, são observados os valores dos fluxos de veículos (MV1, MV2 e MV3) convertidos em unidades de carros de passeio, adotando-se valores recomendados por três instituições distintas. Na Figura 19, podem ser vistos os fatores de equivalência adotados pelo Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006), no Manual de Sinalização Semafórica (CONTRAN, 2014) e em estudos do extinto Instituto Municipal de Engenharia e Fiscalização de Trânsito (MANAUSTRANS, 2013), atualmente IMMU – Instituto Municipal de Mobilidade Urbana.

Figura 19 - Fatores de equivalência: MANAUSTRANS, DNIT E CONTRAN

MANAUSTRANS, 2013		DNIT, 2006		CONTRAN, 2014	
Automóveis	1	P	1	Automóveis	1
Motos	0,5	M	1	Motos	0,33
Ônibus comum	2	CO	1,5	Ônibus	2
Articulado	4	B	0,5	Caminhões (2 eixos)	2
Caminhão	2	RSR	2	Caminhões (3 eixos)	3
Carreta	4	SI	1,1		

Fonte: MANAUSTRANS (2013); DNIT (2006); CONTRAN (2014).

As diferenças observadas nos fatores de equivalência, em especial, para o tratamento de veículos de carga, devem ser cuidadosamente consideradas nos estudos da engenharia de tráfego. Luna (2003, pg.) ressalta, por exemplo, que análises que envolvem formação de filas e custos com consumo de combustíveis, ficam distorcidos quando se trata o fluxo de tráfego convertido em unidades de passeio.

#### 4.4.2. Características no entorno da interseção

O Manual de Sinalização Semafórica (CONTRAN, 2014, p.108) recomenda que, em se tratando de programação de sinalização semafórica, quatro etapas básicas devem ser observadas, e, na primeira delas, a definição das condições em que a programação irá operar é destacada. Dentre essas condições, fazer o levantamento das características do entorno da interseção é fundamental para o bom funcionamento do conjunto semafórico.

As figuras 20, 21 e 22, abaixo, ilustram diversas situações desfavoráveis que ocorrem na Av. Rodrigo Otávio, sentido Porto Chibatão – CVGM, causando limitações no escoamento veicular.

Figura 20 -Faixa de pedestres e acesso



Fonte: Autor (2022). Imagem *Google Earth* (2022).

Na imagem acima podem ser destacadas situações que provocam impactos no fluxo de veículos, com redução de velocidade, sendo estas: (a) a localização de uma faixa de pedestre e um ponto de ônibus, aproximadamente, a 137 metros de distância da faixa de retenção da aproximação 3; (b) acesso de veículos a 58 metros da mesma aproximação, permitindo entrada e saída de veículos para o bairro Japiim; e, (c) polos geradores de viagens (PGV1 e PGV2), localizados no trecho em curva, com manobras de entrada e saída para o estacionamento.

Há, também, um retorno à esquerda, no canteiro central da Av. Rodrigo Otávio. Porém, este corredor é estreito, com duas faixas de tráfego e sem área para



armazenamento. Resta aos veículos que desejam seguir no sentido do CVGM, a faixa da direita, onde concentram-se os veículos de carga e ônibus. Assim sendo, ao longo do dia, uma fila de veículos se acumula na faixa à esquerda (linha azul), comprometendo a capacidade viária. Ocorre uma densidade alta de veículos e um volume de tráfego reduzido (ver Figuras 21 e 22).

Figura 21 - Polos geradores de viagens e retorno na Av. Rodrigo Otávio



Fonte: Autor (2022). Imagem *Google Earth* (2022).

Figura 22 - Veículos em fila para realizar retorno na Av. Rodrigo Otávio



Fonte: *Google Earth* (2022).

O movimento neste retorno, depende do tempo de vermelho de um outro semáforo, o semáforo 3 (Figura 21), localizado no sentido oposto da Av. Rodrigo Otávio. No caso do semáforo 2, embora localizado a mais de 500 metros do semáforo 1, sofre os impactos negativos desse congestionamento nas proximidades do retorno.

É necessária uma atuação mais rigorosa, por parte da gestão pública municipal, em relação aos estacionamentos dos diversos polos geradores de viagens instalados naquela avenida. Segundo Freitas (2022), em seus estudos de velocidade e retardamento na Av. Rodrigo Otávio, no horário de pico do meio-dia (11:30h-12:30h), esse trecho foi considerado o mais crítico, com uma velocidade média operacional de 10,43 km/h. Parte se deve às manobras para estacionamento e os estacionamentos irregulares de veículos na faixa de rolamento da direita.

Há urgência no tratamento dessa área. Seja para ajustes dos planos semaforicos desses semáforos isolados, seja através da implantação de semáforos inteligentes coordenados, bem como de estudos para viabilizar outras alternativas de retorno.

Na Figura 23 é sugerida uma área que poderia ser melhor investigada, considerando todos os aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais, para implantação de uma alça para retorno.

Figura 23 - Proposta de alça para retorno com passagem subterrânea



Fonte: Autor (2022). Imagem *Google Earth* (2022).

A proposta aproveita o desnível existente que há na Av. Rodrigo Otávio, e possibilitar o escoamento através de uma passagem subterrânea, especialmente para veículos de passeio, utilitários e veículos urbano de carga (3/4 – 4t). A alça proposta inicia na Av. da Penetração II, logo após o semáforo 1. Seguindo à direita pela Rua R-A1 (ponto 1, Figura 23), atravessando a Av. Rodrigo Otávio por uma passagem subterrânea de aproximadamente 59 metros na diagonal (linha azul). Segue no sentido oposto da Av. Rodrigo Otávio, no entroncamento com a Rua R-27 (ponto 2, Figura 17). A partir de estudos, sendo uma alternativa viável, poderia reduzir os impactos na mobilidade urbana no corredor viário da Av. Rodrigo Otávio.

## 5. CONCLUSÕES

A partir das análises realizadas neste estudo, foi possível mostrar através do emprego de técnicas de Engenharia de Tráfego, que é possível realizar de forma simplificada, o monitoramento de dispositivos de controle de tráfego, neste caso, semáforos veiculares, tipo isolado com programação fixa. Assim sendo, por meio de filmagens e observações em campo, foram identificados parâmetros operacionais do conjunto semaforico localizado na interseção entre as avenidas Rodrigo Otávio e Tefé, bairro Japiim, em Manaus (AM). Tais parâmetros mostram uma incompatibilidade da programação semaforica instalada e a demanda real computada no local. Tal incompatibilidade reflete negativamente na taxa de escoamento do fluxo veicular, por conseguinte, na mobilidade urbana dos corredores supracitados.

Face ao exposto, pode-se inferir que o desempenho do conjunto semaforico da interseção da Av. Rodrigo Otávio e Av. Tefé, apresenta uma restrição operacional de 33% em relação ao seu escoamento veicular, considerando o tempo de verde efetivo atualmente instalado.

Essa situação se deve, em parte, à falta de observação quanto às recomendações contidas nos manuais técnicos para o bom funcionamento de semáforos, sendo uma delas o monitoramento da área de entorno dos semáforos. Verificou-se que no trecho logo após à interseção analisada, existem gargalos no tráfego, que interferem negativamente nessa interseção. Há necessidade de reorganização dos estacionamentos dos PGVs e análise dos seus impactos no tráfego local; de estudos para realocação da faixa de pedestres e ponto de ônibus; e, da situação de retorno à esquerda, para o sentido oposto da Av. Rodrigo Otávio. Isso requer ações conjuntas de instituições governamentais, que não somente as tomadas pelo órgão gestor da mobilidade urbana.

O estudo realizado não tem e pretensão de esgotar o assunto, haja vista ter sido analisado somente um dos oito conjuntos semaforicos existentes na Avenida Rodrigo Otávio. Além disso, existem outras limitações desse estudo, cabendo destacar o período de abrangência considerado para o cálculo do tempo de ciclo semaforico, de somente uma hora no entre pico da tarde. Essa limitação deve-se à

disponibilidade da autora em função de seu estágio profissional. Também deve ser considerado que o período das filmagens e observações no ano de 2021, ainda sob a influência das paradas de atividades, fruto da pandemia COVID-19, podem refletir no volume de tráfego computado para as análises.

Por fim, embora já tenha sido divulgado pelo Instituto Municipal de Mobilidade Urbana - IMMU, a implantação de 50 semáforos inteligentes em alguns pontos da cidade (TORRES, 2022), o que já é um avanço no uso de tecnologias para melhorias no tráfego, muito ainda precisa ser ajustado, considerando a extensa malha viária urbana de Manaus. Dessa forma, algumas sugestões para futuros trabalho são deixadas a seguir:

- Estudo em outras interseções semaforizadas ao longo da Av. Rodrigo Otávio;
- Estudo mais abrangente dos volumes categorizados do tráfego no trecho crítico, entre os semáforos 1 e 2, apontados neste trabalho, para quantificar o movimento de retorno;
- Estudos de alternativas para minimizar os impactos gerados no tráfego, devido ao retorno, à esquerda na Av. Rodrigo Otávio, entre as ruas João do Mato e Rubens Benzecry, bairro do Japiim.
- Estudos de alternativa para melhoria da interseção das avenidas Rodrigo Otávio e Tefé, considerando configuração tipo diamante divergente no corredor semaforizado da Avenida General Rodrigo Otávio, como exemplo mostrado no link <https://www.youtube.com/watch?v=HD-0QnUILOQ&t=5s> (NCDOTcommunications, 2011);
- Estudos e simulações para o tratamento de semáforos adotando simuladores já existentes no mercado, e outros métodos para o dimensionamento, haja vista as limitações do método de Webster, adotado pelo manual do CONTRAN;
- Estudos sobre a possibilidade de programação semafórica coordenada entre os semáforos na Av. Rodrigo Otávio, no trecho da Av. Tefé até o supermercado Baratão da Carne.

- Estudos sobre fatores de equivalência para veículos pesados em vias urbanas de Manaus, em diferentes períodos do dia e em diferentes situações (semáforos, rotatórias, rampas etc);

- Estudos sobre a velocidade operacional em rampas ascendentes, observando a relação peso/potência de veículos pesados;



## 6.REFERÊNCIAS

AMAZONAS ATUAL. Instalação de semáforos inteligentes em Manaus custará R\$25,5 milhões. Dia a Dia. 13/07/2022. Disponível em: <https://amazonasatual.com.br/instalacao-de-semaforos-inteligentes-em-manaus-custara-r-255-milhoes/> . Acesso em: 07 set. 2022.

BEZERRA, B. S. Semáforos: Gestão Técnica, percepção do desempenho, duração dos tempos. 2007. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

BERNARDES, F. F.; FERREIRA, W. R. Logística Urbana: Análises e Considerações acerca do Transporte de Cargas. Universidade Federal de Uberlândia (UFU) – Instituto de Geografia – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Uberlândia. 2015.

BRASIL. Lei Federal nº 12.587, 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Diário Oficial da União. Brasília, 2012.

CAETANO, R. L. Filmagens do fluxo veicular na Interseção semaforica da Av. Rodrigo Otávio com a Tefé em 15/09/2021. Youtube. 08 out. 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=s9oDnj0m1ys> . Acesso em: 08 de out 2022.

CAIXETA, J. V. F.; MARTINS, R. S. Manual de projeto de travessia urbanas. Rio de Janeiro, 2010. 392p. (IPR. Puubl., 740).

CET. Companhia de Engenharia de Tráfego (CET). Manual de Sinalização Urbana: Semaforica. São Paulo: CET, 2021. 310p. 6 v.

CNDL. Confederação Nacional de Dirigentes Logísticas (CNDL). Mobilidade Urbana. Brasília: CNDL, 2022. 23 p.

CONTRAN. Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Sinalização semaforica. 1ª edição. Brasília: Contran, 2014. 313 p. (Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, 5 v.).

COSTA, M. S. Um índice de mobilidade urbana sustentável. Tese (Doutorado-programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Área de Concentração Planejamento e Operação de Sistema de Transporte). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

CASTRO, Á. Noticias: Semáforos inteligentes serão implantados nas principais vias de Manaus. . Manaus: Prefeitura de Manaus, 07 jul. 2022. Disponível em: <<https://www.manaus.am.gov.br/noticia/semaforos-inteligentes-serao-implantados-nas-principais-vias-de-manaus/>>. Acesso em: 28 set. 2022.

FELIX, J. B. Semáforos melhoram convivência entre motoristas e pedestres. Jornal da USP. São Paulo. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/atualidades/semaforos-melhoram-convivencia-entre-motoristas-e-pedestres/>>. Acessado em: 09 de jul. 2022.

FREITAS, B. S. Análise de desempenho de rota no perímetro urbano de Manaus: estudo de caso da operação de veículos de carga na Av. General Rodrigo Otávio. 2022. 62 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.

GRANDA, R. M. Comportamento de veículos de carga em rampas ascendentes de rotas urbanas que atendem o Polo industrial de Manaus (PIM): Estudo de caso na Avenida Rodrigo Otávio. 2022. 53f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.

GRUPO CHIBATÃO. Notícias: Grupo Chibatão investe R\$ 262 milhões em logística no Amazonas. Disponível em: <<http://www.grupochibatao.com.br/noticias/grupo-chibatao-investe-r-262-milhoes-em-logistica-no-amazonas/>>. Acessado em: 06 de agos. 2022.

HALLAND, M. Zona Franca de Manaus: Impactos, efetividade e oportunidades. Estudo da Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2019. 102 p.

IMPLURB. Mapas em CaD. Disponível em: <<https://implurb.manaus.am.gov.br/mapas-em-autocad/>>. Acessado em: 25 de out. 2021

MAIA, M. S. Análise dos fatores de equivalência para veículos de carga no corredor de Manaus. Orientadora: Ana Maria Guerra Seráfico Pinheiro. 2022. 63f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Guia PlanMob para Elaboração dos Planos Diretores de Transporte e Mobilidade. Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana, Brasília, Maio, 2006.

LUNA, M. S. Sobre o Fluxo de saturação: Conceituação, Aplicação, Determinação e Variação. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) – Centro de Tecnologias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

NCDOTcommunications. Diverging Diamond Interchange Visualization. Youtube. 10 mar. 2011. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=HD-0QnUILOQ&t=5s>>. Acesso em: 08 out 2022.

REYMÃO, J. E.N. Seleção do Tipo de Veículo para entregas em Áreas Urbanas: Uma aplicação do Método de análise Hierárquica - AHP. Dissertação (Mestrado) - PET/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2012.

SILVA, A. J. Contribuição ao planejamento do transporte urbano de carga pela análise física do espaço urbano. Dissertação (Mestrado), Curso de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ. 2006.

SILVA, R.C. Construção ao planejamento do transporte urbano de carga pela análise física do espaço urbano: Estudos da área da rua Catete e largo do Machado no Rio de Janeiro. Dissertação (mestrado), Curso de Pós-graduação em engenharia de Transporte, PET/COOPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2012. 88 f.



SILVA, R.P.; BRACARENSE, L. S. F. P. Impacto do Tráfego de Caminhões em Meio Urbano: o Caso de Palmas. Ouro Preto, MG. p. 2542 -2553. 2015.

SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS. (2018). Zona franca de Manaus: Indicadores de desempenho do Polo Industrial de Manaus (2013-2018). Disponível em: <<http://site.suframa.gov.br/assuntos/modelo-zona-franca-de-manaus/apresentacao-resumo-indicadores>>. Acesso em: 20 de set. 2022.

TORRES, B. Notícias: Prefeito David Almeida assina ordem de serviço para instalação de semáforos inteligentes em Manaus. Manaus: Prefeitura de Manaus, 13 jul. 2022. Disponível em: <<https://www.manaus.am.gov.br/noticia/prefeito-david-almeida-assina-ordem-de-servico-para-instalacao-de-semaforos-inteligentes-em-manaus/>>. Acesso em: 28 set. 2022.