

ESTUDO DA VIABILIDADE DE INTERVENÇÃO SEMAFÓRICA NO CRUZAMENTO DA RUA MAUÁ COM A RUA BENJAMIN CONSTANT, LOCALIZADAS NO MUNICÍPIO DE ANÁPOLIS-GO

Wesley Gomes Braga

Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis (bragawgb@gmail.com)

Luís Eduardo Amaral Duarte

Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis (amaral2gav6@gmail.com)

Ana Lúcia Carrijo Adorno

Professora Doutora, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis (ana.carrijo@unievangelica.edu.br)

Felipe Fonseca Garcia

Professor Especialista, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis (felipefgarcia@unievangelica.edu.br)

RESUMO

O crescimento populacional somado ao conseqüente aumento da frota veicular, sem o replanejamento da mobilidade urbana, ocasionam o aumento do número de acidentes. O Código de Trânsito Brasileiro e o Conselho Nacional de Trânsito adotam as sinalizações de trânsito, composta por sinais e dispositivos de segurança, como elementos destinados à melhoria no tráfego de veículos e pedestres. Esgotadas as primeiras ações corretivas, faz-se necessário um estudo para intervenção semafórica visando a diminuição de acidentes e conflitos gerados no trânsito. Com objetivo de melhoria no tráfego entre as Ruas Mauá e Benjamin Constant, localizadas na cidade de Anápolis-GO, esse estudo foi realizado, por meio do método descrito no *Highway Manual Capacity de 2000* (HCM) e normas vigentes do Departamento Nacional de Trânsito. Após análise quantitativa dos resultados constatou-se que o trecho estudado não necessita de intervenção semafórica, imediata, sendo, no entanto, necessário o contínuo monitoramento da interseção.

PALAVRAS-CHAVE:

Mobilidade Urbana. Intervenção Semafórica. Nível de serviço. Sinalização de Trânsito. HCM 2000.

1 INTRODUÇÃO

Com aproximadamente 85% da população residindo nos centros urbanos IPEA (2016a) e o crescimento da frota veicular, as metrópolis brasileiras encontram-se sobrecarregadas e o trânsito urbano é um dos problemas mais críticos enfrentados pela sociedade (Simões & Simões, 2016), .

Em 2013, no Brasil, morreram aproximadamente 43 mil pessoas vítimas de acidentes de trânsito; foram 21 mortes a cada 100 mil habitantes. No estado de Goiás os índices são superiores a média nacional, impulsionados pelo crescimento da frota de motocicletas (IPEA, 2016b). Conseqüentemente, na cidade de Anápolis o número de acidentes aumentou em 190%, no período de 2002 a 2012(DETRAN,2013). O presente estudo justifica-se como alternativa de mitigar os riscos de acidentes ocorridos no trânsito que, em 2017, vitimaram 65 pessoas segundo a Delegacia de Trânsito de Anápolis; e, em 2014, custraram para sociedade brasileira mais R\$ 9,9 bilhões (Ipea,2015).

Nesse contexto o objetivo da pesquisa é a busca de melhorias na qualidade do tráfego e maior segurança aos usuários no cruzamento entre as Ruas Mauá e Benjamin Constant, através de verificação da intervenção semaforica, por meio da metodologia adotada pelo *Highway Manual Capacity* (HCM) (2000) e normas vigentes do Departamento Nacional de Trânsito e do Código de Trânsito Brasileiro.

2 SISTEMA VIÁRIO

Motoristas e pedestres representam os usuários do sistema viário, influenciadores na condução de um tráfego seguro (Coelho; Goldner, 2016), inserindo nas vias urbanas aproximadamente 97 milhões de veículos (DETRAN, 2017).

Segundo Brasil (1997) As vias são as superfícies por onde trafegam veículos, pessoas e animais e classificam-se em rurais, urbanas, principais e secundárias. As vias rurais subdividem-se em estradas e rodovias enquanto que as urbanas possuem quatro subdivisões:

- a) De trânsito rápido: possuem acessos especiais com trânsito livre e sem interseção em nível;
- b) Coletoras: coletam e distribuem o trânsito que trafega pelas vias arteriais e locais;
- c) Arteriais: conectam o trânsito entre regiões das cidades, possuem interseção em nível e podem apresentar sinalização semaforica; e
- d) Locais: Acessam áreas restritas, possuem interseção em nível e não são semaforizadas.

A via principal é aquela que possui maior fluxo de veículos em relação às outras que a interceptam (CONTRAN, 2014b).

2.1 SINALIZAÇÃO VIÁRIA

Dispositivos de segurança e conjuntos de sinais de trânsito inseridos na via, que possibilitam melhor fluidez no trânsito e maior segurança aos usuários que nela circulam.

Composta por placas, marcas, equipamentos de controle luminosos, apitos e gestos, com finalidade exclusiva de orientar o trânsito dos veículos e pedestres (BRASIL,1997).

2.1.1 Sinalização Vertical

Símbolos e sinais, colocados em placas, instalados na posição vertical, lateralmente ou acima da pista de rolamento transmitindo informações de regulamentação, advertência e indicações aos usuários da via, conforme apresentado nas figuras 1, 2 e 3, respectivamente (CONTRAN, 2007a).

Figura 1 - Sinais de Regulamentação



Fonte: CONTRAN, 2007a.

Figura 2 - Sinais de Advertência



Fonte: CONTRAN, 2007b.

Figura 3 - Sinais de Indicação

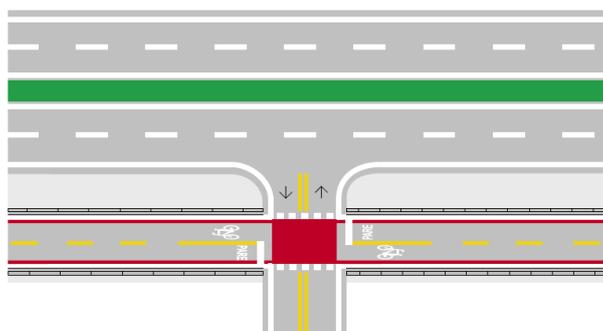


Fonte: CONTRAN, 2014b.

2.1.2 Sinalização Horizontal

Composta por símbolos e legendas nas cores amarela, vermelha, branca, azul e preta; e as formas contínua ou tracejada., Fixada sobre a via, tem por finalidade passar aos usuários todas as informações necessárias sobre condições de tráfego, restrições e procedimentos a serem tomados (CONTRAN, 2007c). A Figura 4 ilustra a composição da sinalização horizontal.

Figura 4 - Sinalização horizontal



Fonte: CONTRAN, 2007c.

2.1.3 Sinalização Semafórica

Sinalização com a função de advertência ou regulamentação, constituída de indicações luminosas (Figura 5) nas cores vermelho, amarelo e verde, de uso contínuo, ligado de maneira alternada ou intermitente e acionados por um dispositivo de controle. Classificam-se em sinalização de veículos, pedestres e ciclistas (CONTRAN, 2014b).

Figura 5 – Semáforo veicular



Fonte: DETRAN, 2015

2.2 INTERSEÇÃO

Contitui-se no ponto mais crítico do deslocamento urbano, diminuindo a capacidade da via e conflitando os movimentos (SIMÕES, SIMÕES, 2016). É formada pelo cruzamento, entrocamento ou a bifurcação em nível de mais de uma via (BRASIL,1997) e classifica-se segundo (SIMÕES; SIMÕES, 2016) pelo formato em cruz, T, Y e oblíqua. A Figura 6 apresenta uma interseção em nível de um cruzamento do tipo cruz.

O fluxo de veículos que possui mesma origem e destino e o fluxo de pedestres que se desloca na mesma direção são denominados movimentos de uma interseção. Para cada grupo de movimentos é definida uma aproximação, que são os locais das vias por onde os veículos chegam à interseção. Movimentos oriundos de diferentes aproximações podem chocar-se numa região dentro da interseção denominada área de conflito (CONTRAN,2014b).

Figura 6 – Interseção em nível do tipo cruz

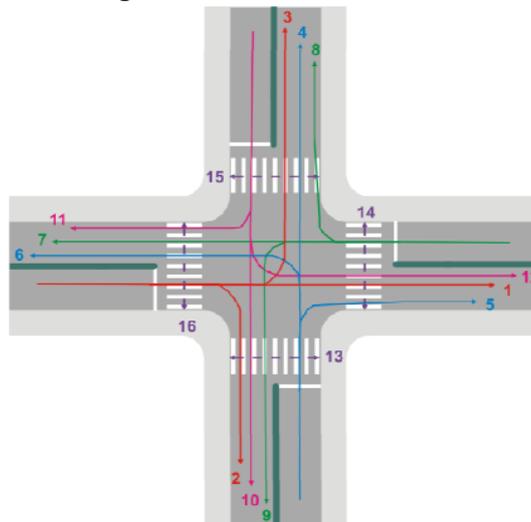


Fonte: www.engenhariacivil.com

O diagrama de conflito (Figura 7) ilustra a geometria da interseção, constituindo-se dos movimentos, suas aproximações e trajetórias. O gerenciamento desse conflito é de fundamental importância para solução das problemáticas geradas na interseção e constiue-se de três etapas básicas:

- Estudo preliminar e rotineiro da interseção até a identificação dos problemas,
- Identificar as prováveis causas;
- Apresentar as propostas e medidas para a solução do problema (CONTRAN, 2014b).

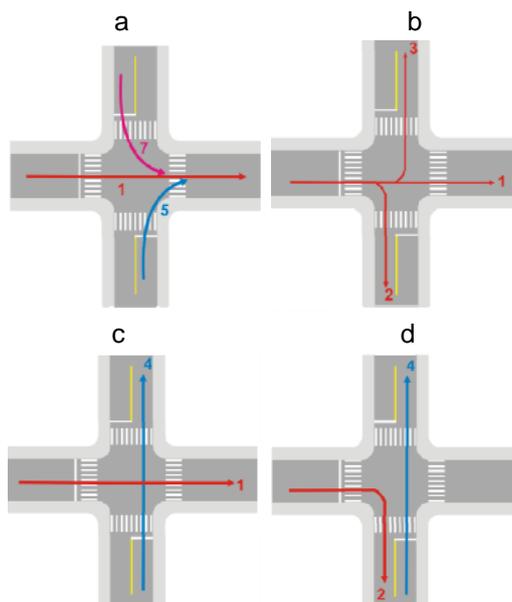
Figura 7 - Diagrama de conflito de uma interseção



Fonte: CONTRAN, 2014b.

De acordo com sua interação de trajetória os movimentos (Figura 8) são classificados em convergentes, divergentes, interceptantes e não interceptantes (CONTRAN, 2014b).

Figura 8 - Movimentos convergentes(a), divergentes(b), interceptantes(c) e não-interceptantes(d)



Fonte: CONTRAN, 2014b.

2.4 TÓPICOS DA ENGENHARIA DE TRÁFEGO

2.4.1 Volume de Tráfego

É o número de veículos que passa em um ponto da via durante um intervalo de tempo (AKSHINO, 2005).

2.4.2 Hora de Pico

Consiste em um intervalo de uma hora, em que haja maior movimento na via (AKSHINO, 2005).

2.4.3 Capacidade

É o máximo volume de veículos que uma determinada via pode suportar. A qualidade de operação de uma via é determinada utilizando-se os níveis de serviço (HCM, 2000).

2.4.4 Nível de Serviço

É medida das condições do trânsito, determinado por uma escala de “A” a “F” a qual usa como parâmetros qualitativos a operacionalidade, o conforto e a conveniência oferecidos aos motoristas, sendo a qualidade nível “A” a que apresenta maior conforto e trânsito livre e “F” situações de congestionamentos e manobrabilidade quase nula.

2.4.5 Volume de Serviço

Segundo HCM (2000) é volume de tráfego máximo em que as condições de determinado nível de serviço ainda são observadas. A cada nível de serviço é associado um volume de serviço.

3 MÉTODOLOGIA HCM (2000)

Para o estudo de interserção do tipo bidirecional controlada (*two-way stop-controlled*) (TWSC), de fluxo interrompido, na qual possui algum elemento que limite o fluxo de veículos, como por exemplo sinalizações semaforicas, a metodologia adota análise volumétrica quantitativa para determinar o comportamento da via. São estudados os parâmetros de Taxa de fluxo, capacidade, conflitos e atrasos para identificar o nível de serviço ao qual a via está submetida.

3.1 PARÂMETROS

3.1.1 Volume e Fluxo de Conflito

São parâmetros da demanda do tráfego em um cruzamento que podem restringir a capacidade de uma via, quando essa demanda excede a capacidade e uma fila está crescendo, é um aviso antes do congestionamento.

O volume corresponde a quantidade de veículos que passam, em um ponto, em um determinado intervalo de tempo, enquanto a taxa de fluxo é a equivalência horária correspondente a quantidade de veículos que passam em um ponto numa fração da hora, usualmente 15 minutos. A taxa de fluxo máxima é expressa pela Equação 1.

$$\text{TFM} = 4 \times \text{TF} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

TFM = Taxa de fluxo máxima dentro da hora de pico.

TF = Taxa de fluxo correspondente aos 15 minutos mais críticos dentro da hora de pico.

O volume de tráfego e a taxa de fluxo máxima da hora de pico produzem a variável fator hora pico que é dada pela Equação 2.

$$\text{FHP} = \frac{V}{\text{TFM}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

FHP = Fator hora pico

V = Volume de tráfego da hora de pico

Deve-se fazer um ajuste quanto a contagem de veículos pesado, que é encontrado pela Equação 3.

$$PVP = \frac{VP}{V} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

PVP = Proporção de veículos pesados

VP = Volume de veículos pesados na hora de pico

V = Volume de tráfego da hora de pico

3.1.2 Brecha Crítica e Tempo de Segmento

Brecha crítica é o intervalo de tempo mínimo, tal quanto necessário para que um veículo oriundo da via secundária realize seu movimento pela via principal. Valores maiores resultam diminuição da capacidade e valores menores indicam aumento na capacidade da via. O Quadro 1 apresenta os valores base para t_c e t_f , definidos pelo *Highway Manual Capacity*, baseado em estudos realizados nos EUA, que servem, também, como parâmetros para outras abordagens dentro da Engenharia de Transporte.

O cálculo da brecha crítica é feito, separadamente, para cada movimento secundário, e é apresentado na Equação 4.

Quadro 1 – Brecha crítica e tempo de segmento base

Movimento veicular	Brecha Crítica base, $t_{c,base}$ (s)		Tempo de segmento base, $t_{f,base}$ (s)
	Via principal de duas pistas	Via principal de quatro pistas	
Curva à esquerda da via principal	4.1	4.1	2.2
Curva à direita da via secundária	6.2	6.9	3.3
Movimento que atravessa pela via secundária	6.5	6.5	4.0
Curva à esquerda da via secundária	7.1	7.5	3.5

Fonte: HCM,2000 – adaptado.

$$t_c = t_{c,base} + (t_{c,VP} \times PVP) + (t_{c,G.G}) - t_{c,T} - t_{3,LT} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

t_c = Brecha crítica do movimento dado em (s);

$t_{c,base}$ = Brecha crítica base retirada do Quadro 9;

$t_{c,VP}$ = 1,0 (fator de reajuste para veículos pesados);

PVP = Proporção de veículos pesados;

$t_{c,G} = 0,1$ para os movimentos 9 e 12; 0,2 para os movimentos 7,8,10 e 11 (fator de ajuste de greide);

G = Inclinação do greide;

$t_{c,T} =$ Fator de ajuste obtido pelo processo de dois estágios (1,0 para o primeiro ou segundo estágio; 0,0 para estágio único) dado em (s);

$t_{3,LT} = 0,7$ para conversão à esquerda da via secundária, em interseções tipo T e 0 para outros tipos (fator de ajuste de geometria).

O intervalo de tempo entre a saída de um veículo da via secundária e a partida do próximo veículo usando a mesma brecha da via principal, sob a condição de fila contínua na via secundária é denominado tempo de segmento, assim sendo, define uma taxa de fluxo de saturação se não houver conflito em movimentos de níveis maiores e é dado pela Equação 5.

$$t_f = t_{f,base} + (t_{f,VP} \times PVP) \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

t_f = Tempo de segmento dado em (s);

$t_{f,base}$ = Tempo de segmento base retirada do Quadro 9;

$t_{f,VP} = 0,9$ para duas faixas na via principal e 1,0 para quatro faixas na via principal (fator de reajuste para veículos pesados);

PVP = proporção de veículos pesados.

3.1.3 Fluxo de Conflito

Cada movimento em uma interseção TWSC enfrenta conflitos distintos que estão diretamente relacionados à natureza do movimento. Curva à esquerda na via principal é a manobra mais difícil de executar, portanto enfrenta um conjunto mais complexo de fluxos conflitantes. O método não faz distinção entre os conflitos que se cruzam os que mesclam na interseção, nota-se que os movimentos de curva à direita na via secundária e à esquerda na via principal fundem-se para efeito de cálculo. O Quadro 2 ilustra a disposição de cada movimento junto aos seus conflitos.

A taxa de fluxo de conflito corresponde ao fluxo total que intercepta-se com cada um dos movimentos da interseção e é expressa para cada movimento pelas Equações 6 a 15.

$$V_{C1} = TFM_5 + TFM_6 \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

V_{C1} = Fluxo de conflito do movimento 1

TFM_5 = Taxa de fluxo do movimento 5

TFM_6 = Taxa de fluxo do movimento 6

Quadro 2 – Representação do fluxo de conflito com os movimentos da interseção

Movimento	Movimentos conflitantes (Vc)	
Curva à esquerda na via principal. Movimentos 1 e 4		
Curva à direita na via secundária. Movimentos 9 e 12		
Atravessar a via principal. Movimentos 8 e 11		
Curva à esquerda na via secundária. Movimentos 7 e 10		

Fonte: HCM,2000 – Adaptado.

$$V_{C4} = TFM_2 + TFM_3$$

Equação 7

Onde:

TFM₂ = Taxa de fluxo do movimento 2

TFM₃ = Taxa de fluxo do movimento 3

$$V_{C9} = TFM_2 + (0,5 \times TFM_3)$$

Equação 8

Onde:

V_{C9} = Taxa de fluxo do movimento 9

$$V_{C12} = TFM_5 + (0,5 \times TFM_6)$$

Equação 9

Onde:

V_{c12} = Taxa de fluxo do movimento 12

$$V_{c8,I} = V_{c7,I} = 2xTFM_1 + TFM_2 + (0,5 \times TFM_3) \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

$V_{c8,I}$ = Fluxo de conflito do movimento 8 no estágio 1

$V_{c7,I}$ = Fluxo de conflito do movimento 7 no estágio 1

$$V_{c11,I} = V_{c10,I} = 2xTFM_4 + TFM_5 + (0,5 \times TFM_6) \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

$V_{c11,I}$ = Fluxo de conflito do movimento 11 no estágio 1

$V_{c10,I}$ = Fluxo de conflito do movimento 10 no estágio 1

$$V_{c8,II} = 2xTFM_4 + TFM_5 + TFM_6 \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

$V_{c8,II}$ = Fluxo de conflito do movimento 8 no estágio 2

$$V_{c11,II} = 2xTFM_1 + TFM_2 + TFM_3 \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

$V_{c11,II}$ = Fluxo de conflito do movimento 11 no estágio 2

$$V_{c7,II} = 2xTFM_4 + TFM_5 + 0,5(TFM_6 + TFM_{11} + TFM_{12}) \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

$V_{c7,II}$ = Fluxo de conflito do movimento 7 no estágio 2

$$V_{c10,II} = 2xTFM_1 + TFM_2 + 0,5(TFM_3 + TFM_8 + TFM_9) \quad \text{Equação 15}$$

Onde:

$V_{c10,II}$ = Fluxo de conflito do movimento 10 no estágio 2

TFM_9 = Taxa de fluxo do movimento 9.

3.1.4 Impedância

A capacidade potencial de movimentos de menor prioridade pode ficar reduzida quando, esse movimento, é impedido de utilizar lacunas no fluxo de tráfego pelo congestionamento em um movimento de maior prioridade. A capacidade potencial é dada pela Equação 16.

$$C_p = V_c \frac{e^{-\frac{V_c \cdot t_c}{3600}}}{1 - e^{-\frac{V_c \cdot t_f}{3600}}}$$

Equação 16

Onde:

C_p = Capacidade pontencial dos movimentos de nível 2,3 e 4;

V_c = Taxa de fluxo de conflito;

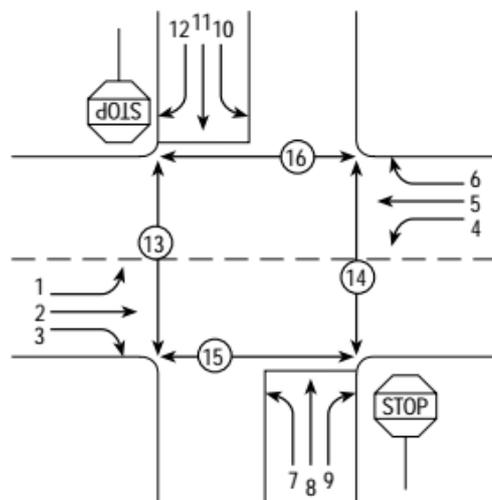
e = aproximadamente 2,718 (número de Euler);

t_c = Brecha crítica;

t = Tempo de segmento.

Os movimentos, veiculares e de pedestres, são divididos em níveis de acordo com o grau de impedimento e são apresentados no Quadro 3. A Figura 1 ilustra esses movimentos em uma interseção.

Figura 1 - Movimentos em uma interseção



Fonte: HCM,2000.

O importante para análise de impedância é a probabilidade do tráfego que vira à esquerda na rua principal funcionar em um estado sem filas, esse movimento é indicado pela letra “j” e a probabilidade é dada pela Equação 17.

$$p_{0,j} = 1 - \frac{V_j}{C_{m,j}}$$

Equação 17

Onde:

V_j = Volume de tráfego na hora de pico dos movimentos 1 e 4;

$C_{m,j}$ = Capacidade de movimento dos movimentos 1 e 4.

Quadro 3 – Nível dos movimentos e grau de impedimento

Nível	Movimento	Grau de Impedimento
1	2,3,5, 6, 15 e 16	movimentos da via principal desimpedidos, não sofrem interferência de nenhum outro movimento e a travessia de pedestres pela via secundária.
2	1,4,9 ,12, 13 e 14	movimentos que são impedidos de se realizarem apenas pelos movimentos livres e a travessia de pedestres pela via principal.
3	8 e 11	movimentos que são impedidos de ser realizados por todos os movimentos da via principal e os de nível 2.
4	7 e 10	movimentos da via secundária que viram à esquerda na via principal e são impedidos por todos os demais movimentos da interseção.

Fonte: HCM (2000), adaptado.

Como não há impedância adicionais de outro potencial de tráfeco nos movimentos de nível 2, é válida a igualdade dada pela Equação 18.

$$C_{m,j} = C_{p,j} \quad \text{Equação 18}$$

Onde:

$C_{m,j}$ = Capacidade de movimento dos movimentos 1 e 4;

$C_{p,j}$ = Capacidade potencial dos movimentos 1 e 4.

A capacidade de movimento dos movimentos de nível 3, indicado pela letra “k”, é encontrada, primeiramente, calculando-se o fator de ajuste de capacidade que explica os efeitos de impedância de movimentos de níveis maiores, através da Equação 19.

$$f_k = P_{o,j} \quad \text{Equação 19}$$

Onde:

f_k = Fator de ajuste dos movimentos de nível 3;
 $P_{o,j}$ = Probabilidade de estado sem fila dos movimentos do nível 2.

A capacidade de movimento dos movimentos do nível 3 é dada pela Equação 20.

$$C_{m,k} = C_{p,k} \times f_k \quad \text{Equação 20}$$

Onde:

$C_{m,k}$ = Capacidade de movimento dos movimentos do nível 3;
 $C_{p,k}$ = Somatório da capacidade potencial dos do nível 3;
 f_k = Fator de ajuste dos movimentos do nível 3.

A probabilidade de um estado sem filas dos movimentos de nível 3 é dado pela Equação 21.

$$P_{o,k} = 1 - \left(\frac{V_k}{C_{m,k}} \right) \quad \text{Equação 21}$$

Onde:

$P_{o,k}$ = Probabilidade de estado sem filas dos movimentos 8 e 11;
 V_k = Volume de tráfego na HP dos movimentos 8 e 11;
 $C_{m,k}$ = Somatório das capacidade de movimentos dos movimentos 8 e 11.

A probabilidade de que os movimentos do nível 4 funcionem em um estado sem filas é fundamental para determinar seus efeitos impeditivos. No entanto, é preciso saber que nem todas essas probabilidades são independentes umas das outras. Especificamente, o enfileiramento desses movimentos afeta a probabilidade de um estado sem filas no movimento de travessia de via secundária. Um ajuste na probabilidade de estado sem filas dos movimentos de nível 4 deve ser realizado para se evitar uma superestimação estatística, esse ajuste é expresso pela equação 22.

$$P' = 0,65 \times P'' - \left(\frac{P''}{P'' + 3} \right) + 0,6\sqrt{P''} \quad \text{Equação 22}$$

Onde:

P' = Fator de ajuste para os movimento de nível 4
 P'' = $P_{o,j} \times P_{o,k}$

A nova probabilidade de estado sem filas e a capacidade de movimento dos movimentos de nível 4 são dadas pela Equação 23 e 24, respectivamente.

$$f'' = P'' \times P' \quad \text{Equação 23}$$

$$C_{m,4} = C_{p,4} \times f'' \quad \text{Equação 24}$$

Onde:

P' = Fator de ajuste para os movimento de nível 4;

P'' = P_{0,j} x P_{0,k};

f' = Probabilidade de estado sem filas dos movimentos de nível 4;

C_{m,4} = Capacidade de movimento dos movimentos de nível 4.

3.1.5 Capacidade de Faixa Compartilhada

É uma variável que considera os vários movimentos o qual compartilham a mesma faixa e não podem parar lado a lado. A Equação 25 é usada para calcular a capacidade de faixa compartilhada.

$$C_{sh} = \frac{\sum TFM}{\sum \frac{TFM}{C_m}} \quad \text{Equação 25}$$

Onde:

C_{sh} = Capacidade da faixa compartilhada (veic/h).

TFM = Taxa de fluxo máxima de cada movimento

C_m = Capacidade de movimento

3.1.6 Nível de Serviço

3.1.6.1 Comprimento de Fila

Quando a demanda ultrapassa a capacidade da via, formam-se filas. Durante a análise observa-se que a taxa de chegada e serviço está mudando constantemente. Em filas supersaturadas a taxa de chegada é maior que a taxa de serviço, já em filas não saturadas a situação inverte-se. O comprimento de uma fila não saturada pode variar, mas atingirá um estado estável mesmo com a chegada de mais veículos, isso não acontece na fila saturada, que aumenta com a presença de mais veículos.

O comprimento é estimado assumindo uma densidade média de veículos, tendo demanda maior que a capacidade e é dado pela Equação 26.

$$C = 900 * T \left[\left(\frac{TFM}{C_m} - 1 \right) + \sqrt{\left(\frac{TFM}{C_m} - 1 \right)^2 + \left(\frac{3600 * TFM}{150 * T * C_m^2} \right)} \right] \quad \text{Equação 26}$$

Onde :

C = Comprimento de fila dado em número de veículos

TFM = Taxa de fluxo máxima

C_m = Capacidade de movimento dada em (veic/h)

T = Tempo de análise em horas, que corresponde a 0,25h (15 minutos)

3.1.6.2 Atraso de Controle

Avalia o tempo de permanência em uma interseção e é uma medida crítica de desempenho para tráfego de fluxo interrompido. Envolve movimentos em velocidades mais lentas e paradas nas aproximações de interseções. É comum os motoristas reduzirem a velocidade quanto avistam um sinal à frente ou há fila na aproximação.

O atraso de controle é dado pela Equação 27 e corresponde ao tempo total decorrido de um veículo desde sua chegada à fila da interseção até sua partida para início do movimento a ser realizado; é também o tempo necessário para desacelerar até parar e acelerar até a velocidade de fluxo livre.

$$D = \frac{3600}{C_m} + 900 * T \left[\left(\frac{TFM}{C_m} - 1 \right) + \sqrt{\left(\frac{TFM}{C_m} - 1 \right)^2 + \left(\frac{3600 * TFM}{C_m^2 * T} \right)} \right] + 5 \quad \text{Equação 27}$$

Onde:

D = Atraso de controle médio dado em (s/veic)

TFM = Taxa de fluxo máxima

C_m = Capacidade de movimento dada em (veic/h)

T = Tempo de análise em horas, que corresponde a 0,25h (15 minutos)

A variável quantitativa que deternima o nível de serviço é o atraso de serviço médio total e seus intervalos estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1 - Determinação do nível de serviço

Nível de serviço	Atraso médio total (s veic.)
A	0 – 10
B	> 10 – 15
C	> 15 – 25
D	> 25 – 35
E	> 35 – 50
F	> 50

Fonte: HCM(2000) adaptada.

5 ESTUDO DE CASO

A interseção estudada localiza-se a 1.000 metros do setor central da cidade de Anápolis e recebe o fluxo de veículos e pessoas que se deslocam dos bairros Vila Jacinto e Vila São João para as demais regiões da cidade, principalmente ao centro comercial da região central. A figuras 2 e 3 ilustram o cruzamento estudado.

Figura 2 – Rua Mauá



Fonte: Os autores

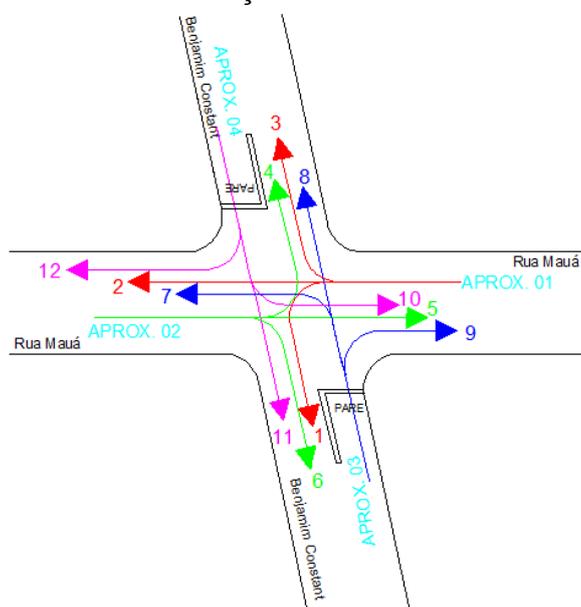
Figura 3 – Rua Benjamin Constant



Fonte: Os autores

A Figura 4 representa a geometria da interseção com o seu diagrama de conflito composto pelos doze movimentos veiculares existentes e suas aproximações enumeradas de 1 a 4.

Figura 4 – Geometria da interseção com os movimentos e aproximações



Fonte: Os autores

O método de pesquisa quantitativo adotado foi de contagem manual e direcional, na qual são levados em conta todos os movimentos que podem ser realizados pelos veículos no cruzamento entre duas vias com duas pistas de rolagem de fluxos opostos.

A contagem foi realizada durante 5 dias ininterruptos, do dia 01 ao dia 05 de abril de 2019, compreendidos de segunda à sexta-feira. O período de contagem volumétrica adotado foi o de hora de pico, sendo que os intervalos para a realização da coleta de dados foram escolhidos após prévio monitoramento da interseção. Dessa forma os intervalos de maior fluxo para coleta de dados foram de 06:00 às 09:00, 12:00 às 14:00 e 17:00 às 19:00.

O horário de pico mais crítico utilizado para cálculo do nível de serviço da interseção foi de 17:00 às 18:00, do dia 01 de abril de 2019, no qual foi contabilizado o quantitativo de 1.008 veículos. A taxa de fluxo foi obtida dentro da hora de pico no intervalo de 17:30 às 17:45. A Tabela 2 apresenta o quantitativo total de veículos para cada hora e a Tabela 3 a análise do nível de serviço pelo método HCM (2000).

Pedestres também corroboram para a taxa de fluxo de conflito, pois definem o início ou fim de uma lacuna que pode ser usada por um veículo de fluxo menor. No entanto, esse estudo não considerou esse levantamento.

Tabela 2 – Quantitativo de veículos

(continua)

Data	Mov. 1	Mov. 2	Mov. 3	Mpv. 4	Mov. 5	Mov. 6	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12	Total de veic.
01.04.19													
06:00 às 07:00	38			106			130			88			362
07:00 às 08:00	121			218			266			197			802
08:00 às 09:00	98			141			229			130			598
12:00 às 13:00	137			172			303			132			744
13:00 às 14:00	111			171			209			151			642
17:00 às 18:00	251			195			371			191			1008
18:00 às 19:00	117			149			328			136			730
02.04.19	Mov. 1	Mov. 2	Mov. 3	Mpv. 4	Mov. 5	Mov. 6	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12	Total de veic.
06:00 às 07:00	26			100			123			73			322
07:00 às 08:00	80			202			224			157			663
08:00 às 09:00	69			130			134			134			467
12:00 às 13:00	114			115			304			167			700
13:00 às 14:00	96			165			219			158			638
17:00 às 18:00	175			161			394			173			903
18:00 às 19:00	115			141			274			178			708
03.04.19	Mov. 1	Mov. 2	Mov. 3	Mpv. 4	Mov. 5	Mov. 6	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12	Total de veic.
06:00 às 07:00	27			106			115			85			333
07:00 às 08:00	83			198			252			174			707
08:00 às 09:00	51			107			193			122			473
12:00 às 13:00	135			137			313			160			745
13:00 às 14:00	93			173			306			150			722
17:00 às 18:00	149			197			403			208			957

Tabela 2 – Quantitativo de veículos

(conclusão)

03.04.19	Mov. 1	Mov. 2	Mov. 3	Mpv. 4	Mov. 5	Mov. 6	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12	Total de veic.
18:00 às 19:00	137			177			351			208			873
04.04.19	Mov. 1	Mov. 2	Mov. 3	Mpv. 4	Mov. 5	Mov. 6	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12	Total de veic.
06:00 às 07:00	36			92			120			66			314
07:00 às 08:00	94			148			184			109			535
08:00 às 09:00	56			126			201			108			491
12:00 às 13:00	148			117			274			153			692
13:00 às 14:00	85			157			219			144			605
17:00 às 18:00	166			190			394			173			923
18:00 às 19:00	82			157			274			178			691
05.04.19	Mov. 1	Mov. 2	Mov. 3	Mpv. 4	Mov. 5	Mov. 6	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12	Total de veic.
06:00 às 07:00	127			93			27			95			342
07:00 às 08:00	256			176			97			146			675
08:00 às 09:00	156			118			50			119			443
12:00 às 13:00	340			189			107			111			747
13:00 às 14:00	236			156			92			124			608
17:00 às 18:00	421			235			165			165			986
18:00 às 19:00	396			161			149			132			838

Fonte: Os autores.

Tabela 3– Análise do nível de serviço HCM (2000)

(continua)

VOLUMES												
MOVIMENTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17:00 às 18:00												
V	26	217	8	15	167	13	18	235	118	11	143	31
17:30 às 18:45												
TF	13	54	1	9	43	4	4	66	34	5	41	13
VP	0	1	0	2	6	0	0	4	1	0	4	1

AJUSTES												
MOVIMENTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FHP	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1
TFM	52	216	4	36	172	16	16	264	136	20	164	52
PVP	0,00	0,00	0,00	0,13	0,04	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,03	0,03

BRECHA CRÍTICA								
MOVIMENTOS	MLT		SRT		STH		SLT	
	1	4	9	12	8	11	7	10
tc,base	4,1	4,1	6,2	6,2	6,5	6,5	7,1	7,1
tc,vp	1	1	1	1	1	1	1	1
PVP	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
tc, G	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
G	0	0	0	0	0	0	0	0
t ₃ , LT	0	0	0	0	0	0	0	0
tc, T	0	0	0	0	0	0	0	0
tc	4,1	4,2	6,2	6,2	6,5	6,5	7,1	7,1

Tabela 3– Análise do nível de serviço HCM (2000)

(conclusão)

TEMPO DE SEGUIMENTO								
MOVIMENTOS	MLT		SRT		STH		SLT	
	1	4	9	12	8	11	7	10
tf, base	2,2	2,2	3,3	3,3	4	4	3,5	3,5
tf, vp	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
PVP	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
tf	2,2	2,3	3,3	3,3	4,0	4,0	3,5	3,5

Nível 2	Nível 3	Nível 4
V _j = 41,00	V _k = 378,00	p" = 0,68
C _{m,j} = 2683,25	C _{m,k} = 1226,59	p' = 0,75
Po _j = 0,98	Po _k = 0,69	f = 0,74

IMPEDANCIA E CALCULO DA CAPACIDADE								
MOVIMENTOS	MLT		SRT		STH		SLT	
	1	4	9	12	8	11	7	10
V _c	188	220	218	180	322	252	322	252
C _p	1398,3	1284,9	824,7	859,6	595,8	649,8	634,8	705,5
C _m	1398,3	1284,9	824,7	859,6	586,7	639,9	470,7	523,1

CAPACIDADE DA FAIXA COMPARTILHADA							
FAXA	TFM			C _m			C _{sh}
	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	Mov. 7	Mov. 8	Mov. 9	
1	16	264	136	470,7	586,7	824,7	641,1
	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12	Mov. 10	Mov. 11	Mov. 12	
1	20	164	52	523,1	639,9	859,6	664,8

MOVIMENTOS	TFM	C _m	TFM/C	Comprimento de fila	Atraso de controle	Nível de Serviço
1	52	1398,3	0,0	0,1	7,7	A
4	36	1284,9	0,0	0,1	7,9	A
7,8 e 9	416	641,1	0,6	4,7	20,4	C
10,11 e 12	236	664,8	0,4	1,6	13,4	B

Fonte: Os autores.

4 CONCLUSÃO

A escolha do cruzamento a ser estudado baseou-se no levantamento, junto ao CMTT, sobre os possíveis locais de verificação de intervenção semafórica no município de Anápolis. Diante dessa escolha, foi realizado um estudo preliminar, *in loco*, das condições as quais o cruzamento se apresentava e constatou-se a insatisfação dos moradores por não haver semáforo, o que contribui para aumento recorrente do número de acidentes.

Os movimentos 1 e 4 apresentaram atrasos menores que 10s, o movimento B atraso de 13,4s e apenas os movimentos 7,8 e 9, que são os movimentos da aproximação 03, apresentaram atrasos maiores que 20 s.

Diante dos resultados encontrados, verifica-se que o cruzamento não apresentou níveis de serviço mínimo “E” ou “F” suficientes para intervenção semafórica.

Durante o período do estudo, foi observada a iminência de acidentes envolvendo veículos e pedestres. Diante do exposto, sugere-se o estudo para implantação de sinalizações que ofereçam maior segurança aos pedestres durante as travessias.

Para estudos futuros, sugere-se o monitoramento periódico do cruzamento, considerando-se que a frota de veículos na cidade de Anápolis está em constante crescimento, contabilizando o número de acidentes para fins estatísticos e o estudo da viabilidade da mudança da sinalização horizontal de “PARE” da Rua Rua Mauá para a Rua Benjamin Constant, visto que o fluxo da via secundária é maior que o da principal.

REFERÊNCIAS

AKISHINO, Pedro. **Estudo de Tráfego**. UFPR, Paraná: 2005.

BOARD, Transportacion Research. **Highway Capacity Manual-HCM**, 2000.

BRASIL. Lei nº 9503, de 23 de setembro de 1997. **Código de Trânsito Brasileiro**. Brasília, DF, 24 set. 1997. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 24 set. 2018.

Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. **Sinalização Vertical de Regulamentação**, volume I, 2007a.

Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. **Sinalização Horizontal**, volume IV, 2007c.

Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. **Sinalização Semafórica**, volume V, 2014b.

COELHO, Alexandre Hering; GOLDNER, Lenise Grando. **Engenharia de tráfego**. UFSC, 2016.

Departamento de Trânsito de Goiás – DETRAN - GO. **Estatísticas de Acidentes de Trânsito**, 2013. Disponível em: <<http://inside.detrان.go.gov.br/acidente/index.htm>>. Acesso em: 03 set. 2018.

Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN. **Frota de Veículos**, 2017. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br>>. Acesso em: 15 set. 2018.

Instituto de Pesquisas Econômica Aplicada – IPEA. **Estimativas dos Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil**. Relatório de pesquisa, 2015. Disponível em <<http://www.ipea.gov.br>>. Acesso em 10 set. 2018

Instituto de Pesquisas Econômica Aplicada – IPEA. **Desafios da Mobilidade Urbana no Brasil**. Texto para discussão, nº 2198, maio de 2016a. Disponível em <<http://www.ipea.gov.br>>. Acesso em 10 set. 2018.

Instituto de Pesquisas Econômica Aplicada – IPEA. **Mortes por Acidentes de Transporte Terrestre no Brasil: Análise dos Sistemas de Informação do Ministério da Saúde**. Texto para discussão, nº 2212, julho de 2016b. Disponível em <<http://www.ipea.gov.br>>. Acesso em 10 set. 2018.

SIMÕES, Fernanda; SIMÕES, Eliane. **Sistema Viário e Trânsito Urbano**. Paraná: Crea, 2016. 47.p.

SOARES, Rafaela. **Mesmo Reduzindo Acidentes em Anápolis Operações da Delegacia de Trânsito não Voltam**. Portal6. Disponível em: <<https://portal6.com.br/2018/09/13/mesmo-reduzindo-acidentes-em-anapolis-operacoes-da-delegacia-de-transito-nao-voltam>> . Acesso em 02 ab. 2019.