



Companhia de Engenharia de Tráfego



Nota Técnica 283

Ming, Sun H.

**Critérios de Implantação
de Semáforos:
Filosofia, Objetivo
e Método**

Abril/2023

Sumário

1.	OBJETIVO	4
2.	PREMISSA, FILOSOFIA E METODOLOGIA	6
2.1	Objetivo da implantação de semáforo	7
2.2	Número mínimo de usuários	10
2.3	Pesquisas de campo.....	10
2.4	Premissa básica do Manual CET-2003 [1]	11
2.5	Fatores representativos	11
2.6	Estabelecimento de valores limites para os fatores representativos	12
2.7	Alteração/revisão dos valores limites	12
2.8	Estudo de Engenharia	12
3.	ESCOLHA DE FATORES REPRESENTATIVOS PARA O ASPECTO SEGURANÇA	14
3.1	Acidente com vítima, do tipo evitável por semáforo no último ano disponível	15
3.2	Conflitos do tipo evitável por semáforo.....	18
3.3	Resumo comparativo de critérios quanto aos fatores representativos da segurança.....	19
4.	ESCOLHA DOS VALORES LIMITES PARA OS FATORES REPRESENTATIVOS DA SEGURANÇA	21
4.1	Número de acidentes com vítima, do tipo evitável por semáforo, no último ano disponível → 3 ou mais.....	21
4.2	Número de conflitos do tipo evitável por semáforo → valor limite: não há.....	22
4.3	Resumo comparativo de critérios quanto aos valores limites dos fatores representativos do aspecto segurança	24
4.4	Propostas para o futuro	27
4.4.1	Análise de conflitos.....	27
4.4.2	Regressão Linear Paramétrica Múltipla	28
4.4.3	Regressão de Poisson e Binomial Negativa.....	30
4.4.4	Regressão logística.....	32
4.4.5	Metodologia que compara o número esperado de acidentes com semáforo com o número esperado de acidentes sem semáforo	33
4.4.6	Fator modificador de acidente (<i>Crash Modification Factor</i> – CMF).....	34
5.	ESCOLHA DE FATORES REPRESENTATIVOS PARA O ASPECTO FLUIDEZ	35
5.1	Número de ciclos vazios durante a hora crítica	35
5.2	Bloqueio de interseção durante a hora crítica	36
5.3	Atraso com e sem semáforo	36
5.4	Resumo comparativo de critérios quanto aos fatores representativos do aspecto fluidez.....	37
6.	ESCOLHA DOS VALORES LIMITES PARA OS FATORES REPRESENTATIVOS DO ASPECTO FLUIDEZ	39
6.1	Número de ciclos vazios durante a hora crítica → valor limite: 2 ciclos ou mais	39
6.2	Bloqueio de interseção durante a hora crítica → valor limite: se, durante a hora crítica, ocorrer uma fila constante e contínua, vinda de um semáforo a jusante, que bloqueie a via transversal	

6.3	Atraso com e sem semáforo → valores limites: atraso total = 120% e atraso da via preferencial = 80%.....	40
6.4	Critérios do aspecto fluidez do MUTCD-2009 [2].....	41
6.4.1	Critério de 8 horas (<i>Warrant 1</i>)	42
6.4.2	Critério de 4 horas (<i>Warrant 2</i>)	42
6.4.3	Critério de hora pico (<i>Warrant 3</i>):.....	44
6.4.4	Observação sobre os critérios de 8 horas, 4 horas e hora pico	46
6.4.5	Critério de progressão (<i>Warrant 6</i>)	47
6.4.6	Critério de rota (<i>Warrant 8</i>).....	47
6.5	Resumo comparativo de critérios quanto aos valores limites dos fatores representativos do aspecto fluidez.....	48
7.	ESCOLHA DE FATORES REPRESENTATIVOS PARA O ASPECTO TRAVESSIA DE PEDESTRES .	51
7.1	Travessia crítica	51
7.2	Volume de pedestres mínimo em pelo menos uma travessia	52
7.3	Tempo de espera de pedestres	52
7.4	Resumo comparativo de critérios quanto aos fatores representativos do aspecto travessia de pedestres.....	53
8.	ESCOLHA DOS VALORES LIMITES PARA OS FATORES REPRESENTATIVOS DO ASPECTO TRAVESSIA DE PEDESTRES	55
8.1	Travessia crítica → critério qualitativo	55
8.2	Volume mínimo de pedestres → valor limite: 190 pedestres/hora em pelo menos uma travessia	56
8.3	Tempo de espera de pedestres (dificuldade de travessia) → valor limite: 25 segundos.....	57
8.4	Critérios do aspecto travessia de pedestres do MUTCD-2009 [2]	60
8.4.1	Volume de pedestres (<i>Warrant 4</i>)	60
8.4.2	Travessia escolar (<i>Warrant 5</i>)	62
8.4.3	Observações sobre os critérios do MUTCD-2009 [2] do aspecto travessia de pedestres	62
8.5	Resumo comparativo de critérios quanto aos valores limites dos fatores representativos do aspecto travessia de pedestres	62
9.	NOVAS VIAS (INTERSEÇÕES NOVAS)	65
10.	RETIRADA DE SEMÁFOROS	67
11.	REFERÊNCIAS	70

1. OBJETIVO

O presente trabalho visa esclarecer os conceitos e as ideias que fundamentaram os critérios desenvolvidos para o Manual de Sinalização Urbana Semafórica – Critérios de Implantação (Experimental – V02) Volume 6 – Parte I, Setembro/2003, da CET, doravante designado como Manual CET-2003 [1].

O presente documento foi desenvolvido seguindo um passo-a-passo, numa sequência lógica e didática para facilitar a compreensão. Para cada critério, existe uma explicação relativa ao assunto abordado e a correspondente exposição de motivos.

Também faz parte do escopo do presente trabalho uma análise crítica e comparativa com o *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways – MUTCD – 2009 Edition, Revision 1 (May 2012) – Revision 2 (May 2012)*, doravante designado como MUTCD-2009 [2] e com o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V – Sinalização Semafórica, 2014, doravante designado como MBST-2014 [3]. Essa análise se restringe apenas aos tópicos correspondentes aos critérios do Manual CET-2003 [1].

Além disso, o trabalho também contém sugestões de aprimoramento, feitas com base na experiência adquirida, na análise comparativa do MUTCD-2009 [2] e do MBST-2014 [3], bem como na pesquisa bibliográfica pertinente.

Este trabalho foi elaborado tomando como base o artigo “Critérios de Implantação” de Vilanova (s.d.) [4], incluindo e incorporando transcrições de trechos completos daquele artigo, fazendo-se, entretanto, complementações e atualizações quando necessário.

A transcrição dos trechos de “Critérios de Implantação” de Vilanova (s.d.) [4] se encontram destacados entre aspas, em itálico e em uma fonte diferente (“Arial”). Transcrições de outros artigos ou documentos (incluindo o próprio Manual CET-2003 [1]) se encontram em itálico, com a mesma fonte usada no texto (“Calibri”) e com recuos de parágrafo distintos.

Uma atualização de Vilanova (s.d.) [4] foi com relação ao MUTCD. Enquanto o artigo de Vilanova (s.d.) [4] se referia ao MUTCD Edição de 2003 [5], o presente trabalho faz a análise em relação MUTCD-2009 [2].

O artigo de Vilanova (s.d.) [4] é praticamente um registro de como o Manual CET-2003 [1] foi elaborado e desenvolvido, descrevendo em detalhes a sua filosofia, objetivo e método.

O resgate dessas informações, a análise comparativa com o MUTCD-2009 [2] e com o MBST-2014 [3], além das sugestões formuladas, têm como objetivo fornecer elementos e informações para auxiliar nas discussões quando de uma eventual revisão do Manual CET-2003 [1].

Para concluir essa parte introdutória, vale aqui repetir as palavras de Vilanova (s.d.) [4] sobre a dificuldade em estipular critérios:

“... todo projeto de trânsito, ao tentar resolver um problema, tem de lidar tanto com o aspecto físico como com o comportamental. Enquanto a faceta física pode ser tratada com equações, simulações computadorizadas e análises estatísticas, o aspecto comportamental é muito mais complexo de abordar.”

“No caso particular da implantação de um novo semáforo a dificuldade é agravada, pois o aspecto comportamental é notadamente mais relevante do que o outro.”

Por outro lado, sobre as consequências de não se dispor de critérios, ainda segundo Vilanova (s.d.) [4]:

“Outra consequência perniciosa é a discrepância de decisões que termina por gerar situações incongruentes. Se uma cidade contar com um conjunto de critérios padronizado, mesmo que imperfeito, pode incidir em decisões incorretas, sob o ponto de vista absoluto em um determinado cruzamento, mas, pelo menos, vai tomar decisões coerentes entre si no conjunto de todos os seus cruzamentos.”

“Porém, se a decisão for totalmente subjetiva, serão negados semáforos em cruzamentos mais necessitados do que em outros que foram aquinhoados.”

“Outro ponto a sublinhar é que a falta de normas provoca excessiva semaforização. O técnico tem a tendência de recusar a implantação de um semáforo solicitado por munícipes ou seus representantes só se for muito claro que o equipamento é desnecessário. Sua tendência, se houver qualquer sombra de dúvida, é a de aceitar a solicitação, pois sabe que não contará com nenhuma retaguarda caso sua decisão venha a ser questionada.”

“Mais uma consequência negativa é a proliferação dos semáforos quando são implementadas mudanças de circulação. Num projeto que altera a circulação, não se consegue antever claramente a gravidade dos conflitos que ocorrerão na nova distribuição de fluxos. A dificuldade cresce proporcionalmente ao tamanho da área contemplada. Como não existem regras assentes, por uma questão de precaução, a inclinação natural do projetista é a de prever um semáforo em todo local em que exista conflito. Aliás, temos presenciado a implantação de semáforos absurdamente desnecessários por conta deste tipo de precaução, mas que, no fundo, deriva da carência de critérios objetivos. Arremedando o preceito jurídico: “In dubio pro semáforo”.”

“Encerramos a relação das consequências negativas lembrando o óbvio: uma decisão mal tomada pode acarretar maior número de acidentes, maior tempo de espera, maior desconforto dos usuários, além de incidir no fator custo, decorrente da implantação, operação e manutenção de semáforos desnecessários.”

2. PREMISSA, FILOSOFIA E METODOLOGIA

O Manual CET-2003 [1] foi desenvolvido com base na premissa de que existem três motivações básicas que podem justificar a implantação de um semáforo:

- (1) segurança viária;
- (2) fluidez dos veículos e
- (3) travessia dos pedestres.

Neste trabalho, essas 3 motivações estão sendo denominadas como “aspectos”.

Para efeitos do presente trabalho, entende-se por “semáforo” como sendo:

- O conjunto de elementos físicos, constituído por dois ou mais grupos focais, que ministra as indicações luminosas que regulamentam o direito de passagem de veículos e pedestres.
- O conjunto de elementos físicos e funcionais que determina, através de indicações luminosas, de forma alternativa, o direito de passagem de veículos e pedestres num determinado local onde há conflito de movimentos.

Fonte: <http://www.sinaldetransito.com.br/glossario.php?ID=652>

(Acesso em 26/12/2022).

Pode-se entender “semáforo” também como “interseção semaforizada” ou “seção de via semaforizada” (caso de uma travessia semaforizada de pedestres de meio de quadra).

Estabelecida a premissa de que existem três aspectos, procurou-se identificar quais eram os fatores representativos de cada um dos três aspectos que melhor traduzem a necessidade de semaforização.

Conforme Vilanova (s.d.) [4]:

“Por exemplo, no aspecto da segurança viária um fator representativo escolhido foi o número de acidentes com vítimas enquanto no aspecto da travessia dos pedestres um fator eleito foi o tempo de espera das travessias dos pedestres que tiveram maiores dificuldades para realizá-las.”

O fator “tempo de espera das travessias de pedestres” tenta traduzir o grau de dificuldade da travessia pelos pedestres.

Ainda segundo Vilanova (s.d.) [4]:

“A próxima tarefa foi determinar, para cada fator representativo escolhido, o valor limite que separa a decisão de implantar, ou não, o novo semáforo. Para se obter estes valores, relacionou-se um conjunto de locais para servir de teste. Nesses locais, já havia solicitação, por parte de municípios, para se implantar um semáforo.”

“Para cada local, perguntou-se a um grupo de especialistas em semáforos se era o caso de se atender, ou não, à solicitação. Os valores limites foram estabelecidos a partir da correlação entre a porcentagem de opiniões afirmativas e os valores que o local apresentava para os fatores representativos escolhidos. Dessa forma, a partir de opiniões inevitavelmente subjetivas, conseguiu-se estabelecer procedimentos objetivos e padronizados.”

Resumindo, o esquema básico do Manual CET-2003 [1] pode ser ilustrado pela Figura 1:

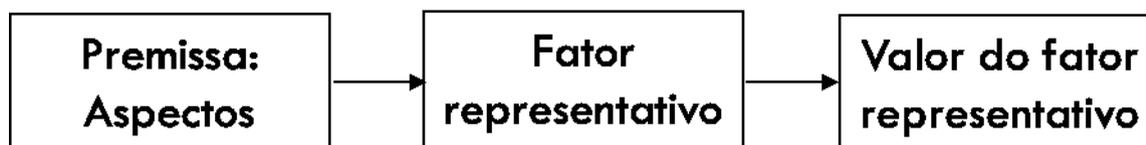


Figura 1 – Esquema representativo da filosofia do Manual CET-2003 [1]

2.1 Objetivo da implantação de semáforo

Transcrevendo Vilanova (s.d.) [4]:

“A implantação de um semáforo é uma decisão que acarreta impactos consideráveis, que podem vir a ser tanto positivos como negativos.”

“Instalado corretamente, propicia a diminuição de acidentes e o maior conforto de usuários do transporte público, pedestres e motoristas. Entretanto, se for instalado num local em que sua presença é inadequada, causa aumento no número de paradas, do tempo de espera de veículos, de passageiros de ônibus e de pedestres, bem como do número de acidentes, além de implicar em gastos desnecessários de instalação, operação e manutenção.”

Sobre os impactos da decisão de se implantar o semáforo, vale transcrever aqui o seguinte trecho do próprio Manual CET-2003 [1].

Um critério geral é aquele que diz que o semáforo é justificado quando os efeitos positivos são maiores do que os negativos. De forma simplificada, os efeitos positivos e negativos do semáforo podem ser colocados em termos de custo (custo operacional + custos sociais). O gráfico abaixo mostra duas curvas, uma representando a variação do custo com o volume para a situação sem semáforo e a outra para a situação com semáforo.

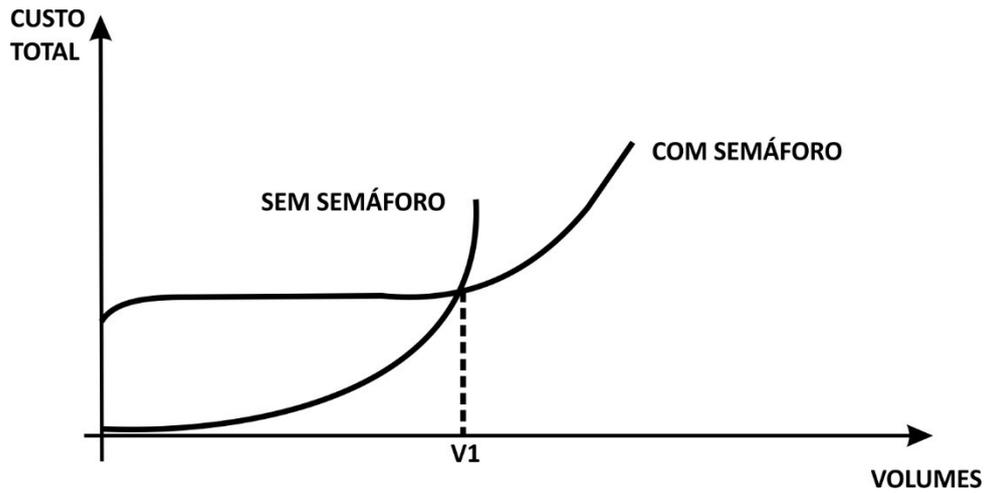


Figura 2 – Gráfico com as curvas de custo, sem e com semáforo

À medida que cresce o volume, o custo, representado por atrasos e acidentes, também aumenta, quer com semáforo, quer sem semáforo. Contudo, a curva sem semáforo cresce mais rapidamente que a curva com semáforo e a ultrapassa num valor limite V1. Decidir se um determinado local precisa de semáforo é descobrir se esse local se encontra à direita de V1.

Entretanto, é simplório relacionar o custo apenas com o volume. A questão é bem mais complexa. A Nota Técnica 146 [6] traz um gráfico que relaciona o custo com o tempo (Figura 3).

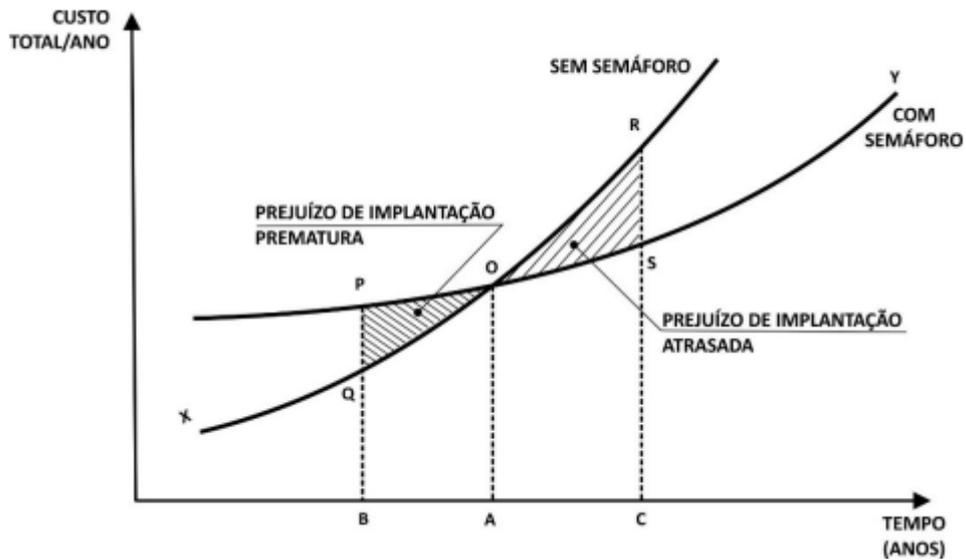


Figura 3 – Gráfico que relaciona o custo com o tempo

O instante A é o ideal para implantação do semáforo, com a curva de custo x tempo passando por XOY.

Se implantado antes, no instante B, se obtém a curva XQPOY, com prejuízo (custo adicional) dado pela área do triângulo QPO, em relação ao instante ideal (A)

Da mesma forma, se implantado depois, no instante C, resulta uma curva XORSY, com prejuízo adicional dado pela área do triângulo ORS.

Não é necessária precisão absoluta, basta que a distância $B \rightarrow A$ ou $A \rightarrow C$ não seja muito grande, para que o prejuízo seja pequeno.

Estabelecer o critério de colocação é achar o ponto onde as duas curvas se cruzam, ou, mais simplesmente, estimar os custos totais com e sem semáforo e recomendar a implantação quando com semáforo os custos forem menores.

Para tanto, é necessário estimar os custos em função de características do local e das estatísticas disponíveis.

Deve-se ressaltar que o custo envolve duas parcelas: custo operacional e custo social. O custo operacional abrange os custos de operação e manutenção do semáforo. O custo social envolve o tempo perdido (atraso) e as paradas no semáforo e os acidentes. Os acidentes constituem uma parte importante do custo social. Um semáforo instalado indevidamente pode provocar maior número de acidentes, aumentando, conseqüentemente, o seu custo social.

Do ponto de vista de segurança, se o semáforo fosse a única solução disponível, o critério de instalar ou não o semáforo se resumiria ao gráfico da [Figura 3](#).

Segundo a Nota Técnica 146 [\[6\]](#):

Entretanto, há outras alternativas, das quais destacamos:

- a) *Minirrotatórias;*
- b) *Lombadas;*
- c) *Piscantes;*
- d) *Geometria e*
- e) *Circulação.*

Cada alternativa, com suas vantagens e desvantagens, pode resultar em custos inferiores ao semáforo e ser, pois, a solução preferível, conforme ilustra o gráfico seguinte.

Ver a [Figura 4](#) (Gráfico de custos em função de volume).

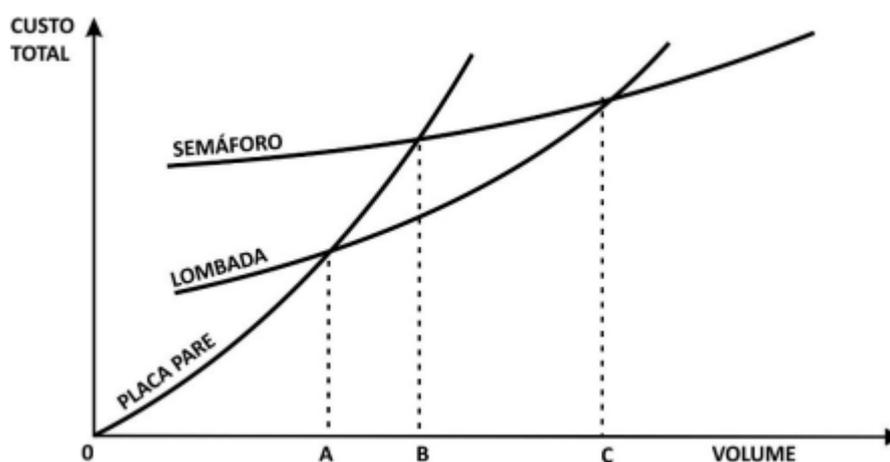


Figura 4 – Análise de custos comparando o semáforo com algumas soluções alternativas

No exemplo, se a alternativa lombada não existisse, a solução seria PARE de 0 (zero) a B, e semáforo dali por diante.

Com a alternativa adicional, a solução passa a ser:

PARE: de 0 a A

LOMBADA: de A a C

SEMÁFORO: de C em diante

Assim, a questão se resume em calcular ou estimar os custos de cada solução possível e a instalação do semáforo apenas se justificaria quando o seu custo fosse menor que o das soluções alternativas.

Contudo, estimar custos é uma tarefa difícil e complexa, nem sempre possível, devido à falta dos dados necessários. Dessa forma, procurou-se adotar um método alternativo como a escolha dos aspectos e dos fatores representativos e dos seus valores limites, conforme a [Figura 1](#).

2.2 Número mínimo de usuários

Deve haver um número mínimo de usuários para que se justifique a implantação de um semáforo.

Segundo Vilanova (s.d.) [\[4\]](#):

“Não se pode defender a implantação, operação e manutenção da sinalização semaforica se um número por demais reduzido de usuários for utilizar efetivamente o recurso. Neste caso, outras soluções de Engenharia de Tráfego têm de ser buscadas e implementadas.”

2.3 Pesquisas de campo

O desenvolvimento do Manual CET-2003 [\[1\]](#) tentou reduzir ao mínimo a quantidade de pesquisas de campo necessárias. Entretanto, as pesquisas são indispensáveis para a tomada da decisão. Conforme o próprio Manual CET-2003 [\[1\]](#):

Todo critério, qualquer que seja, deve ser baseado em dados de tráfego a serem coletados no local em estudo. A principal dificuldade encontrada na elaboração do Manual não foi o de encontrar critérios adequados, mas sim, critérios que exigissem a menor quantidade de pesquisas de campo e, mesmo assim, ainda mantivessem boa precisão e concordância com as reais necessidades do local. A busca desse equilíbrio ideal entre a quantidade de pesquisas de campo necessárias e a precisão do critério pautou todo o trabalho.

Vale registrar aqui a importância da realização de pesquisas para subsidiar a decisão para colocar ou não um semáforo novo. Nenhum empresário investe uma grande soma em um negócio novo sem ter a certeza da sua viabilidade econômica. Essa viabilidade é constatada, normalmente, em pesquisas de mercado. Ora, um semáforo representa, em média, um investimento da ordem de 150.000 dólares por ano, considerando os custos de implantação, manutenção, regulação, consumo de energia e custos sociais. Assim, é absolutamente imprescindível ter certeza da sua viabilidade, através da realização de pesquisas de campo, antes de se decidir pela sua colocação.

Como dito anteriormente, o desenvolvimento do Manual CET-2003 [\[1\]](#) buscou reduzir ao máximo a quantidade de pesquisas de campo necessárias.

Ainda citando Vilanova (s.d.) [4]:

“Esse foi o motivo principal para que a aplicação dos critérios se restringisse ao período de uma hora crítica. Evidentemente, períodos de análise maiores ofereceriam diagnósticos mais confiáveis.”

“A aplicação dos critérios em centenas de locais de São Paulo trouxe excelentes resultados, principalmente quando os aspectos envolvidos foram a travessia de pedestres e a fluidez veicular.”

Cabe observar que o MUTCD-2009 [2] considera critérios com 8 horas e 4 horas, reservando um critério que considera a hora pico apenas para os casos em que há uma grande movimentação de veículos em um curto período de tempo, por exemplo em locais com fábricas, complexo de escritórios, polos geradores de tráfego etc. Neste último caso, o critério não se estende para o dia todo, mas é válido apenas para o período da hora pico, recomendando-se que nos demais períodos do dia o semáforo opere no modo intermitente.

2.4 Premissa básica do Manual CET-2003 [1]

A premissa básica do Manual de Implantação de Semáforos – CET-2003 [1] estabelece que existem três tipos de aspectos que podem justificar a implantação de um semáforo: aspectos relacionados à segurança viária, à fluidez dos veículos e à travessia dos pedestres.

De acordo com Vilanova (s.d.) [4]:

“Geralmente, quando se parte para estudar a necessidade da instalação de um semáforo num local, já se sabe qual dessas três razões é a motivadora.”

No Manual CET-2003 [1] são apresentados:

“os procedimentos que devem ser adotados, na análise, para cada um dos três possíveis aspectos. Eventualmente, em alguns locais, é possível que exista mais de um aspecto envolvido e, neste caso, devem ser verificados os correspondentes procedimentos para todos eles”.

2.5 Fatores representativos

Para cada um dos 3 aspectos, são estabelecidos fatores representativos que melhor traduzem a necessidade de semaforização.

Exemplos de fatores representativos:

- Segurança: número de acidentes, número de conflitos etc.
- Fluidez: volume de veículos, atraso, número de paradas etc.
- Travessia de pedestres: número de pedestres, tempo de espera etc.

Nota: Em princípio, os fatores que se referem a número (número de acidentes, por exemplo) podem ser representados por “número esperado” ou “número previsto”, obtidos por meio de modelos matemáticos/estatísticos. O termo “esperado” aqui se refere à esperança matemática, que é o valor médio teórico de uma distribuição de probabilidades, enquanto o termo “previsto” se refere à previsão obtida ou projetada por modelos matemáticos/estatísticos.

A escolha dos fatores representativos para cada um dos 3 aspectos será abordada mais adiante nos itens 3 (aspecto segurança), 5 (aspecto fluidez) e 7 (aspecto travessia de pedestres).

2.6 Estabelecimento de valores limites para os fatores representativos

A escolha dos fatores representativos é teoricamente universal, sendo válido para qualquer cidade ou país.

Conforme Vilanova (s.d.) [4]:

“Já a escolha dos seus valores limites depende sobremaneira não só das características culturais e comportamentais de cada cidade, mas principalmente do seu histórico anterior em relação ao trânsito.”

Os valores limites podem variar de cidade para cidade. Um valor que é adequado para uma cidade, pode não sê-lo para outra cidade.

Os valores limites têm origem subjetiva, mas deve-se ter a noção e compreensão do que significam. Os valores limites devem ser validados pela experiência e podem ser revisados (se houver motivos que assim justifiquem).

A escolha do valor limite dos fatores representativos de cada aspecto será abordada mais adiante nos itens 4 (aspecto segurança), 6 (aspecto fluidez) e 8 (aspecto travessia de pedestres).

2.7 Alteração/revisão dos valores limites

A alteração ou a revisão dos valores limites devem ser justificadas pela experiência, pelos resultados apresentados com a aplicação intensiva do método, mostrando que o valor vigente não está mais adequado e está conduzindo para decisões equivocadas.

2.8 Estudo de Engenharia

Vale ressaltar que o atendimento aos critérios é sempre uma condição necessária, mas não é suficiente para a implantação de um semáforo novo. Além do atendimento dos critérios, o semáforo novo deve ser justificado por um estudo que aqui é designado como “estudo de Engenharia”. O MUTCD-2009 [2] é claro nesse sentido:

“O atendimento de um ou mais critérios não deve, por si só, requerer a instalação do semáforo.”

Sobre esse assunto, vale mencionar os comentários do Vilanova (s.d.) [4] sobre o MUTCD Edição de 2003 [5], mas que podem ser generalizados para qualquer manual de critérios de implantação de semáforo:

“O Manual reforça, em várias passagens, a necessidade de uma análise técnica do problema em pauta em vez da aplicação maquinal dos números citados. Tabelas e ábacos que já vêm prontos são muito perigosos. Infelizmente, podemos encontrar muitos trabalhos que utilizam as tabelas de forma simplória: se os fluxos atingem os valores das tabelas ou dos ábacos, a implantação está justificada! Tais trabalhos, se assim podemos chamá-los, nem desenvolvem o estudo de engenharia que irá fundamentar a necessidade da implantação, nem sequer atentam para as determinações

especificadas no corpo do critério! É a velha história: “Oba, ganhei uma tabela. Não preciso mais pensar”.”

“Logo de início, o Manual deixa bem claro que o simples cumprimento de um ou mais critérios é razão necessária, mas não suficiente para se decidir pela implantação do novo semáforo. Deve haver um estudo complementar de engenharia, que avalie todos os aspectos envolvidos e dificilmente enquadráveis em critérios rígidos, a fim de tomar a decisão final. É imprescindível atentar para o fato de que a função dos critérios é impedir a implantação de semáforos em locais em que não se cumpra pelo menos um deles, mas que tal conformidade não é, em si, suficiente para a efetiva implantação e deve ser complementada por um estudo mais amplo. Aliás, tanto nesta abordagem de impor um limite abaixo do qual fica vedada a nova instalação como em outros pontos do manual, podemos perceber o cuidado do MUTCD em evitar a implantação de semáforos desnecessários.”

3. ESCOLHA DE FATORES REPRESENTATIVOS PARA O ASPECTO SEGURANÇA

Os fatores representativos para o aspecto segurança do Manual CET-2003 [1] são:

- Acidentes com vítima do tipo evitável por semáforo no último ano disponível (item 3.1).
- Conflitos do tipo evitável por semáforo (item 3.2).

Antes de abordar os fatores representativos do aspecto segurança propriamente ditos, cabe tecer alguns comentários sobre o aspecto da segurança em si.

Segundo Vilanova (s.d.) [4]:

“Na maioria das vezes, o fator gerador do estudo reside na questão da segurança viária. Entretanto, é justamente nesta área tão crítica que se enfrentam as maiores dificuldades para estipular critérios apropriados, devido ao pequeno número de amostras com que é possível contar, o que impede o tratamento estatístico adequado.”

A segurança é um dos principais motivos para se implantar o semáforo, mas também é uma questão ainda não totalmente resolvida, mesmo em manuais internacionais. Por exemplo, o documento *“Crash Experience Warrant for Traffic Signals – Project 17-16 FY’97 – NCHRP Report 491”* (2003) [7] menciona que o critério baseado em número de acidentes do MUTCD é considerado insuficiente por não fornecer os meios para determinar que melhorias em segurança podem ser obtidas com a implantação do semáforo, bem como não se conhece qual a base científica para o critério. O objetivo do Projeto 17-16 FY’97 foi o de desenvolver aprimoramentos para o critério de segurança por meio de um modelo matemático/estatístico que permita estimar o impacto na segurança com a implantação do semáforo.

Por outro lado, é ilustrativo observar a experiência de *Hans Monderman*¹ na cidade holandesa de *Drachten*². Segundo a matéria *“Shared Space, Where the Streets Have no Rules”*³, em 2002 foram removidos todos os semáforos da cidade, resultando numa queda de acidentes de 8,3 por ano para 1 por ano. Já a matéria *“Naked Streets: Without Traffic Lights Improve Flow and Safety”*⁴ reporta que os semáforos da cidade foram removidos em 2006 (mesmo em áreas com um volume diário de 22 mil veículos), sendo que os acidentes em um cruzamento caíram de 36 em um período de 4 anos para 2 acidentes em um período de 2 anos após a remoção. Em Wikipedia (<https://en.wikipedia.org/wiki/Drachten> – Acesso em 02/01/2023) é informada uma queda de uma média de 8 acidentes por ano para 1 acidente por ano em um período de 2 anos após a remoção dos semáforos.

¹ Hans Monderman foi um engenheiro de tráfego que propôs o modelo de espaço compartilhado (*shared space*), onde não há regras ou sinalização de trânsito e nem separação física entre pedestres, ciclistas e outros modais. A ideia é que, no “caos”, as pessoas iriam negociar uns com os outros, com cuidado e com redobrada atenção, reduzindo, assim, os acidentes.

² Drachten é uma cidade no norte da Holanda. Tinha uma população de cerca de 45.186 habitantes em janeiro de 2017. Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Drachten> (Acesso em 02/01/2023).

³ Fonte: <http://edition.cnn.com/2014/09/22/living/shared-spaces/index.html> (Acesso em 02/01/2023).

⁴ Fonte: <https://thecityfix.com/blog/naked-streets-without-traffic-lights-improve-flow-and-safety/> (Acesso em 02/01/2023).

Citando Vilanova (s.d.) [4]:

“O autor do projeto, Hans Monderman, defende que, paradoxalmente, a retirada dos semáforos reduz os acidentes exatamente por provocar uma situação mais insegura, pois o risco fica evidente e os usuários passam a ter mais cuidado.”

A segurança é um aspecto vital na decisão de implantar ou não o semáforo, tanto que uma boa parte do presente trabalho é dedicada a este tema tão sensível e importante.

Como se verá mais adiante, os critérios que usam simplesmente o índice de acidentes, adotados tanto por Manual CET-2003 [1] como pelo MBST-2014 [3] são bastante falhos e insatisfatórios, cabendo aprimoramentos, usando técnicas e metodologias como aquelas sugeridas no item 4.4.

3.1 Acidente com vítima, do tipo evitável por semáforo no último ano disponível

A classificação dos acidentes em evitáveis, ou não evitáveis, por semáforo, é feita por meio da análise de diagramas de colisão (definido no Manual CET-2003 [1]). Exemplos de acidentes evitáveis por semáforo também estão na Figura 4.12, Página 56, do MBST-2014 [3].

O problema é que no histórico de acidentes geralmente não é possível saber se o acidente foi do tipo evitável por semáforo. Para tanto, seria necessário buscar o Boletim de Ocorrências policial (BO) de cada acidente. Mesmo assim, muitas vezes nem mesmo o BO esclarece a forma como o acidente ocorreu. Diante das dificuldades, na prática, é considerado simplesmente o número total de acidentes com vítima.

Sem o conhecimento do diagrama de colisão dos acidentes registrados, um critério de segurança baseado unicamente na quantidade de acidentes registrados pode levar a uma decisão equivocada pela implantação do semáforo, pois é possível que os acidentes registrados sejam do tipo não evitáveis por semáforo. Neste caso, a implantação do semáforo não geraria o benefício esperado (pois não evitaria os tipos de acidentes que ocorrem no local), mas poderia causar mais acidentes, além dos custos representados por atrasos e número de paradas decorrentes (além dos custos diretos de operação e manutenção).

Dessa forma, na prática esse fator representativo é bastante falho por não haver disponibilidade de dados confiáveis no que diz respeito se o acidente registrado é ou não do tipo evitável por semáforo.

As estatísticas de acidentes, além de não fornecer informações precisas sobre as causas do acidente que permitiriam identificar aqueles que poderiam ser evitados por semáforo, retratam uma situação do passado.

Nesse sentido, a análise de conflitos representa uma grande vantagem em relação ao número registrado de acidentes, pois o conflito pode ser observado em tempo real, permitindo fazer uma estatística da tipologia de cada conflito (determinando se o conflito é ou não do tipo evitável por semáforo) e refletindo uma situação no tempo presente.

Os acidentes são eventos raros, de natureza aleatória. Normalmente, o número de acidentes com vítima não constitui uma amostra suficiente para garantir uma significância estatística.

Contabilizar também os acidentes sem vítimas (o que aumentaria significativamente a quantidade de elementos da amostra) apresenta uma séria desvantagem, pois, de acordo com Vilanova (s.d.) [4], o registro deste tipo de acidente, da forma como é registrado e reportado em São Paulo, “*não segue uma lógica que possa ser incorporada a uma metodologia de análise*” (Vilanova (s.d.) [4]). Além disso, é possível que boa

parte desses acidentes não guarde relação com semáforo. Outro fator é que pode haver significativa subnotificação desse tipo de acidente.

Um critério de segurança baseado exclusivamente no número de acidentes registrados irá delegar ao acaso a decisão de implantar ou não o semáforo. É como se jogasse um dado ou uma moeda para decidir se implanta ou não o semáforo. Além disso, os acidentes, por serem fenômenos aleatórios, sofrem forte influência da regressão para a média⁵. A regressão para a média é um fenômeno em que, se uma grandeza aleatória apresenta um valor alto numa medida, ela tenderá a sofrer uma queda no seu valor numa medida seguinte e vice-versa. Assim, se num determinado ano um local teve um aumento de acidentes, é possível que no ano seguinte o número de acidentes caia, simplesmente pelo efeito da regressão para a média. Desse modo, se o critério se basear exclusivamente no histórico de acidentes, a decisão de implantar ou não o semáforo pode ficar dependendo de qual o período em que será considerado o índice de acidentes: se num período de “alta” ou se num período de “baixa”.

Para reduzir a influência da aleatoriedade, pode-se aumentar o tamanho da amostra aumentando-se o tempo de acúmulo de acidentes (por exemplo, em vez de considerar o número de acidentes no último ano ou nos últimos 3 ou 5 anos, considerar o histórico de 10 a 20 anos). Entretanto, quanto maior é o intervalo de tempo, maiores as chances de a situação ter mudado ao longo do tempo, podendo o número de acidentes desse período ser totalmente irrelevante para a realidade presente.

Ainda de acordo com Vilanova (s.d.) [4]:

“O remédio seria esperar que transcorresse um número suficiente de anos em que se conseguisse juntar um número representativo de acidentes com vítimas o que, evidentemente, não é uma boa solução, não só porque não parece muito adequado ficar sentado esperando o número de acidentes crescer, mas também porque, a longo prazo, a própria dinâmica urbana altera substancialmente os intervenientes envolvidos. Quando se chegar a um diagnóstico, a doença já é outra!”

Sobre a dificuldade da utilização do número de acidentes para estudos de segurança viária, vale a pena observar com atenção o seguinte texto de *The Swedish Traffic Conflict Technique – Observer’s Manual* [10]:

Tradicionalmente, a segurança viária é descrita em termos de número de acidentes que ocorreram no trânsito. Embora esses indicadores tenham a conexão mais direta com o assunto estudado, eles têm uma série de graves limitações:

- *Os acidentes de trânsito são eventos aleatórios e o número de acidentes registrados cada ano no mesmo local varia de ano para ano, mesmo que o volume, comportamento ou o perfil do tráfego ou as características físicas do local não tenham sofrido nenhuma alteração. Nessa perspectiva, o número registrado do histórico de acidentes também é uma medida indireta, enquanto a verdadeira característica da segurança viária é o “número esperado de acidentes” que não pode ser medido diretamente, mas apenas estimado com base no histórico de acidentes ou usando alguns outros métodos (Hauer, 1997) [11].*
- *Os acidentes de trânsito são eventos raros e leva muito tempo para coletar uma quantidade suficiente de dados de acidentes para produzir estimativas confiáveis do número esperado*

⁵ O assunto sobre regressão para a média pode ser visto mais detalhadamente na Nota Técnica 224: O Fenômeno da Regressão para a Média em Estudos Observacionais de Segurança de Tráfego do Tipo "Antes – Depois" (<http://www.cetsp.com.br/media/135475/nt224o%20fenomeno%20da%20regressao%20para%20a%20media.pdf> – Acesso em 02/01/2023).

de acidentes. Durante esse tempo, as condições do tráfego podem (e geralmente mudam) (Hauer, 2015) [12]. Há também um problema ético em que é preciso esperar que ocorra um número suficiente de acidentes e, portanto, que as pessoas sofram e morram antes que qualquer coisa possa ser feita sobre a (in)segurança.

- *Nem todos os acidentes são relatados e registrados. O nível de subnotificação depende da gravidade dos acidentes e dos tipos de usuários das vias envolvidos. Este é um problema particular para os usuários vulneráveis (Elvik et al., 2009 [13]; Amoros et al., 2006; Alsop & Langley, 2001).*
- *O processo real dos acidentes muitas vezes não é claro, uma vez que apenas o resultado final do acidente pode ser observado durante a fase do seu registro. Reconstruções de acidentes e investigações aprofundadas são geralmente caras e nem sempre possíveis de serem realizadas; fazê-las com a ajuda de testemunhas e dos envolvidos nos acidentes apresenta um grande risco de parcialidade. Sem informação sobre o processo que antecede o acidente, é muito difícil compreender a relação entre o comportamento (fatores contribuintes) e o acidente, o que limita as possibilidades de propor contramedidas eficazes para alterar/reduzir este comportamento.*

Por essas razões, há interesse em usar medidas indiretas para avaliar a segurança do tráfego (também chamadas de medidas de segurança alternativas). 'Indireto', neste contexto, significa medidas não baseadas em acidentes, mas sim em outras ocorrências no trânsito que estão causalmente relacionadas a acidentes, e que podem indicar desempenho de segurança e ajudar a compreender o processo que leva aos acidentes.

Diante de todo o exposto, apresenta-se a seguir um resumo das razões pelas quais não se pode construir um critério de segurança baseado exclusivamente no número de acidentes:

- a) Diagrama de colisão. Sem o conhecimento de como os acidentes ocorreram, não há como determinar se os acidentes registrados seriam reduzidos com a implantação do semáforo. No caso de os acidentes registrados não serem do tipo evitável por semáforo, implantá-lo, além de não solucionar o problema, irá introduzir outros fatores que põem em risco os usuários da via. Neste caso, outras soluções seriam muito mais eficazes que o semáforo.
- b) Tempo presente. Os acidentes registrados retratam uma situação do passado, podendo não representar uma situação real no tempo presente.
- c) Problema ético. Existe o problema ético de ter que aguardar que os acidentes ocorram para que se providencie alguma medida corretiva.
- d) Acaso. Devido à sua natureza aleatória e ao fato de os acidentes serem eventos raros, basear a decisão de implantar ou não o semáforo unicamente no número de acidentes é delegar essa decisão ao acaso, transformando-a num puro jogo de sorte/azar, sem o envolvimento/embasamento de nenhum método científico e de engenharia.

Isso não significa que o histórico de acidentes deva ser descartado e que não possa ser utilizado na análise da segurança viária. Apesar de todas as suas deficiências, trata-se, indubitavelmente, de uma fonte inestimável de dados e de informações. Entretanto, em vez de considerar simplesmente o número de acidentes registrados, recomenda-se fortemente adotar o “número esperado” de acidentes, obtido por meio

de metodologias validadas por métodos estatísticos apropriados, como aquelas sugeridas mais adiante no item 4.4.

Na realidade, o histórico de acidentes é a matéria prima, a informação bruta que deve ser trabalhada e lapidada, para ser transformada em informação útil, utilizando-se de metodologias como aquelas sugeridas no item 4.4.

Além do Manual CET-2003 [1], o MBST-2014 [3] e MUTCD-2009 [2] adotam o número de acidentes como fator representativo do aspecto segurança.

3.2 Conflitos do tipo evitável por semáforo

Diz-se que um conflito ocorreu quando dois usuários da via entraram em um processo de colisão que teria ocorrido se ambos tivessem prosseguido sem alteração de velocidade e/ou de direção e que somente é evitada porque pelo menos um dos usuários realizou uma ação evasiva.

Esta definição traduz a conceituação do Método Sueco proposto pela Universidade de Lund (*The Swedish Traffic Conflict Technique* [10]) e foi extraída do relatório “Avaliação da Técnica Sueca de Análise de Conflitos de Tráfego” [9], do Prof. Dr. Hugo Pietrantonio.

Intuitivamente, pode-se entender que há uma correlação direta entre acidentes e conflitos. Quanto mais conflitos, mais acidentes e vice-versa. Por essa razão, considerar o número de conflitos poderia ser uma boa alternativa ao número de acidentes.

Entretanto, essa correlação pode não ser tão direta assim. No trabalho de (Robles et al, 2008) [16] foram identificadas correlações de 0,77 e de 0,53 para interseções controladas pela sinalização PARE e para as interseções semaforizadas, respectivamente. A pesquisa foi feita na cidade de São Carlos, no interior de São Paulo, em 10 interseções sinalizadas com PARE e em 10 interseções semaforizadas, usando-se a técnica sueca de análise de conflitos. A correlação foi avaliada através do coeficiente de correlação de Pearson⁶. As relações entre conflitos e acidentes foram de 1.140 conflitos/acidente (interseções com sinalização PARE) e de 432 conflitos/acidente (interseções semaforizadas). Como pode se observar, a amostra utilizada na pesquisa foi relativamente pequena: apenas 10 interseções de cada tipo de controle (PARE e semáforo).

Por que não existe uma correlação mais forte entre conflitos e acidentes?

A resposta é simples. Todo acidente é precedido por pelo menos um conflito, em que não ocorreu uma ação evasiva ou ela não foi suficiente para evitar a colisão. Mas nem todo conflito resulta em um acidente. Um conflito pode ser um “quase-acidente”. Uma interseção com muitos conflitos não apresenta, necessariamente, muitos acidentes. Uma interseção com muitos conflitos representa um local com alto “grau de periculosidade”. Por outro lado, uma interseção com poucos acidentes não significa, necessariamente, que o local não seja “perigoso”.

Em tese, como o número de conflitos pode não apresentar uma correlação mais direta e mais forte com o número de acidentes, então não serviria como alternativa para substituir o número de acidentes. De fato, conflitos e acidentes não representam exatamente a mesma coisa e, portanto, um não substitui o outro.

⁶ O coeficiente de correlação de Pearson r , também chamado de correlação linear de Pearson, indica quão correlacionadas entre si estão duas variáveis. $r = \pm 1$ indica uma perfeita correlação entre as duas variáveis, enquanto $r = 0$ indica que não há nenhuma correlação entre as duas variáveis. Quanto mais perto de ± 1 , mais forte é a correlação.

Entretanto, os conflitos são uma medida muito mais representativa do que os acidentes. O que se deseja medir numa interseção é o “grau de periculosidade” e não propriamente o número de acidentes. Nesse sentido, importa muito os “quase-acidentes” e não apenas os acidentes propriamente ditos. Dessa forma, o número de conflitos é uma medida que retrata com muito mais fidelidade o “grau de periculosidade” do local do que o número de acidentes.

Assim, recomenda-se o uso do número de conflitos por ser uma medida muito mais rica e completa do que o número de acidentes (e não porque o substitui).

Além disso, os conflitos não apresentam as desvantagens elencadas anteriormente nas letras “a” a “d” do item 3.1:

- a) Diagrama de colisão. Na pesquisa de conflitos, pode-se observar com exatidão de como o conflito ocorreu, permitindo saber se é do tipo evitável por semáforo, sem a necessidade de recorrer à pesquisa e análise de BOs.
- b) Tempo presente. Ao contrário dos acidentes, que retratam uma situação do passado, os conflitos representam a realidade no tempo presente.
- c) Problema ético. Os conflitos retratam a realidade no tempo presente e pode-se tomar medidas corretivas logo após a pesquisa, sem precisar aguardar que os acidentes ocorram.
- d) Acaso. Embora os conflitos também sejam eventos aleatórios, a influência da aleatoriedade é muito menor, pois apresentam uma amostra maior (existem muito mais conflitos do que acidentes), o que permite a obtenção de conclusões mais robustas, com maior poder de nível de significância estatística. Por exemplo, nas interseções pesquisadas por (Robles et al, 2008) [16] houve 1.140 conflitos para cada acidente em interseções com controle PARE e 432 conflitos para cada acidente em interseções semaforizadas.

No entanto, a grande desvantagem da pesquisa de conflitos é que ainda não é usual e rotineira na CET, requer tempo e depende de pesquisadores treinados e capacitados.

Mais informações sobre a técnica de análise de conflitos podem ser encontradas em (Ming, 2001) [26].

O MBST-2014 [3] e MUTCD-2009 [2] não adotam o número de conflitos como fator representativo do aspecto segurança.

3.3 Resumo comparativo de critérios quanto aos fatores representativos da segurança

- a) Manual CET-2003 [1]
 - Acidentes com vítima do tipo evitável por semáforo no último ano disponível.
 - Conflitos do tipo evitável por semáforo.

Observação: Os atropelamentos (do tipo evitável por semáforo) devem ser incluídos como acidentes com vítima.

b) MBST-2014 [3]

- Critério para pedestres: atropelamentos do tipo evitável por semáforo.
- Critério para veículos: acidentes com vítima do tipo evitável por semáforo.

c) MUTCD-2009 [2] (*Warrant 7 – Crash Experience*)

- Acidentes com vítima ou com danos materiais do tipo evitável por semáforo.
- Além de acidentes com vítima, MUTCD-2009 [2] considera volume de veículos e de pedestres como critério de segurança.

Observação: Os atropelamentos (do tipo evitável por semáforo) devem ser incluídos como acidentes com vítima.

Quadro resumo

Fator representativo	Manual CET-2003 [1]	MBST-2014 [3]	MUTCD-2009 [2]
Acidentes	Sim (*)	Sim (**)	Sim (***)
Conflitos	Sim	---	---
Volumes de veículos e de pedestres	---	---	Sim

(*) Acidentes com vítima, incluindo atropelamentos.

(**) Para pedestres, o critério considera atropelamentos. Para veículos, o critério considera acidentes com vítima.

(***) Acidentes com vítima (incluindo atropelamentos) ou acidentes com danos materiais.

4. ESCOLHA DOS VALORES LIMITES PARA OS FATORES REPRESENTATIVOS DA SEGURANÇA

As razões para a definição dos valores limites dos fatores representativos do aspecto segurança estão descritas nos itens 4.1 e 4.2 adiante.

4.1 Número de acidentes com vítima, do tipo evitável por semáforo, no último ano disponível → 3 ou mais

O Manual CET-2003 [1] considera como valor limite para o número de acidentes com vítima, do tipo evitável por semáforo, no último ano disponível: 3 ou mais, isto é:

- Se o número de acidentes com vítima, do tipo evitável por semáforo, no último ano disponível, for maior ou igual a 3, então pode ser implantado o semáforo.
- Se o número de acidentes com vítima, do tipo evitável por semáforo, for menor que 3, então deve ser analisado o próximo fator representativo: número de conflitos.

Segundo Vilanova (s.d.) [4]:

“A determinação de se instalar o semáforo se tiver ocorrido, no último ano, três ou mais acidentes com vítimas, do tipo evitável com semáforo, é praticamente inócua. Existem muito poucas interseções ainda não semaforizadas, que apresentam tal índice em São Paulo”.

A maioria das interseções não semaforizadas apresenta índices anuais de acidentes com vítimas que variam entre zero e dois. O problema não é resolvido se reduzirmos o valor limite, pois os acidentes são fenômenos aleatórios. É possível que um local apresente 2 acidentes no último ano, mas no ano anterior tenha apresentado apenas 1 acidente. Ou que no último ano tenha apresentado 0 acidentes, mas no ano seguinte venha a apresentar 2 ou mais acidentes.

Ainda de acordo com Vilanova (s.d.) [4]:

“Se um lugar passou, por exemplo, de um para dois acidentes, pode-se dizer que houve um forte incremento de 100% na sua periculosidade? Provavelmente, não. A variação pode ser creditada à própria aleatoriedade da distribuição das amostras.”

Assim, se o número limite for reduzido, a decisão de implantar o semáforo ficaria submetida exclusivamente à aleatoriedade. Mesmo o valor limite sendo igual a 3, pode haver relevante influência da aleatoriedade. Por isso, alguns manuais internacionais consideram pelo menos 5 acidentes por ano (por exemplo, MUTCD).

Uma alternativa seria considerar, em vez do número de acidentes no último ano, a média (ou a soma) dos últimos 3 ou 5 anos. No entanto, se, por um lado a influência da aleatoriedade é menor, por outro, aumenta a chance de a dinâmica urbana ter alterado substancialmente os intervenientes envolvidos. Por exemplo, é possível ter havido alterações no último ou penúltimo ano agravando as condições de segurança no local, de forma que a média (ou a soma) dos acidentes nos últimos 3 ou 5 anos não irá traduzir de forma apropriada as atuais condições de periculosidade do local.

Talvez por isso, o MBST-2014 [3] estabeleceu um número limite de colisões com vítimas, evitáveis por sinalização semafórica, para justificar a implantação de sinalização semafórica, igual a 7 nos últimos 3 anos ou 3 nos últimos 12 meses (Página 56 do MBST-2014 [3]). Entretanto, deve-se ressaltar que os 3 acidentes com vítimas do MBST-2014 [3] não é exatamente equivalente aos 3 acidentes com vítimas do Manual CET-2003 [1] que inclui atropelamentos. O MBST-2014 [3] fixa um limite de 4 atropelamentos nos últimos 3 anos ou 2 atropelamentos nos últimos 12 meses (Página 53 do MBST-2014 [3]), em um critério separado para pedestres.

Note que o critério do MBST-2014 [3] não elimina que a decisão pela implantação ou não do semáforo seja atribuída exclusivamente ao puro acaso.

O Manual CET-2003 [1] estabelece que o novo semáforo deve ser implantado se os três requisitos a seguir forem cumpridos simultaneamente.

- a) Houve três ou mais acidentes com vítimas, do tipo evitável por semáforo, no último ano consultado;
- b) Não existe solução alternativa adequada;
- c) Não ocorreram alterações no último ano que podem já ter eliminado o problema e cujos efeitos ainda não foram detectados nas estatísticas.

Se as alíneas “a” e “c” forem verdadeiras, mas a alínea “b” for falsa, então deve-se efetuar os procedimentos necessários para a implementação da solução alternativa.

Se as alíneas “a” e “b” forem verdadeiras, mas a alínea “c” for falsa, então prosseguir com o próximo passo de análise de conflitos.

Nas demais situações, não há nenhuma ação a ser tomada com relação ao aspecto segurança.

Note que, no caso de ocorrer a letra “a”, o critério do Manual CET-2003 [1] não elimina que a decisão pela implantação do semáforo seja atribuída exclusivamente ao puro acaso. Entretanto, no caso da não ocorrência da letra “a”, a decisão pela implantação ou não do semáforo fica mais técnica, não dependendo mais do acaso, pois irá depender da análise dos conflitos.

O MUTCD-2009 [2] estabelece um valor de 5 ou mais acidentes, do tipo suscetível de serem evitados por semáforo, em um período de 12 meses, envolvendo vítimas ou danos materiais.

4.2 Número de conflitos do tipo evitável por semáforo → valor limite: não há

Se o local não tiver atingido o índice mínimo de 3 acidentes com vítima, do tipo evitável por semáforo, no último ano disponível, fazer a análise de conflitos.

Entretanto, no Manual CET-2003 [1] não foi estabelecido um valor limite para o número de conflitos, a partir do qual seja recomendada a implantação do semáforo, devido à falta de estatísticas de conflitos para cruzamentos da cidade de São Paulo.

Para a definição de um valor limite, é necessário que seja feito um trabalho intenso de aplicação do método de análise de conflitos a uma série representativa de locais, seguido da análise dos resultados coletados para que se possa obter esse valor. Esse valor seria obtido somente após a construção de um banco de dados apropriado e ser validado pela experiência.

Enquanto não houver a disponibilidade de uma referência para referendar um valor limite, não resta alternativa a não ser um julgamento e análise qualitativos sobre os dados coletados, em associação com a análise das condições de segurança do local, como a intervisibilidade, geometria, velocidade, uso de solo, pontos de ônibus, aspectos comportamentais etc., para tomar a decisão final.

- Caso o número de conflitos evitáveis por semáforo seja considerado significativo, deve-se verificar se existe uma solução alternativa mais eficiente que o semáforo antes de concretizar a tomada de decisão para a implantação do semáforo.
- Se o número de conflitos for julgado não significativo, não há ação a ser tomada com relação ao aspecto segurança.

Recomenda-se que o próprio projetista acompanhe ou participe da pesquisa de conflitos, de forma a adquirir melhores condições para o julgamento das condições de segurança do local, em vez de, simplesmente, considerar os números finais da pesquisa.

O MBST-2014 [3] não prevê a utilização da técnica de análise de conflitos e estabelece que, se não for atingido o número limite de 7 acidentes com vítima nos últimos 3 anos ou 3 nos últimos 12 meses, então deve-se efetuar “pesquisas iniciais” (Página 56 MBST-2014 [3]), compreendendo:

- Contagem classificada de veículos (número de veículos por tipo) em todas as aproximações da interseção durante a sua hora-pico;
- Número de faixas de rolamento em cada aproximação;
- Tempo de ciclo da rede, se a interseção estiver inserida em uma via com sinalizações semaforicas operando de forma coordenada;
- Distância da interseção estudada às interseções controladas por sinalização semaforica a montante e a jusante;
- Calcular o número de veículos equivalentes, a partir da conversão de todos os tipos de veículos observados em unidades de carros de passeio.

Após as “pesquisas iniciais”, o próximo passo é a avaliação se a condição do local é segura, verificando se o local apresenta características que comprometem a segurança dos usuários na interseção. Essas características se referem principalmente à geometria da via nas proximidades da interseção (curvas horizontais ou verticais), à existência de edificações ou outros elementos que dificultem a intervisibilidade dos movimentos conflitantes, ou à configuração da interseção que dificulta a percepção natural de qual via é a via principal. Nesse último caso, a sinalização semaforica só se justifica após terem sido testadas sem sucesso diferentes alternativas para a solução do problema por meio da sinalização horizontal e vertical.

Não fica claro para que servem os dados coletados na “pesquisa inicial” para a avaliação da condição de segurança. Observe que os dados efetivamente necessários para o julgamento da condição de segurança, tais como a geometria da via nas proximidades da interseção (curvas horizontais ou verticais), existência de edificações ou outros elementos que dificultem a intervisibilidade dos movimentos conflitantes, ou a configuração da interseção que dificulta a percepção natural de qual via é a via principal, etc. não constam da “pesquisa inicial”.

Todas essas informações constam nas Páginas 55 (fluxograma), 56 e 57 do MBST-2014 [3].

Note que tanto a proposta do MBST-2014 [3] como a do Manual CET-2003 [1] recaem (no caso em que não é atingido o valor limite para o número de acidentes), em última análise, em avaliações subjetivas.

Entretanto, há uma importante diferença, conforme exposto a seguir.

A proposta do MBST-2014 [3] pode pecar por avaliações equivocadas, pois a existência de elementos desfavoráveis como a geometria, falta de intervisibilidade etc, não implica necessariamente em situação de insegurança, pois as condições desfavoráveis podem ser compensadas por comportamentos adequados (cautela e cuidado)⁷. Neste caso, uma pesquisa de conflitos pode revelar que não há número significativo de conflitos. Reciprocamente, um local sem nenhum elemento evidente de insegurança, pode ser perigoso por causa de comportamentos inadequados. Neste caso, uma pesquisa de conflitos pode revelar um alto número de conflitos. Mesmo que a avaliação também abranja o comportamento, a observação é feita de forma não padronizada e sistematizada, sendo totalmente subjetiva. A falta de regras e critérios objetivos para orientar e padronizar a análise provoca a falta de uniformidade no julgamento. Por sua vez, a falta de uniformidade na análise pode gerar decisões diferentes para situações idênticas ou decisões semelhantes para situações totalmente distintas. Assim, um técnico pode decidir pela implantação do semáforo, enquanto outro pode decidir o contrário em local com características idênticas ou vice-versa.

A proposta da avaliação por meio da utilização da técnica de análise de conflitos, apesar da falta de um valor limite, é mais realista e conduz a resultados mais precisos, pois a avaliação é feita com base em observação sistematizada e padronizada dos conflitos, em associação aos elementos como a intervisibilidade, geometria, velocidade, comportamento, uso do solo etc. O julgamento, embora seja subjetivo, é feito com base em dados objetivos, obtidos de forma sistematizada e padronizada. Por isso, a avaliação com o uso da técnica de análise de conflitos é significativamente menos subjetiva do que uma avaliação sem nenhuma regra ou critério objetivo. Isso conduz a uma maior uniformidade no julgamento. Porém, a técnica de análise de conflitos requer tempo e pesquisadores capacitados.

O artigo (Szasz, 2001) [25] propõe uma metodologia usando a técnica de análise de conflitos para embasar a decisão de implantar ou não o semáforo com base no aspecto segurança.

O MBST-2014 [3] e o MUTCD-2009 [2] não preveem a utilização de técnica de análise de conflitos.

No caso de uma futura revisão do Manual CET-2003 [1] não prever a utilização da técnica de análise de conflitos, sugere-se que seja proposto o procedimento a ser seguido no caso de não ser atingido o número limite de acidentes. O fato de o local em estudo não atingir o número limite de acidentes não significa, necessariamente, que não haja problemas de segurança.

Aliás, o ideal é que o critério não se baseasse no índice de acidentes, mas no “número esperado” ou no “número previsto” de acidentes.

4.3 Resumo comparativo de critérios quanto aos valores limites dos fatores representativos do aspecto segurança

a) Manual CET-2003 [1]

- O número que justifica a implantação de semáforo é de 3 acidentes com vítima no último ano (incluindo atropelamentos).
- Para o caso de menos de 3 acidentes com vítima por ano, seguir com o critério de análise de conflitos.

⁷ Conforme a teoria de Hans Monderman no item 3 do presente trabalho.

- b) MBST-2014 [3]
 - Para pedestres: 2 atropelamentos por ano ou 4 por 3 anos.
 - Para veículos: 3 acidentes com vítima por ano ou 7 por 3 anos.
 - Para o caso de não ser atingido o valor limite, prosseguir com “pesquisas iniciais” e com a avaliação se a condição do local é segura.

- c) MUTCD-2009 [2] – *Warrant 7 – Crash Experience*
 - 5 acidentes com vítima ou com danos materiais em 12 meses.
 - O volume de veículos é superior aos valores da coluna de 80% da Tabela 4C-1, Condições A e B (*Warrant 1*) – [Figura 5](#).
 - O volume de pedestres é superior a 80% do critério de volume de pedestres das Figuras 4C-5 – [Figura 6](#) e 4C-7 – [Figura 7](#) (*Warrant 4*).

Table 4C-1. Warrant 1, Eight-Hour Vehicular Volume

Condition A—Minimum Vehicular Volume

Number of lanes for moving traffic on each approach		Vehicles per hour on major street (total of both approaches)				Vehicles per hour on higher-volume minor-street approach (one direction only)			
Major Street	Minor Street	100% ^a	80% ^b	70% ^c	56% ^d	100% ^a	80% ^b	70% ^c	56% ^d
1	1	500	400	350	280	150	120	105	84
2 or more	1	600	480	420	336	150	120	105	84
2 or more	2 or more	600	480	420	336	200	160	140	112
1	2 or more	500	400	350	280	200	160	140	112

Condition B—Interruption of Continuous Traffic

Number of lanes for moving traffic on each approach		Vehicles per hour on major street (total of both approaches)				Vehicles per hour on higher-volume minor-street approach (one direction only)			
Major Street	Minor Street	100% ^a	80% ^b	70% ^c	56% ^d	100% ^a	80% ^b	70% ^c	56% ^d
1	1	750	600	525	420	75	60	53	42
2 or more	1	900	720	630	504	75	60	53	42
2 or more	2 or more	900	720	630	504	100	80	70	56
1	2 or more	750	600	525	420	100	80	70	56

^a Basic minimum hourly volume

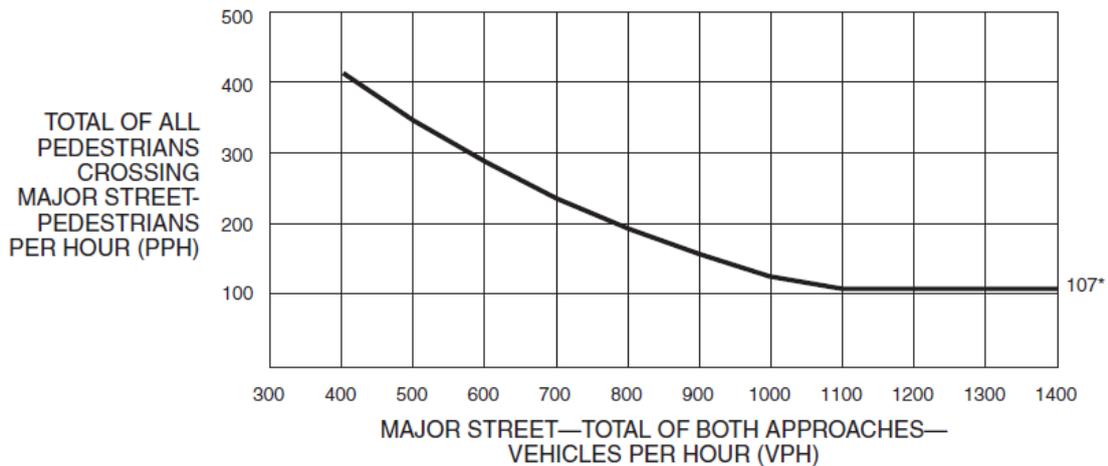
^b Used for combination of Conditions A and B after adequate trial of other remedial measures

^c May be used when the major-street speed exceeds 40 mph or in an isolated community with a population of less than 10,000

^d May be used for combination of Conditions A and B after adequate trial of other remedial measures when the major-street speed exceeds 40 mph or in an isolated community with a population of less than 10,000

Figura 5 – Tabela 4C-1 do MUTCD-2009 [2]

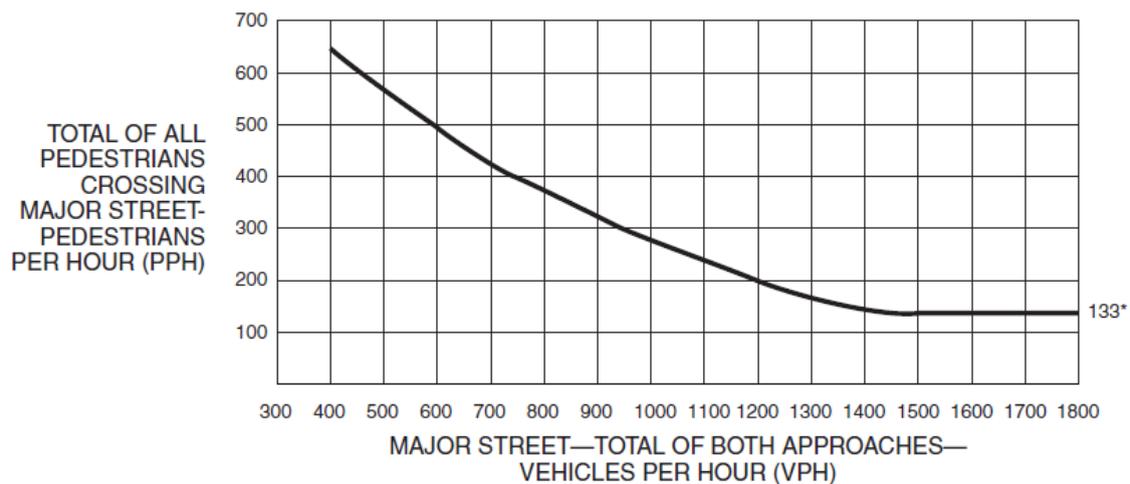
Figure 4C-5. Warrant 4, Pedestrian Four-Hour Volume



*Note: 107 pph applies as the lower threshold volume.

Figura 6 – Gráfico da Figura 4C-5 do MUTCD-2009 [2]

Figure 4C-7. Warrant 4, Pedestrian Peak Hour



*Note: 133 pph applies as the lower threshold volume.

Figura 7 – Gráfico da Figura 4C-7 do MUTCD-2009 [2]

Para a implantação do semáforo, deverão ser atendidos simultaneamente os 3 critérios acima.

Observa-se que o MUTCD-2009 [2] não se restringe exclusivamente em atender o número de acidentes estipulado, mas usa um critério combinado com o volume de veículos e de pedestres.

O Manual CET-2003 [1] e o MBST-2014 [3] usam o número de acidentes como o único critério para decidir sobre a implantação do semáforo no quesito segurança. No caso de não se atingir o valor limite:

- Manual CET-2003 [1]: análise de conflitos
- MBST-2014 [3]: avaliação subjetiva

Quadro resumo

Fator representativo	Manual CET-2003 [1]	MBST-2014 [3]	MUTCD-2009 [2]
Acidentes	3 por ano (*)	Pedestre: 2 atropelamentos por ano ou 4 por 3 anos Veículo: 3 acidentes com vítima por ano ou 7 por 3 anos (**)	5 por ano (***)
Conflitos	Não há valor limite	---	---
Volumes de veículos e de pedestres	---	---	Coluna de 80% dos volumes de veículos Tabela 4C-1 (Condições A e B) e 80% do critério de volume de pedestres (Warrant 4)

(*) Acidentes com vítima (inclui atropelamentos).

(**) Acidentes com vítima (não inclui atropelamentos).

(***) Acidentes com vítima ou com danos materiais (inclui atropelamentos).

4.4 Propostas para o futuro

Como dito anteriormente, critérios baseados simplesmente em número de acidentes não são eficazes para garantir a correção da decisão pela implantação ou não do semáforo.

Para substituir os critérios baseados em número de acidentes, propõe-se a realização de trabalhos de desenvolvimento e pesquisa, conforme algumas sugestões apresentadas a seguir.

4.4.1 Análise de conflitos

Desenvolvimento de um trabalho de pesquisa com a aplicação do método de análise de conflitos em uma série representativa de locais (semaforizados e não semaforizados), seguido da análise dos resultados coletados para que se possam obter valores limite para diferentes categorias de locais.

Com o tempo, esse tipo de pesquisa passaria a ser rotineiro e usual na CET, além de permitir a construção de um robusto banco de dados de conflitos para a cidade de São Paulo.

4.4.2 Regressão Linear Paramétrica Múltipla

De acordo com Vilanova (s.d.) [4]:

“A ocorrência de acidentes é função de alguns fatores conhecidos e identificáveis, tais como distância de visibilidade, fluxos e tipos de veículos e volumes de veículos e de pedestres, largura da área de conflito a ser vencida, número de faixas, distribuição de velocidades, uso de solo, circulação etc. Poderia ser estabelecida uma correspondência entre estes fatores e o índice de acidentes existente, através da aplicação de tratamento matemático/estatístico do tipo regressão paramétrica múltipla, a uma quantidade estatisticamente representativa de interseções e travessias de pedestres. Uma vez obtida a expressão analítica que retratasse o fenômeno, poder-se-ia classificar os locais em uma lista de periculosidade priorizada. O próximo passo seria estabelecer um ponto de corte, abaixo do qual não se justificaria a implantação do semáforo. A escolha deste ponto de corte envolveria, ainda, fatores subjetivos”.

A definição do valor de corte ainda envolveria fatores subjetivos, mas ter-se-ia a compreensão exata do que significa esse valor.

A regressão linear múltipla é um modelo em que a variável dependente Y será determinada por mais de uma variável independente X . Genericamente, a expressão analítica de um modelo de regressão múltipla com k variáveis independentes e p parâmetros ($p = k + 1$) é:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e \quad (1)$$

Onde:

Y = variável dependente, explicada pelas variáveis independentes

α = valor esperado de Y quando todas as variáveis independentes forem nulas

β_i = variação esperada em Y dado um incremento unitário em X_i , mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes

X_i = i -ésima variável independente ($i = 1, \dots, k$)

e = erro não explicado pelo modelo

As variáveis X_i podem ser categóricas ou contínuas, enquanto Y é sempre uma variável contínua.

Cada variável X_i pode representar uma característica que pode influenciar na segurança, por exemplo, distância de visibilidade, tipos de veículos, volumes de veículos, volume de pedestres etc.

Pode-se construir um modelo para cada tipo de interseção.

Para construir o modelo, deve-se escolher uma amostra representativa para cada tipo de interseção. Para cada local da amostra, aplica-se a expressão:

$$Y_j = \alpha_j + \beta_{1,j} X_{1,j} + \beta_{2,j} X_{2,j} + \dots + \beta_{k,j} X_{k,j} + e_j \quad (2)$$

Onde:

Y_j = número de acidentes da interseção j , sendo $j = 1, \dots, n$, e n é o número de interseções da amostra daquele tipo de interseção.

α_j = valor esperado de Y_j quando todas as variáveis independentes $X_{i,j}$ forem nulas

$\beta_{i,j}$ = variação esperada em Y_j dado um incremento unitário em $X_{i,j}$, mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes

$X_{i,j}$ = i -ésima variável independente ($i = 1, \dots, k$) da interseção j

e_j = erro não explicado pelo modelo da interseção j

Uma vez obtida a expressão analítica para o tipo de interseção, isto é, obtidos os valores de α e β_i para o tipo de interseção, obtém-se o valor de Y , que seria o número de acidentes previsto pelo modelo para o local do estudo, com as suas características definidas pelas variáveis X_i .

De forma simplificada, o procedimento para a construção do modelo pode ser resumido da seguinte forma:

1. Classificar as interseções em tipos característicos.
2. Para cada tipo, definir as características relevantes que influenciam a segurança, isto é, definir as variáveis independentes X_i .
3. Para cada tipo, escolher uma amostra estatisticamente representativa de interseções.
4. Para cada interseção j da amostra, determinar os valores das variáveis $X_{i,j}$.
5. Montar a equação da regressão (Expressão 2) para cada interseção com os valores de Y_j (número de acidentes da interseção j) e os valores de $X_{i,j}$.
6. Aplicar o modelo de regressão para determinar os valores dos parâmetros α_j e $\beta_{i,j}$.
7. Com a definição dos valores de α_j e $\beta_{i,j}$ no passo anterior, é definida a expressão analítica do modelo (Expressão 1), onde Y representa o número previsto de acidentes de uma interseção genérica de um determinado tipo de interseção e $X_{i,j}$ são os valores das variáveis que representam os fatores que determinam a segurança, específicos da interseção j .

Para que o modelo seja robusto e produza resultados consistentes e condizentes com a realidade é necessário que seja construído de forma adequada e que os erros e_j sejam os menores possíveis.

Para a determinação de um critério do aspecto segurança para a implantação de semáforo seria necessária a determinação de um valor limite, que poderia ser escolhido com base na análise dos resultados obtidos para as interseções da amostra.

Aqui, pode-se ter a seguinte dúvida: o número de acidentes previsto pelo modelo não sofreria as mesmas deficiências do histórico de acidentes elencadas nas letras “a” a “d” do item 3.1?

A resposta a esta questão está detalhada a seguir.

- a) Diagrama de colisão. Como não existe a disponibilidade de diagrama de colisão para acidente registrado, não há como saber se os acidentes são do tipo evitável por semáforo. Assim, a entrada de dados será em termos de total de acidentes com vítima. Em consequência, o resultado da aplicação do modelo também será o total de acidentes com vítima. Dessa forma, com relação a esse quesito o método apresenta a mesma deficiência do histórico de acidentes.
- b) Tempo presente. Se os valores das variáveis independentes estiverem atualizados, o modelo pode fornecer um retrato da realidade presente. Assim, com relação a esse quesito, o método não

apresenta a mesma deficiência do histórico de acidentes (desde que os dados de entrada do modelo estejam atualizados).

- c) Problema ético. Não há a necessidade de se aguardar que os acidentes ocorram. O modelo fornece o número previsto de acidentes para a situação retratada pelos valores das variáveis independentes.
- d) Acaso. Os resultados apresentados pelo modelo não estão sujeitos à aleatoriedade.

4.4.3 Regressão de Poisson e Binomial Negativa

Alguns fenômenos não são bem retratados por modelos lineares. Neste caso, deve-se explorar modelos não lineares.

A regressão de Poisson e a regressão Binomial Negativa⁸ são dois tipos de modelos de regressão apropriados para uso quando a variável de resposta é representada por resultados de contagem discretos.

O documento NYCDOT (2010) [17] apresenta a experiência na aplicação de modelos com a regressão de Poisson e Binomial Negativa em estudos de segurança de pedestres.

Para dar uma ideia geral da complexidade desses modelos, faz-se a transcrição do seguinte trecho de NYCDOT (2010) [17]:

O modelo Binomial Negativo é o modelo mais amplamente aplicado em estudos de segurança no trânsito devido à sua capacidade de heterogeneidade entre locais e sua simplicidade computacional para calibração e aplicação.

Diferentes estudos usaram essa formulação na modelagem de segurança de pedestres.

Como uma forma mais geral da regressão de Poisson, a regressão Binomial Negativa é um modelo que permite que a média e a variância sejam desiguais, ou seja,

$$E[Y_i] \neq VAR[Y_i] \quad (3)$$

Onde:

$E[Y_i]$ denota a contagem prevista (média) de colisões, e $VAR[Y_i]$ denota a variância.

Quando $E[Y_i] > VAR[Y_i]$, os dados são ditos subdispersos.

Quando $E[Y_i] < VAR[Y_i]$, os dados são ditos superdispersos.

No caso da regressão de Poisson, a média é igual à variância, isto é:

$$E[Y_i] = VAR[Y_i] \quad (4)$$

⁸ Mais informações sobre a distribuição de Poisson e a distribuição Binomial negativa podem ser encontradas em (Ming, 2001) [21].

Quando a média e a variância não são iguais, o parâmetro estimado com uma regressão de Poisson é tendencioso. Este erro pode ser corrigido usando modelos binomiais negativos. Assim, emprega-se essa técnica de modelagem reescrevendo a forma de regressão de Poisson:

$$P(y_i) = \frac{EXP(-\lambda_i)\lambda_i^{y_i}}{\lambda_i!} \quad (5)$$

onde $P(y_i)$ é a probabilidade do local i de haver y_i acidentes e λ_i é o parâmetro de Poisson:

$$\lambda_i = EXP(\beta X_i) \quad (6)$$

Na expressão do parâmetro de Poisson, X_i é um vetor de variáveis explicativas e β é um vetor de parâmetros estimáveis. Então, incluindo um termo de erro pode-se considerar a superdispersão, usando o parâmetro do modelo de regressão Binomial Negativa:

$$\lambda_i = EXP(\beta X_i + \varepsilon_i) \quad (7)$$

onde $EXP(\varepsilon_i)$ é um termo de erro Gama-distribuído de média 1 e variância α^2 . Este termo permite que a variância seja diferente da média. A regressão de Poisson é um modelo limitante da regressão Binomial Negativa quando α tende para zero.

α é chamado de parâmetro de sobredispersão. O modelo Binomial Negativo tem a forma:

$$P(y_i) = \frac{\Gamma[(1/\alpha)+y_i]}{\Gamma(1/\alpha)y_i!} \left(\frac{1/\alpha}{(1/\alpha)+\lambda_i}\right)^{1/\alpha} \left(\frac{\lambda_i}{(1/\alpha)+\lambda_i}\right)^{\lambda_i} \quad (8)$$

onde $\Gamma(\cdot)$ é uma função Gama⁹ e os outros parâmetros são previamente definidos.

Dadas as características das grandes áreas urbanas, vários valores zero são esperados nas variáveis dependentes, já que diversos locais podem ter zero acidentes. Estes locais são frequentemente chamados de estados de contagem zero e conduzem à superdispersão. Isso pode ser levado em consideração no processo de modelagem pelo uso de modelos inflacionados de zeros (Zero Inflated Models – ZIM).

O estudo de NYCDOT (2010) [17] empregou 3 metodologias:

- Modelo de regressão Binomial Negativa simples (Negative Binomial Model – NB)
- Modelo de regressão Binomial Negativa com heterogeneidade no parâmetro de dispersão (Negative Binomial Model with Heterogeneity in Dispersion Parameter – NB+)
- Modelo de regressão Binomial Negativa inflacionada de zeros (Zero Inflated Negative Binomial – ZINB)

⁹ Mais informações sobre a distribuição Binomial Negativa e a função Gama podem ser encontradas em (Ming, 2001) [22].

Outro exemplo de aplicação de regressão Binomial Negativa pode ser encontrado em (Cunto et al, 2012) [18], no desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes em interseções semaforizadas de Fortaleza.

4.4.4 Regressão logística

A regressão linear e a regressão logística são as formas mais básicas de regressão comumente usadas. A diferença essencial entre os dois métodos é que a regressão logística é usada quando a variável dependente é de natureza binária. Em contraste, a regressão linear é usada quando a variável dependente é contínua e a natureza da linha de regressão é linear. Fonte: <https://pt.living-in-belgium.com/difference-between-linear-and-logistic-regression-292> (Acesso em 03/01/2023)

Diferenças entre a regressão linear e a regressão logística:

- Regressão linear: a variável dependente é contínua. O ajuste dos parâmetros (coeficientes das variáveis independentes) é feito pelo método de mínimos quadrados.
- Regressão logística: a variável dependente é categórica (binária): 0 ou 1; verdadeiro ou falso etc. O ajuste dos parâmetros (coeficientes das variáveis independentes) é feito pelo método de máxima verossimilhança.

A regressão logística é uma técnica estatística que tem como objetivo produzir, a partir de um conjunto de observações, um modelo que permita a predição de valores tomados por uma variável categórica, frequentemente binária, a partir de uma série de variáveis explicativas contínuas e/ou binárias.

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Regress%C3%A3o_log%C3%ADstica (Acesso em 17/02/2022)

A Regressão Logística é uma análise que nos permite estimar a probabilidade associada à ocorrência de determinado evento em face de um conjunto de variáveis explanatórias. As vantagens desse tipo de regressão incluem:

- (a) facilidade para lidar com variáveis independentes categóricas;
- (b) fornece resultados em termos de probabilidade;
- (c) facilidade de classificação de indivíduos em categorias;
- (d) requer pequeno número de suposições; e
- (e) possui alto grau de confiabilidade.

Fonte: <https://medium.com/omixdata/estat%C3%ADstica-an%C3%A1lise-de-regress%C3%A3o-linear-e-an%C3%A1lise-de-regress%C3%A3o-log%C3%ADstica-com-r-a4be254df106> (Acesso em 17/02/2022)

A regressão logística é recomendada para situações em que a variável dependente é de natureza dicotômica ou binária. Quanto às variáveis independentes, tanto podem ser categóricas ou contínuas.

A regressão logística busca estimar a probabilidade da variável dependente assumir um determinado valor em função do conhecimento do valor de outras variáveis. Os resultados da análise ficam contidos no intervalo de zero a um (é uma probabilidade).

Na regressão logística, a probabilidade de ocorrência de um evento pode ser estimada diretamente. No caso da variável dependente Y assumir apenas dois valores (1 ou 0) e haver um conjunto de k variáveis independentes X_1, X_2, \dots, X_k , o modelo de regressão logística pode ser escrito da seguinte forma:

$$P(Y = 1) = \frac{1}{1+e^{-g(x)}} \quad (9)$$

Onde:

$$g(x) = \alpha + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k \quad (10)$$

Fonte:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3769787/mod_resource/content/1/09_RegressaoLogistica.pdf

Exemplos de aplicação da regressão logística em estudos de segurança viária podem ser encontrados em (LU et al, 2015) [19] e (Ahmed, 2017) [20], entre tantos outros.

4.4.5 Metodologia que compara o número esperado de acidentes com semáforo com o número esperado de acidentes sem semáforo

Desenvolvimento de metodologia baseada em estimativas do número esperado de acidentes com o semáforo e no número esperado de acidentes sem semáforo. O semáforo seria implantado se o número esperado de acidentes com semáforo fosse menor que o número esperado de acidentes sem semáforo.

Por exemplo, o trabalho poderia ser baseado na ideia do artigo “*Development of a Procedure for Estimating Expected Safety Effects of a Contemplated Traffic Signal Installation*” (Persaud, 2003) [8]:

O artigo procura responder duas questões:

- (a) Como pode ser estimada a melhoria na segurança após a instalação do semáforo?
- (b) Como o conhecimento do impacto da instalação de semáforos na segurança pode ser usado para tomar decisões sobre onde esses dispositivos podem ser justificados?

Para responder a essas duas perguntas, três tarefas precisam ser realizadas:

1. Desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes para interseções controladas por sinal de parada R-1
2. Desenvolvimento de um estudo dos efeitos de segurança dos semáforos já instalados
3. A utilização dos resultados das Tarefas 1 e 2 para desenvolver ferramentas de tomada de decisão.

Essas tarefas exigem a montagem de um extenso banco de dados consistindo por volume de tráfego, dados geométricos e de acidentes por vários anos para três conjuntos de interseções:

- (a) Aqueles convertidos de sinal "Pare" para semáforo
- (b) Um grupo de referência de cruzamentos semaforizados
- (c) Um grupo de referência de cruzamentos controlados por R-1

Modelos de previsão de acidentes são então estimados e um procedimento empírico de *Bayes* (EB) deve ser usado no desenvolvimento das ferramentas de tomada de decisão.

O procedimento empírico de *Bayes* (EB) é um método que visa eliminar do resultado a influência da regressão para a média.

Fundamental para o desenvolvimento das ferramentas é a estimativa da mudança na segurança em uma interseção controlada por R-1 se ela fosse semaforizada. A abordagem proposta consiste em três partes, a saber:

1. Usar as contagens de acidentes e os volumes de tráfego de um período recente para estimar o número esperado de acidentes do tipo evitável pelo semáforo que ocorreriam se não fosse implantado o semáforo na interseção. Modelos de previsão para cruzamentos controlados por R-1 seria usado aqui no procedimento EB.
2. Estimar o número esperado de acidentes que ocorreriam após a semaforização, usando modelos de previsão para cruzamentos controlados por semáforos.
3. Estimar a mudança esperada na segurança como sendo a diferença entre as Partes 1 e 2.

É necessário ressaltar a importância de realização e desenvolvimento de estudos sobre segurança de tráfego, baseados estritamente em métodos científicos apropriados, para a obtenção de resultados e respostas robustas, consistentes e condizentes com a realidade. Devido à natureza aleatória dos acidentes de trânsito, é imprescindível a utilização de métodos e modelos matemáticos e estatísticos adequados para o tratamento dos dados de acidentes.

4.4.6 Fator modificador de acidente (*Crash Modification Factor – CMF*)

Um Fator Modificador de Acidente (CMF) é um fator multiplicativo, usado para calcular o número esperado de acidentes após a implementação de uma determinada contramedida em um local específico. É definido como a razão entre a frequência de acidentes esperada com a melhoria sobre aquela sem a melhoria.

Se for conhecido o CMF de uma medida como a implantação do semáforo, então é possível estimar o impacto na redução de acidentes com a efetivação da medida. Um critério para a tomada de decisão se implanta ou não o semáforo pode ser baseado na escolha de um valor limite para o CMF.

Existe na literatura uma extensa bibliografia sobre o assunto. Por exemplo, uma parte completa do *Highway Safety Manual – HSM* (Part D) [24] é dedicado a CMFs. O artigo (Ming, 2022) [23] fornece mais detalhes sobre CMF, bem como uma relação bibliográfica sobre o tema.

5. ESCOLHA DE FATORES REPRESENTATIVOS PARA O ASPECTO FLUIDEZ

Os fatores representativos para o aspecto fluidez do Manual CET-2003 [1] são:

- Número de ciclos vazios durante a hora crítica
- Bloqueio de interseção durante a hora crítica
- Atraso com e sem semáforo

5.1 Número de ciclos vazios durante a hora crítica

Conforme Vilanova (s.d.) [4]:

“A exigência de que, se o semáforo for implantado, não ocorram mais de um certo número de ciclos sem veículos nas vias não preferenciais durante a hora crítica, procura substituir o critério geralmente encontrado na maioria dos manuais, de que o semáforo só deve ser instalado se existir um fluxo mínimo de veículos, que é pretensamente objetivo, mas, na verdade, peca pela falta de fundamentação ao afirmar que o fluxo mínimo tem de ser 100 ou 200 veículos por hora, sem qualquer justificativa lógica que embase tais números.”

“Quando é implantado um semáforo novo, a principal reação negativa vem dos motoristas que trafegam pela via preferencial. Até então eles passavam direto pela interseção sem se preocupar com a transversal e agora são obrigados a parar. A “bronca” vai ser muito maior, é claro, se durante seu tempo de espera no vermelho não constatarem nenhum veículo na via transversal” e que a sua espera foi totalmente desnecessária. “É um número tirado subjetivamente, mas tem-se noção do que esse número representa”.

Ninguém concordaria, por exemplo, em implantar um semáforo com 50% ou mais dos ciclos sem a chegada de nenhum veículo na via transversal.

O número de ciclos vazios foi uma importante inovação em relação a manuais internacionais que normalmente utilizam critérios de volumes mínimos. A principal desvantagem de critérios que utilizem volumes mínimos é que não se tem noção do que significam esses números. Por exemplo, o que significa 100 veículos por hora ou por que 100 e não 200?

O critério de ciclos vazios não pode ser aplicado se houver semáforos adjacentes próximos na via transversal, de forma que a chegada dos veículos na via transversal não seja aleatória, uma vez que o método do cálculo pressupõe que a chegada dos veículos na via transversal segue a distribuição de Poisson.

Neste sentido, seria recomendável fazer a complementação incluindo um critério para o caso de chegada de veículos da via transversal não ser aleatória.

O MBST-2014 [3] também adota o número de ciclos vazios como fator representativo da fluidez.

Não foi encontrado critério semelhante no MUTCD-2009 [2].

5.2 Bloqueio de interseção durante a hora crítica

Segundo Vilanova (s.d.) [4]:

“Há situações em que a instalação de um semáforo numa interseção é necessária, não porque exista algum fator determinante na interseção em si, mas porque a fila que remonta de um semáforo a jusante chega a bloquear a via transversal na interseção estudada. A solução, neste caso, é instalar, na interseção que sofre o bloqueio, um semáforo coordenado com o semáforo a jusante. A defasagem deve ser programada de tal forma que garanta que a fila do semáforo na frente não atinja a interseção a montante durante o estágio em que anda sua via transversal.”

O critério de bloqueio *“tem de ser aplicado com muito cuidado. É necessário que, realmente, o travamento ocorra de uma forma persistente durante a hora crítica para que se justifique o novo semáforo. Mesmo assim, pode-se objetar se é correto implantar o semáforo por causa de uma única hora de travamento se durante o resto do dia esse problema não mais ocorrer. É uma questão a ser amadurecida.”*

Não foi encontrado critério semelhante no MBST-2014 [3] e no MUTCD-2009 [2].

5.3 Atraso com e sem semáforo

Ainda citando Vilanova (s.d.) [4]:

“O cerne da metodologia do Manual CET-2003 [1], no que concerne ao aspecto de fluidez veicular, é a comparação entre os atrasos nas situações com e sem semáforo. De uma forma simplificada, ganha quem tiver menor atraso.”

O critério consiste em medir o atraso atual da interseção, estimar o atraso que será gerado se o semáforo for implantado e comparar os dois valores a fim de estabelecer qual das duas é a situação com melhor fluidez.

O conceito que se quer ponderar aqui é se a implantação do semáforo vai aumentar em muito o atraso total da interseção. Se a implantação do semáforo resultar em um aumento, em relação à situação sem semáforo, superior a um valor estabelecido, a decisão é pela não implantação do semáforo.

Por outro lado, existe outro fator que deve ser considerado. A implantação do semáforo se justifica se os veículos da via transversal têm dificuldades de entrar ou cruzar a via principal, sofrendo considerável atraso. O semáforo se justifica somente se puder beneficiar os veículos da via transversal. Portanto, o semáforo só se justifica se esses veículos forem efetivamente beneficiados. A fim de representar esta questão, não se recomenda a implantação se o atraso da via não preferencial não cair a menos de um certo valor do seu atraso na situação sem semáforo.

Nas palavras de Vilanova (s.d.) [4]:

No cálculo do atraso nas situações com e sem semáforo, leva-se “em conta que o tipo de espera que os motoristas sofrem nas duas situações não é da mesma natureza. Na situação semaforizada basta esperar despreocupadamente aparecer a luz verde. Na situação não semaforizada a espera é bem mais problemática: o motorista da via não preferencial é obrigado a avaliar continuamente o risco de aproveitar brechas na corrente de trânsito que pretende cruzar. Para refletir este desconforto, multiplica-se o atraso medido na via transversal na situação sem semáforo pelo fator 1,6 a fim de obter o atraso corrigido que é o valor que será efetivamente utilizado.”

“É interessante ressaltar o mérito da ponderação da espera sem semáforo pelo fator 1,6. Este número foi encontrado em estudos franceses¹⁰ e visa levar em conta a dificuldade e o desconforto que os motoristas da via não preferencial têm de enfrentar ao precisarem, continuamente, julgar se a próxima brecha é suficiente para eles passarem.”

“A fim de calcular o atraso que virá a ocorrer com eventual semaforização, duas situações têm de ser analisadas. Se o novo semáforo operar em modo isolado, é possível calcular manualmente seu tempo de ciclo, os tempos dos estágios e o consequente atraso de cada uma das vias. Entretanto, caso o novo equipamento seja incorporado a uma rede já existente, é impraticável estimar os atrasos manualmente. É imprescindível, então, simular o conjunto de semáforos coordenados, o que só pode ser feito com a ajuda de programas simuladores. Evidentemente, aumenta o trabalho de coleta de dados, pois terão de ser levantadas também as características dos semáforos vizinhos.”

Para efeitos de aplicação do método, “*não é necessário representar todos os semáforos da rede, o que pode ser bastante trabalhoso; como não se exige muita precisão, pois só se deseja obter a ordem de grandeza dos futuros atrasos, basta simular o conjunto formado pelo novo semáforo e os seus vizinhos imediatos*”.

Finalmente, deve-se ressaltar que não foi considerado o volume de veículos (volume da via principal versus volume da via transversal) como um fator representativo do aspecto de fluidez.

O MBST-2014 [3] não adota o atraso com e sem semáforo, usando apenas o atraso da via transversal na situação sem semáforo.

O MUTCD-2009 [2] não adota atraso como critério para a implantação de semáforo, com exceção do critério de hora pico (ver o item 6.4.3).

5.4 Resumo comparativo de critérios quanto aos fatores representativos do aspecto fluidez

a) Manual CET-2003 [1]

- Número de ciclos vazios durante a hora crítica.
- Bloqueio de interseção durante a hora crítica.
- Atraso com e sem semáforo.

b) MBST-2014 [3]

- Número de ciclos vazios durante a hora crítica.
- Atraso na via transversal na situação sem semáforo.

¹⁰ Não se conseguiu resgatar a referência desses estudos franceses e tampouco a origem do número 1,6.

c) MUTCD-2009 [2]

- Volume veicular da via principal e da via transversal.
- Atraso da via transversal.

Quadro resumo

Fator representativo	Manual CET-2003 [1]	MBST-2014 [3]	MUTCD-2009 [2]
Número de ciclos vazios durante a hora crítica	Sim	Sim	---
Bloqueio de interseção durante a hora crítica	Sim	---	---
Atraso com e sem semáforo	Sim	---	---
Atraso na via transversal na situação sem semáforo	---	Sim	Sim
Volume veicular	---	---	Sim

6. ESCOLHA DOS VALORES LIMITES PARA OS FATORES REPRESENTATIVOS DO ASPECTO FLUIDEZ

As razões para a definição dos valores limites dos fatores representativos do aspecto fluidez estão expostas nos itens 6.1, 6.2 e 6.3.

6.1 Número de ciclos vazios durante a hora crítica → valor limite: 2 ciclos ou mais

- Se o número de ciclos vazios durante a hora crítica for maior ou igual a 2: não implantar o semáforo
- Se o número de ciclos vazios durante a hora crítica for menor que 2: prosseguir com o próximo passo de verificação do atraso com e sem semáforo.

O MBST-2014 [3] estipula que o número de ciclos vazios por hora, na hora-pico, deve ser inferior a um limite estabelecido pelo projetista em função das características gerais de cada cidade. No entanto, em todas as situações, este limite deve ser menor ou igual a 10% do número de ciclos por hora (Página 57 MBST-2014 [3]).

No entanto, segundo o nosso entendimento, não se pode recomendar que o valor limite fique a critério de cada projetista, devendo ser único para a cidade.

Com a finalidade de fazer uma comparação entre o valor limite adotado pelo Manual CET-2003 [1] (2 ciclos vazios por hora) e pelo índice máximo do MBST-2014 [3] (10% dos ciclos por hora), faz-se um exercício com algumas simulações, conforme o quadro abaixo.

Tempo de ciclo	No. de ciclos por hora	Manual CET-2003 [1]		MBST-2014 [3]	
		No. Ciclos vazios	%	No. Ciclos vazios	%
50	72	2	2,78	7	10
60	60	2	3,33	6	10
70	51	2	3,89	5	10

Pelas simulações, verifica-se que o critério do Manual CET-2003 [1] é mais exigente que o índice máximo do MBST-2014 [3], ou seja, o Manual CET-2003 [1] exige que haja mais tráfego na via transversal (menos ciclos vazios) do que o índice máximo do MBST-2014 [3]. Por outro lado, deve-se considerar que o MBST-2014 [3] se aplica a qualquer cidade brasileira e que em cidades pequenas é possível que sejam mais adequados índices maiores do que aqueles aplicáveis para São Paulo. Daí, o MBST-2014 [3] ter flexibilizado o índice entre 0 e 10%. Porém, vale frisar novamente, uma vez escolhido o índice (entre 0 a 10%), este deveria ser único para toda a cidade, e não ficar a critério de cada projetista. Não faz muito sentido um projetista adotar um valor para um cruzamento e outro adotar um valor distinto em outro cruzamento na mesma cidade. No mínimo, deveria haver critérios que orientassem qual o valor a ser adotado.

A definição do valor limite de ciclos vazios em termos de porcentagem é mais coerente do que definir um valor fixo, que não muda com a duração do ciclo. Por exemplo, 2 ciclos vazios com ciclos de 50 s é diferente

de 2 ciclos vazios com ciclos de 90 s. A chance de não vir nenhum veículo em um ciclo de 90 s é muito menor do que em um ciclo de 50 s.

O MUTCD-2009 [2] não adota o número de ciclos vazios como fator representativo de fluidez.

6.2 Bloqueio de interseção durante a hora crítica → valor limite: se, durante a hora crítica, ocorrer uma fila constante e contínua, vinda de um semáforo a jusante, que bloqueie a via transversal

O critério deve ser aplicado independentemente dos critérios de ciclo vazio e do atraso com e sem semáforo.

- Se, durante a hora crítica, ocorrer uma fila constante e contínua, vinda de um semáforo a jusante, que bloqueie a via transversal: implantar o semáforo
- Se, durante a hora crítica, não ocorrer uma fila constante e contínua, vinda de um semáforo a jusante, que bloqueie a via transversal: prosseguir com o próximo passo de verificação do número de ciclos vazios durante a hora crítica.

Esse critério é algo subjetivo. O que é uma fila constante e contínua? A fila deve existir durante toda a hora crítica ou pode haver filas intermitentes, com diferentes durações? Talvez esse valor limite deveria ser melhor especificado.

O MBST-2014 [3] e o MUTCD-2009 [2] não adotam o bloqueio de interseção como fator representativo de fluidez.

6.3 Atraso com e sem semáforo → valores limites: atraso total = 120% e atraso da via transversal = 80%

Se houver menos de 2 ciclos vazios durante a hora crítica:

- Se o atraso total na situação com semáforo for igual ou maior que 120% do atraso total na situação sem semáforo: não implantar o semáforo.
- Se o atraso total na situação com semáforo for menor que 120% do atraso total na situação sem semáforo: prosseguir com o critério do atraso da via transversal.
- Se o atraso da via transversal na situação com o semáforo for igual ou maior que 80% do seu atraso na situação sem semáforo, já corrigido pelo fator 1,6: não implantar o semáforo.
- Se o atraso da via transversal na situação com o semáforo for menor que 80% do seu atraso na situação sem semáforo, já corrigido pelo fator 1,6: implantar o semáforo.

O MBST-2014 [3] não faz a comparação dos atrasos nas situações com e sem semáforo.

Em termos de atrasos, o MBST-2014 [3] não apresenta nenhum critério para o atraso total, ou seja, não importa se a implantação do semáforo vai ou não gerar um aumento significativo no atraso total da interseção em relação à situação sem semáforo.

Em termos de atraso na via transversal, o MBST-2014 [3] não faz ponderações se a implantação do semáforo vai reduzir o atraso da via transversal, gerando um benefício para os veículos que chegam na via transversal. O critério adotado para a implantação ou não do semáforo é se a via transversal apresentar um atraso (sem semáforo) – Página 58:

- Inferior a 6.000 veículos equivalentes x segundo por hora: não implantar semáforo (equivalente a 15 segundos de atraso sofrido por um volume de 400 veículos equivalentes por hora);
- Superior a 14.000 veículos equivalentes x segundo por hora: implantar o semáforo (equivalente a 35 segundos de atraso sofridos por um volume de 400 veículos equivalentes por hora);
- Entre 6.000 e 14.000 veículos equivalentes x segundo por hora, a decisão para implantação do semáforo fica condicionada a análises complementares por parte do técnico encarregado do estudo.

A ideia subjacente do critério do MBST-2014 [3] é que se o atraso na via transversal na situação sem semáforo for muito alto, então a implantação do semáforo irá reduzir esse atraso. Será que esse raciocínio é sempre verdadeiro?

O MBST-2014 [3] não informa a origem dos números propostos ou a sua justificação teórica. Dessa forma, fica difícil de compreender o que significam esses números, não permitindo aquilatar se eles vão produzir resultados consistentes ou não. Além disso, para os valores intermediários, entre 6.000 e 14.000, o MBST-2014 [3] não esclarece quais são as análises complementares e não fornece nenhum critério ou orientação a respeito.

Ao contrário, o critério do Manual CET-2003 [1] de 120% e 80% permite a compreensão exata do que significam os 80% e 120%. Não se implanta o semáforo se ele for provocar um aumento no atraso total da interseção maior ou igual a 20% (atraso igual a 120% em relação à situação sem semáforo). Somente será implantado o semáforo se, além de não superar em 120% no atraso total, o semáforo irá reduzir o atraso da via transversal em pelo menos 20% (atraso igual ou inferior a 80% em relação à situação sem semáforo). Dessa forma, consegue-se fazer um balanço do que se perde (aumento do atraso total) e o que se ganha (redução do atraso na via transversal) com a implantação do semáforo. Tendo-se a compreensão desse contexto, é possível fazer-se os ajustes, se necessário, nos valores limites (120% e 80%) para a produção de resultados que possam ser considerados consistentes e satisfatórios.

O MBST-2014 [3] faz o cálculo do atraso na via transversal usando simuladores. Na indisponibilidade do uso de simuladores, o MBST-2014 [3] recomenda a aplicação dos critérios de volume mínimo do MUTCD-2003 [5].

O MUTCD-2009 [2], no *Warrant 3* (critério de hora pico), considera um critério de atraso na via secundária, combinado com critérios de volume, de 4 veíc x hora para 1 faixa ou 5 veíc x hora para 2 faixas. Maiores detalhes podem ser vistos no item 6.4.3 adiante.

6.4 Critérios do aspecto fluidez do MUTCD-2009 [2]

O MUTCD-2009 [2] usa os seguintes critérios para o aspecto fluidez:

- Critério de 8 horas (*Warrant 1*) – Fator representativo: Volume
- Critério de 4 horas (*Warrant 2*) – Fator representativo: Volume
- Critério de hora pico (*Warrant 3*) – Fatores representativos: Atraso e volume
- Critério de progressão (*Warrant 6*) – Fator representativo: Coordenação
- Critério de rota (*Warrant 8*)

6.4.1 Critério de 8 horas (*Warrant 1*)

É fornecida a Tabela 4C-1 (Figura 5), onde constam duas “Condições”: A e B.

O critério de volume veicular mínimo da Condição A deve ser aplicado para locais onde há altos volumes de tráfego tanto na via principal como na via transversal.

O critério de volume veicular mínimo da Condição B é aplicável quando a Condição A não é satisfeita e onde o volume da via principal é tão alto que os veículos da via transversal não conseguem cruzar a interseção sem sofrer um atraso excessivo.

Note que o “espírito” da Condição B é reduzir o atraso da via transversal por meio da instalação do semáforo.

A instalação do semáforo estará justificada se for satisfeita a Condição A, ou a Condição B ou uma combinação das Condições A e B.

A necessidade do semáforo deve ser considerada se, em qualquer período de 8 horas de um dia médio, os volumes veiculares forem maiores ou iguais aos volumes da coluna de:

- 100% da Condição A da Tabela 4C-1 (Figura 5); ou
- 100% da Condição B da Tabela 4C-1 (Figura 5).

Opcionalmente, se a interseção estiver numa via onde a via principal esteja regulamentada (ou a velocidade de 85-percentil) com 40 mph (64 km/h) ou se a interseção estiver em uma comunidade isolada com menos de 10 mil habitantes, então pode ser usada a coluna de 70% da Tabela 4C-1 (Figura 5) em vez da Coluna de 100%.

Se as Condições A e B não forem satisfeitas, deve-se verificar a combinação das Condições A e B, isto é, se os volumes veiculares são maiores ou iguais aos volumes da coluna de:

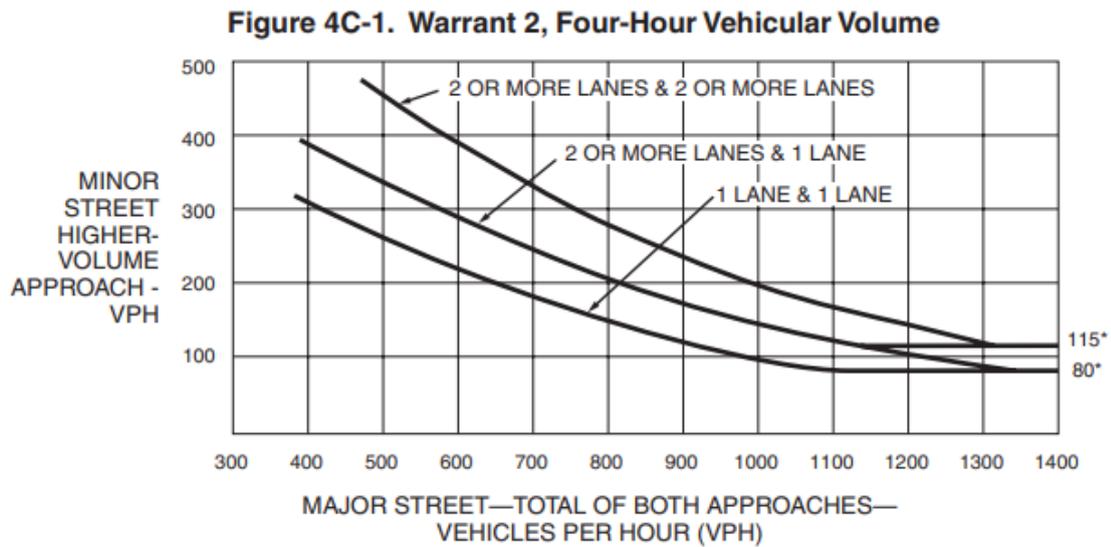
- 80% da Condição A da Tabela 4C-1 (Figura 5); e
- 80% da Condição B da Tabela 4C-1 (Figura 5).

No critério de combinação das Condições A e B, para justificar a necessidade do semáforo, é necessário o atendimento tanto de A como de B.

Deve ser considerado o mesmo período de 8 horas para o atendimento das Condições A e B. Na via transversal, o maior volume não precisa ser necessariamente na mesma aproximação em cada uma das 8 horas.

6.4.2 Critério de 4 horas (*Warrant 2*)

A necessidade de instalação de semáforo deve ser considerada se, para cada hora de um período de 4 horas de um dia médio, o ponto plotado que representa o volume total de todas as aproximações da via principal (veíc/h) e o volume na aproximação da via transversal de maior movimento ficar acima da curva aplicável na Figura 4C-1 do MUTCD-2009 [2] (Figura 8).



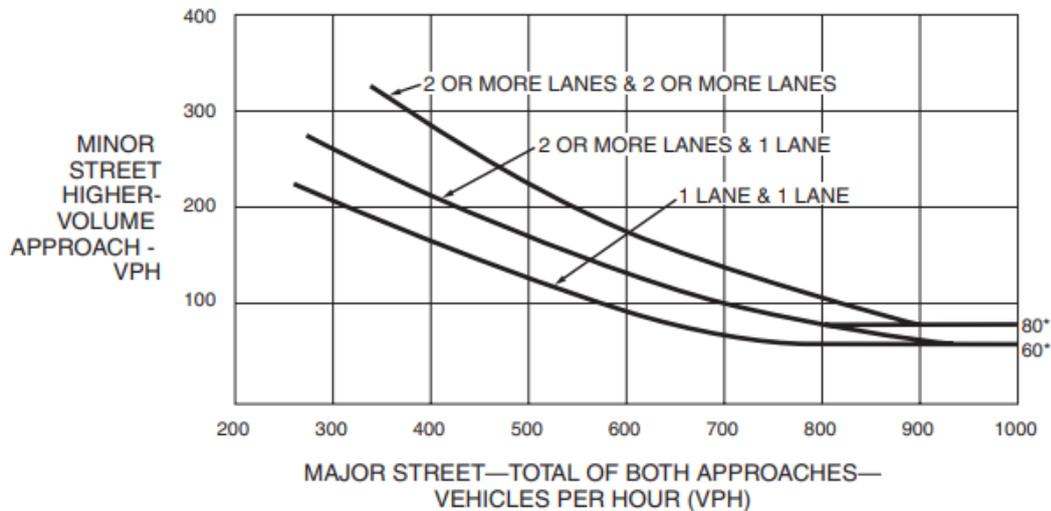
*Note: 115 vph applies as the lower threshold volume for a minor-street approach with two or more lanes and 80 vph applies as the lower threshold volume for a minor-street approach with one lane.

Figura 8 – Gráfico da Figura 4C-1 do MUTCD-2009 [2]

A Figura 4C-1 do MUTCD-2009 [2] (Figura 8) estabelece um volume mínimo de veículos na via transversal (aproximação de maior movimento com duas ou mais faixas) de 115 veíc/h e de 80 veíc/h para aproximações com uma faixa. Abaixo desses valores, não se justifica a implantação do semáforo, qualquer que seja o volume da via principal.

Opcionalmente, se a interseção estiver numa via onde a via principal esteja regulamentada (ou a velocidade de 85-percentil) com 40 mph (64 km/h) ou se a interseção estiver em uma comunidade isolada com menos de 10 mil habitantes, então pode ser usada a Figura 4C-2 (Figura 9) em vez da Figura 4C-1 (Figura 8).

Figure 4C-2. Warrant 2, Four-Hour Vehicular Volume (70% Factor)
(COMMUNITY LESS THAN 10,000 POPULATION OR ABOVE 40 MPH ON MAJOR STREET)



*Note: 80 vph applies as the lower threshold volume for a minor-street approach with two or more lanes and 60 vph applies as the lower threshold volume for a minor-street approach with one lane.

Figura 9 – Gráfico da Figura 4C-2 do MUTCD-2009 [2]

A Figura 4C-2 do MUTCD-2009 [2] (Figura 9) estabelece um volume mínimo de veículos na via transversal (aproximação de maior movimento com duas ou mais faixas) de 80 veíc/h e de 60 veíc/h para aproximações com uma faixa. Abaixo desses valores, não se justifica a implantação do semáforo, qualquer que seja o volume da via principal.

6.4.3 Critério de hora pico (Warrant 3):

O critério de hora pico é aplicável em locais onde há grande movimentação de veículos apenas em um curto período de tempo como em locais próximos a polos geradores de tráfego como complexo de escritórios, fábricas etc.

O semáforo estará justificado se for atendida qualquer uma das duas categorias abaixo (A ou B):

- A. Se todas as 3 condições seguintes (1, 2 e 3) existirem para a mesma hora (quaisquer 4 períodos consecutivos de 15 minutos) de um dia médio:
1. O atraso total experimentado pelo tráfego da via transversal (uma aproximação) com controle PARE for igual ou maior que: 4 veíc × hora para uma aproximação com uma faixa de tráfego ou 5 veíc × hora para uma aproximação com 2 faixas; e
 2. O volume da mesma aproximação da via transversal (um sentido) for igual ou maior que 100 veíc/h para uma faixa de tráfego ou 150 veíc/h para duas faixas de tráfego; e
 3. O volume total que entra na interseção (soma dos volumes de todas as aproximações) for igual ou maior que 650 veíc/h para interseções com 3 aproximações ou 800 veíc/h para interseções com 4 ou mais aproximações.

- B. O ponto que representa o volume da via principal (total das duas aproximações) e o volume na aproximação de maior movimento da via transversal (um sentido) por uma hora (quaisquer 4 períodos consecutivos de 15 minutos) de um dia médio ficar acima da curva aplicável da Figura 4C-3 (Figura 10).

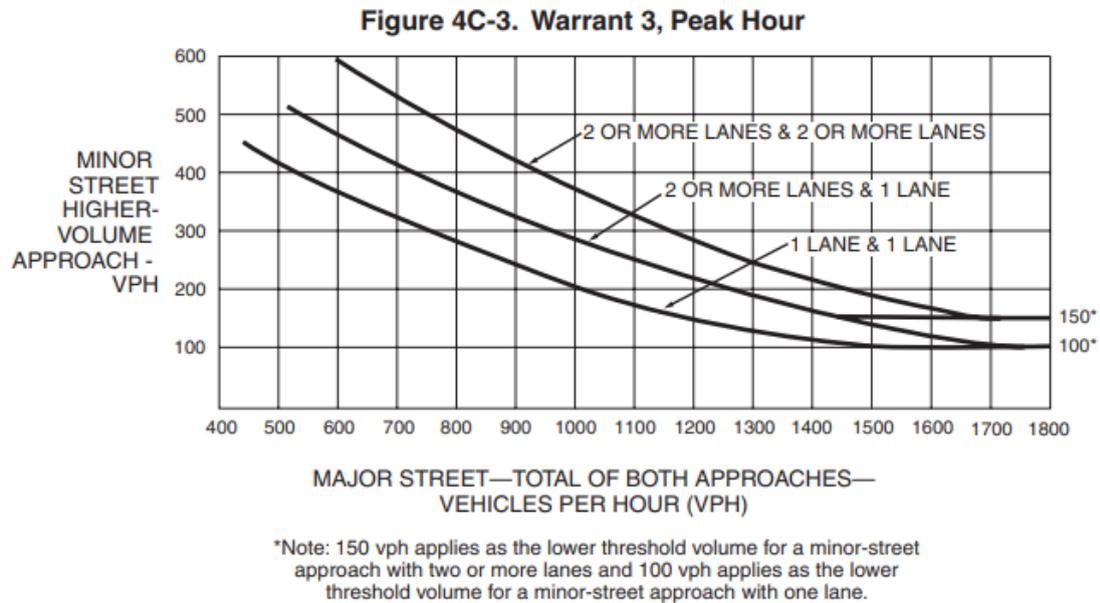


Figura 10 – Gráfico da Figura 4C-3 do MUTCD-2009 [2]

A Figura 4C-3 do MUTCD-2009 [2] (Figura 10) estabelece um volume mínimo de veículos na via transversal (aproximação de maior movimento com duas ou mais faixas) de 150 veíc/h e de 100 veíc/h para aproximações com uma faixa. Abaixo desses valores, não se justifica a implantação do semáforo, qualquer que seja o volume da via principal.

Opcionalmente, se a interseção estiver numa via onde a via principal esteja regulamentada (ou a velocidade de 85-percentil) com 40 mph (64 km/h) ou se a interseção estiver em uma comunidade isolada com menos de 10 mil habitantes, então pode ser usada a Figura 4C-4 (Figura 11) em vez da Figura 4C-3 (Figura 10) na avaliação da categoria B.

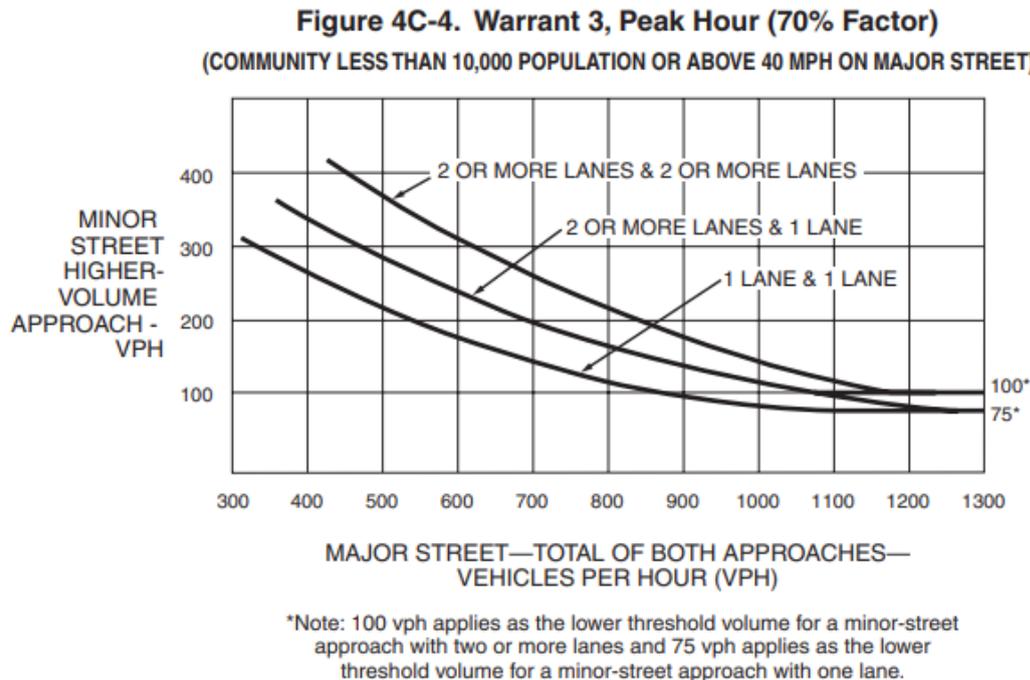


Figura 11 – Gráfico da Figura 4C-4 do MUTCD-2009 [2]

A Figura 4C-4 do MUTCD-2009 [2] (Figura 11) estabelece um volume mínimo de veículos na via transversal (aproximação de maior movimento com duas ou mais faixas) de 100 veíc/h e de 75 veíc/h para aproximações com uma faixa. Abaixo desses valores, não se justifica a implantação do semáforo, qualquer que seja o volume da via principal.

Se o critério de hora pico for o único critério atendido, então o semáforo pode operar no modo intermitente nas horas em que os volumes forem inferiores aos exigidos por este critério.

Se o critério de hora pico for o único critério atendido, então o semáforo deve operar no modo atuado.

6.4.4 Observação sobre os critérios de 8 horas, 4 horas e hora pico

Todos esses critérios consideram como fator representativo o volume de veículos. No caso do critério de hora pico, há uma condição que usa o atraso.

Não se conhece a origem e o embasamento dos valores e gráficos apresentados. Tampouco, não se tem a compreensão do que significam esses números. Fica-se, também, a dúvida se esses valores podem ser adequados para cidades brasileiras.

Sobre o critério de hora pico (*Warrant 3*), além do volume, o critério usa como fator representativo o atraso da via transversal:

- 4 veíc × hora para uma aproximação com uma faixa = 14.400 veíc × s
- 5 veíc × hora para uma aproximação com 2 faixas = 18.000 veíc × s

Dá-se a impressão de que os valores de atraso não estão compatíveis com os volumes mínimos exigidos. O critério usa os seguintes valores de volume mínimo para a via transversal:

- 100 veíc/h para uma faixa
- 150 veíc/h para duas faixas

Isso resulta em um atraso médio por veículo:

Para uma faixa: $14.400/100 = 144 \text{ s} = 2,4 \text{ minutos}$

Para duas faixas: $18.000/150 = 120 \text{ s} = 2 \text{ minutos}$

Atrasos de mais de 2 minutos por veículo parecem ser excessivos.

O MBST-2014 [3] usa o critério de atraso na via transversal de $14.000 \text{ veíc} \times \text{s}$ para um volume de 400 veíc/h, o que resulta em 35 s de atraso médio por veículo.

Outra observação a ser feita é que a unidade utilizada para volume de veículos é veículo. Uma possibilidade seria utilizar veículo equivalente, eventualmente com uma ponderação diferente da utilizada para a temporização semafórica. A ideia é baseada no fato de que um veículo da via transversal pode ter maior dificuldade em cruzar uma via principal com volume preponderante de veículos pesados (caminhões e ônibus) do que uma via só com veículos de passeio.

Além disso, o MUTCD-2009 [2] recomenda que bicicletas sejam contadas como veículos nos casos em que compartilha a via e como pedestres quando compartilha a travessia.

6.4.5 Critério de progressão (*Warrant 6*)

O semáforo pode ser justificado no caso de haver a necessidade de melhorar a progressão de forma a manter a chegada de veículos em pelotão, se for atendida uma das seguintes condições:

- A. Em uma via de sentido único ou numa via onde haja um sentido predominante de tráfego, o semáforo mais próximo estiver tão longe que não consegue fazer com que os veículos cheguem no semáforo seguinte com um nível de pelotão adequado para uma boa progressão; ou
- B. Em uma via de duplo sentido, os semáforos adjacentes não conseguem manter o grau adequado de pelotão (compactação do pelotão) e um semáforo no local em estudo vai prover uma melhor progressão.

Esse critério não poderá ser aplicado se a distância resultante entre os semáforos for menor que 1.000 pés (305 m).

Esse critério tem caráter subjetivo, pois como seria definido “grau adequado de pelotão” ou uma “boa progressão”?

6.4.6 Critério de rota (*Warrant 8*)

Instalar um semáforo numa interseção pode ser justificada para concentrar e organizar o fluxo de tráfego numa rede.

O semáforo pode ser instalado se a interseção estiver numa rota principal e atender uma das seguintes condições:

- A. O volume total (soma de todas as aproximações), existente ou projetado, for de pelo menos 1.000 veíc/h durante a hora pico de um típico dia útil e tiver um volume projetado por 5 anos que atenda um ou mais dos *Warrants* 1, 2 e 3; ou
- B. O volume total (soma de todas as aproximações) for de pelo menos 1.000 veíc/h em cada hora de um período qualquer de 5 horas de um dia não útil (sábado ou domingo).

A rota deve apresentar no mínimo uma das seguintes características:

1. É uma parte da rede que atende o fluxo de passagem.
2. É uma rota rural ou suburbana entrando ou atravessando a cidade.
3. É uma importante rota em um plano oficial de planejamento urbano ou estudo de transporte.

Não foi possível compreender as Condições A e B exigirem o mesmo volume de 1.000 veíc/hora para dia útil e sábado/domingo, respectivamente. Ainda mais, por que no fim de semana deve-se ter esse volume para cada uma das 5 horas, enquanto para dia útil esse volume é exigido apenas para a hora pico?

6.5 Resumo comparativo de critérios quanto aos valores limites dos fatores representativos do aspecto fluidez

a) Manual CET-2003 [1]

- Número de ciclos vazios: 2 ou menos.
- Bloqueio de interseção durante a hora crítica: fila constante e contínua.
- Atraso com e sem semáforo:
 - Atraso total com semáforo $\leq 120\%$ do atraso total sem semáforo.
 - Atraso na via transversal com semáforo $\leq 80\%$ do atraso na via transversal sem semáforo.

Observação: Para a implantação do semáforo é necessário:

- ✓ O atendimento do critério do bloqueio de interseção durante a hora crítica; ou
- ✓ O atendimento simultâneo do critério de número de ciclos vazios e do atraso com e sem semáforo.

b) MBST-2014 [3]

- Número de ciclos vazios: 10% ou menos do total de ciclos por hora, a critério do projetista.
- Atraso na via transversal sem semáforo:
 - ≤ 6.000 veíc \times s por hora: não implantar semáforo;
 - > 14.000 veíc \times s por hora: implantar o semáforo;
 - Entre 6.000 e 14.000 veíc \times s por hora: análises complementares.

c) MUTCD-2009 [2]

• Critério de 8 horas (*Warrant 1*):

- Coluna de 100% da Condição A da Tabela 4C-1 ([Figura 5](#)); ou
- Coluna de 100% da Condição B da Tabela 4C-1 ([Figura 5](#)).

Ou

- 80% da Condição A da Tabela 4C-1 ([Figura 5](#)); e
- 80% da Condição B da Tabela 4C-1 ([Figura 5](#)).

• Critério de 4 horas (*Warrant 2*):

- Figura 4C-1 do MUTCD-2009 [2] ([Figura 8](#)).

• Critério de hora pico (*Warrant 3*):

- 4 veíc × hora para uma aproximação com uma faixa de tráfego ou 5 veíc × hora para uma aproximação com 2 faixas; e
- Volume da via transversal (um sentido): 100 veíc/h para uma faixa de tráfego ou 150 veíc/h para duas faixas de tráfego; e
- Volume total que entra na interseção: 650 veíc/h para interseções com 3 aproximações ou 800 veíc/h para interseções com 4 ou mais aproximações.

Ou

- Volume da via principal (total das duas aproximações) e o volume na via transversal (um sentido): Figura 4C-3 ([Figura 10](#)).

• Critério de progressão (*Warrant 6*)

- Coordenação

• Critério de rota (*Warrant 8*)

- Volume total: 1.000 veíc/h durante a hora pico (dia útil) e *Warrants 1, 2 e 3*; ou
- Volume total: 1.000 veíc/h em cada hora de um período qualquer de 5 horas de um dia não útil (sábado ou domingo).

Quadro resumo

Fator representativo	Manual CET-2003 [1]	MBST-2014 [3]	MUTCD-2009 [2]
Número de ciclos vazios durante a hora crítica	2	0 a 10% a critério do projetista	---
Bloqueio de interseção durante a hora crítica	Fila constante e contínua	---	---
Atraso com e sem semáforo	Atraso total: 120% Atraso na via transversal: 80%	---	---
Atraso na via transversal na situação sem semáforo	---	14.000 veíc × s por hora	---
Critério de 8 horas: Volume veicular Tabela 4C-1 (Figura 5) Warrant 1	---	---	<ul style="list-style-type: none"> • Coluna de 100% da Condição A; ou • Coluna de 100% da Condição B Ou • Coluna de 80% da Condição A; e • Coluna de 80% da Condição B
Critério de 4 horas: Volume veicular Warrant 2	---	---	(Figura 8)
Critério de hora pico: Volume veicular – Via transversal Warrant 3	---	---	<ul style="list-style-type: none"> • 100 veíc/h para uma faixa • 150 veíc/h para duas faixas
Critério de hora pico: Volume veicular – Volume total Warrant 3	---	---	<ul style="list-style-type: none"> • 650 veíc/h para 3 aproximações • 800 veíc/h para 4 ou mais aproximações
Critério de hora pico: Atraso Warrant 3	---	---	<ul style="list-style-type: none"> • 4 veíc × hora para uma aproximação com uma faixa • 5 veíc × hora para uma aproximação com 2 faixas
Critério de progressão Warrant 6	---	---	Coordenação
Critério de rota Warrant 8	---	---	<ul style="list-style-type: none"> • 1.000 veíc/h durante a hora pico (dia útil) e Warrants 1, 2 e 3 • 1.000 veíc/h em cada hora de um período qualquer de 5 horas de um dia não útil (sábado ou domingo)

7. ESCOLHA DE FATORES REPRESENTATIVOS PARA O ASPECTO TRAVESSIA DE PEDESTRES

O Manual CET-2003 [1] não aborda a questão de colocação de estágio exclusivo de pedestres em interseções já semaforizadas. Tampouco aborda a questão de colocação de grupo focal de pedestres em interseções já semaforizadas.

Entendeu-se que essas questões são mais compatíveis com o manual de projetos de sinalização semaforica.

O Manual CET-2003 [1] se restringe a critérios para colocar semáforo novo com abordagem relativa ao aspecto travessia de pedestres. Esses critérios abrangem tanto interseções (não semaforizadas) como travessias de meio de quadra.

Atendidos os critérios do aspecto travessia de pedestres, recomenda-se que, antes da decisão de implantação de semáforo, seja verificada a possibilidade de soluções alternativas, mais adequadas que o semáforo, para a solução do problema.

Em caso de interseção, não havendo solução alternativa, a implantação deve ser feita apenas com os dois estágios veiculares e que se mantenha um período de acompanhamento posterior que pode vir a indicar, em alguns casos, a necessidade do estágio exclusivo para pedestres ou de travessias recuadas.

A implantação de um semáforo numa interseção motivada apenas pelo atendimento aos pedestres não pressupõe que seja obrigatório criar um estágio específico de pedestres.

Na grande maioria dos casos, só o controle dos veículos já permite que os pedestres tenham suas necessidades resolvidas, pois poderão atravessar junto com os movimentos de conversão das transversais.

A passagem abrupta da situação não semaforizada para uma condição com três estágios (dois veiculares e um exclusivo para os pedestres) aumenta exagerada e desnecessariamente o atraso, tanto dos veículos como também dos próprios pedestres.

Os fatores representativos adotados pelo Manual CET-2003 [1] para o aspecto travessia de pedestres são:

- Travessia crítica
- Volume de pedestres mínimo em pelo menos uma travessia
- Tempo de espera de pedestres

7.1 Travessia crítica

A travessia crítica é um fator representativo em que não existe associado um valor limite numérico.

A ideia da identificação da travessia crítica é otimizar trabalho, tempo e recursos. Em vez de fazer pesquisas e estudos em todas as travessias, faz-se apenas na travessia crítica. Se a travessia crítica justificar a semaforização, então é dispensável a pesquisa e análise nas demais travessias. Se a travessia crítica não

justificar a semaforização, então as demais travessias, por não serem mais críticas que a travessia crítica, também não demandarão a semaforização, dispensando pesquisas e estudos nessas travessias.

O MBST-2014 [3] também considera a travessia crítica.

O MUTCD-2009 [2] considera a travessia na via principal ou de meio de quadra.

7.2 Volume de pedestres mínimo em pelo menos uma travessia

Conforme Vilanova (s.d.) [4]:

“É um critério bastante polêmico, mas se não fosse adotado, levaria à proliferação exagerada de semáforos. Levando ao extremo, não parece ser adequado instalar um semáforo num local em que apenas uma pessoa por hora necessita realizar a travessia, por mais difícil que ela seja”.

Isso porque a semaforização sempre traz impactos negativos em termos de atrasos e tempos de espera, inclusive para os próprios pedestres. Assim, não seria uma boa solução de Engenharia se, por causa de pouquíssimos pedestres, causar um grande prejuízo para uma grande parte de usuários.

Ainda transcrevendo Vilanova (s.d.) [4]:

“Neste caso, é mais justo que esta pessoa faça a travessia noutra local, mesmo que um pouco mais afastado. A questão, então, reside em chegar a um acordo sobre qual é o valor deste fluxo mínimo”.

Quando o semáforo é instalado com poucos pedestres, vai haver muitos ciclos em que não há pedestres, gerando atrasos desnecessários além de induzir desrespeito pelos condutores.

Não custa refrisar que um semáforo instalado indevidamente pode provocar mais acidentes e gerar grande impacto em atrasos e tempos de espera para todos os usuários, incluindo os pedestres, num esquema em que “todos perdem e ninguém ganha”.

Pode-se argumentar que, em termos de segurança, deve-se considerar qualquer fluxo, mesmo que seja um único pedestre. No entanto, nesse ponto da aplicação dos critérios, o aspecto segurança já foi previamente avaliado, sendo que o método não prevê nenhum volume mínimo de pedestres para a análise da segurança.

O MBST-2014 [3] não utiliza o volume de pedestres como fator representativo do aspecto travessia de pedestres.

No MUTCD-2009 [2] o volume mínimo de pedestres está implícito no *Warrant 4*.

7.3 Tempo de espera de pedestres (dificuldade de travessia)

Ainda segundo Vilanova (s.d.) [4]:

“É interessante comentar como se chegou a este critério. De início, pensou-se em seguir a linha de comparar os tempos de espera dos pedestres nas situações com e sem semáforo. Logo se percebeu que esse caminho não levaria a lugar nenhum, pois a espera do pedestre na situação semaforizada é sempre muito maior do que na situação sem semáforo, por mais difícil que seja a travessia atual.”

“A próxima tentativa foi a de medir a espera média de todos os pedestres amostrados e comparar com um valor limite estabelecido. Se a média fosse maior do que esse valor limite, o semáforo estaria justificado. Entretanto, quando se partiu para ensaiar este critério, aplicando-o ao conjunto de locais que estava servindo de teste, não se conseguiu convergir para tal valor limite. Um número que atendia muito bem alguns locais deixava de atender outros tantos. Ao analisar as amostras, percebeu-se que o fator complicador era a grande dispersão dos tempos de espera. O que acontece, na prática, é que, mesmo em travessias difíceis, existe um número grande de pedestres que espera muito pouco para atravessar; geralmente são jovens, que justamente por saberem que vai demorar muito para conseguir uma brecha adequada, saem correndo no meio dos carros, rebaixando muito a média dos tempos de espera.”

“A fim de superar a distorção provocada pelas travessias temerárias, resolveu-se considerar apenas os tempos das pessoas que demoram mais para iniciar a travessia, pois estes guardam uma correlação mais apropriada com a dificuldade da travessia. Adotam-se as doze travessias mais demoradas, mas antes se aplica uma depuração estatística, expurgando-se os valores que superam demasiadamente a média das doze amostras consideradas, pois acabam distorcendo o valor limite que melhor representa o grupo”.

O resultado obtido por meio do método de medição com a escolha das doze travessias mais demoradas não representa o tempo médio de espera do pedestre. De fato, a implantação do semáforo vai gerar um aumento do tempo de espera do pedestre. Então, não faz sentido em fazer o tempo de espera do pedestre como um parâmetro para implantar ou não o semáforo. O objetivo real do semáforo é facilitar a travessia e não reduzir o tempo de espera. Assim, sugere-se mudar o nome do fator representativo de tempo de espera para dificuldade de travessia. O fator que representa a dificuldade de travessia seria medido pelas 12 travessias mais demoradas.

O MBST-2014 [3] não adota o tempo de espera de pedestres ou a dificuldade de travessia conforme o formato definido pelo Manual CET-2003 [1]. Em seu lugar, adota o atraso de pedestres.

O MUTCD-2009 [2] adota dois fatores representativos para o aspecto travessia de pedestres: (1) volume de veículos e pedestres (*Warrant* 4) e travessia de escolares (*Warrant* 5). O volume mínimo de pedestres entra implicitamente no *Warrant* 4.

7.4 Resumo comparativo de critérios quanto aos fatores representativos do aspecto travessia de pedestres

a) Manual CET-2003 [1]

- Travessia crítica
- Volume de pedestres mínimo em pelo menos uma travessia crítica
- Tempo de espera de pedestres (dificuldade de travessia)

b) MBST-2014 [3]

- Travessia crítica
- Atraso de pedestres

c) MUTCD-2009 [2] (maiores detalhes ver o item 8.4)

- Volume de veículos e pedestres – *Warrant 4*
- Travessia de escolares – *Warrant 5*
 - Volume mínimo de pedestres
 - Número de brechas

Quadro resumo

Fator representativo	Manual CET-2003 [1]	MBST-2014 [3]	MUTCD-2009 [2]
Travessia crítica	Sim	Sim	---
Volume de pedestres	Sim	---	Sim*
Tempo de espera de pedestres (dificuldade de travessia)	Sim	---	---
Volume de veículos e pedestres (<i>Warrant 4</i>)	---	---	Sim
Atraso de pedestres	---	Sim	---
Travessia de escolares: Volume de pedestres	---	---	Sim
Travessia de escolares: número de brechas	---	---	Sim

* Implicitamente no *Warrant 4*.

8. ESCOLHA DOS VALORES LIMITES PARA OS FATORES REPRESENTATIVOS DO ASPECTO TRAVESSIA DE PEDESTRES

As razões para a definição dos valores limites dos fatores representativos do aspecto travessia de pedestres do Manual CET-2003 [1] estão expostas nos itens 8.1, 8.2 e 8.3.

8.1 Travessia crítica → critério qualitativo

Segundo Vilanova (s.d.) [4]:

“Se o local em estudo for uma seção no meio de uma quadra, deve-se identificar o trecho em torno da seção onde ocorre a maior parte das travessias”.

“Se o local em estudo for uma interseção, deve-se identificar quais são as travessias críticas. As travessias críticas não são caracterizadas apenas pelo maior fluxo de pedestres, mas, principalmente, pela dificuldade encontrada para sua realização. Numa interseção, pode haver uma ou mais travessias críticas. Em caso de dúvida, recomenda-se aplicar o método a todas as travessias que possam ser consideradas candidatas a críticas”.

Contudo, antes de examinar a(s) travessia(s) em estudo, convém analisar se há locais próximos e apropriados para a travessia.

Segundo as palavras de Vilanova (s.d.) [4]:

“Não faz sentido instalar uma travessia semaforizada, se já existir um semáforo próximo que possa ser utilizado pelos pedestres. Em princípio, pode-se considerar desnecessário implantar uma travessia se já existir um semáforo, a menos de 50 metros do local em estudo, que propicie a travessia da via crítica. Neste caso, através de dispositivos de canalização e sinalização, os pedestres devem ser orientados a atravessar no semáforo existente”.

“O limite de 50 metros é meramente referencial. Deve ser avaliado, caso a caso, em função das características particulares de cada local. Os principais fatores, além da distância em si, que devem ser considerados nessa avaliação são:

- ✓ *As condições da travessia no semáforo existente – de nada adianta existir uma travessia se for mais insegura do que a projetada no local em estudo;*
- ✓ *Aclividade – às vezes, a distância não é grande, mas o terreno é em aclive, desestimulando o pedestre a dirigir-se para a travessia alternativa;*
- ✓ *Largura da calçada – a largura da calçada pode não comportar adequadamente o volume de pedestres;*
- ✓ *Condições de conservação da calçada – calçadas não pavimentadas, com buracos e obstáculos desestimulam a circulação dos pedestres;*
- ✓ *Volume de pedestres – o volume de pedestres pode ser excessivamente elevado para que possa ser conduzido e canalizado para travessias próximas”.*

O MUTCD Edição de 2003 [5] estabelecia que o critério de Fluxo de Pedestres não deve ser aplicado em locais cuja distância ao semáforo mais próximo seja inferior a 90 m (300 pés) na mesma via em que a travessia está sendo avaliada. Essa distância de 300 pés foi mantida no MUTCD-2009 [2].

O MBST-2014 [3] faz as seguintes considerações para a identificação da(s) travessia(s) crítica(s) (Página 53):

“No estudo de travessias de pedestres em meio da quadra, deve-se considerar que a travessia crítica ocorre na seção onde os pedestres têm mais dificuldade para atravessar ou o número de pedestres cruzando a via é maior. O estudo, quando em intersecção, deve considerar esses mesmos aspectos, separadamente, para cada uma das travessias existentes. Essa análise é feita, qualitativamente, a partir de vistorias no local. Geralmente, existe uma ou duas travessias críticas por intersecção. Entretanto, independentemente da quantidade de travessias críticas identificada em uma determinada intersecção, os critérios definidos serão aplicados individualmente a cada travessia e não à soma dos fluxos ou à média dos atrasos de todas elas.”

“A identificação de travessias críticas deve levar em conta, também, aspectos de segurança. As travessias em locais que ofereçam perigos adicionais aos pedestres, seja devido às condições geométricas, seja por causa da velocidade dos veículos, também são consideradas críticas. O mesmo se aplica a locais de travessia utilizados por pedestres cujo deslocamento requer proteção especial (estudantes de escolas de ensino fundamental, frequentadores de instituições de saúde, portadores de necessidades especiais, etc.).”

O MUTCD-2009 [2], conforme dito anteriormente, menciona apenas travessias na via principal e de meio de quadra.

8.2 Volume mínimo de pedestres → valor limite: 190 pedestres/hora em pelo menos uma travessia

O requisito estabelece que será tomada a decisão de não implantar o semáforo se não existir, pelo menos, uma travessia crítica em que o volume de pedestres na hora crítica, considerando os dois sentidos da travessia, for igual ou superior a 190 pedestres/hora. Deve ficar claro que não se trata de somar os volumes de várias travessias, mas de considerar cada travessia independentemente.

Segundo Vilanova (s.d.) [4]:

“A duração da pesquisa deve ser suficiente para permitir identificar qual é o intervalo de uma hora mais crítico do dia.”

“Em travessias de meio de quadra, recomenda-se que a contagem seja feita numa faixa de aproximadamente 50 metros em torno da linha predominante de desejo da travessia (25 metros para cada lado). A distância de 50 metros atende à maioria dos casos, mas pode variar de um lugar para outro, de acordo com características particulares de cada local.”

“Nas interseções, a contagem dos pedestres deve ser feita em cada uma das travessias julgadas críticas.”

O número 190 foi validado após a aplicação do método no conjunto de locais que serviram de teste.

Caso o requisito de volume mínimo for atendido, o semáforo somente será instalado se o próximo passo de tempo de espera também for cumprido.

O número 190 também aparece no *Warrant 4* do MUTCD Edição de 2003 [5], no critério de 1 hora (100 pedestres/hora para qualquer período de 4 horas e 190 pedestres/hora para qualquer período de uma hora). O número 190 já não aparece no MUTCD-2009 [2].

No MUTCD-2009 [2]:

- **Figura 6** (Critério de 4 horas – *Warrant 4*): volume mínimo de 107 pedestres/hora;
- **Figura 7** (Critério de hora pico – *Warrant 4*): volume mínimo de 133 pedestres/hora;
- **Figura 12** (Critério de 4 horas – Fator de 70% – *Warrant 4*): volume mínimo de pedestres de 75 pedestres/hora;
- **Figura 13** (Critério de hora pico – Fator de 70% – *Warrant 4*): volume mínimo de pedestres de 93 pedestres/hora.

Maiores detalhes sobre o volume mínimo de pedestres do MUTCD-2009 [2] podem ser vistos no item 8.4.1

O MBST-2014 [3] não adota o critério de volume mínimo de pedestres.

O procedimento do MUTCD-2009 [2] está detalhado no item 8.4, onde o volume mínimo de pedestres é uma consequência da aplicação do *Warrant 4*.

8.3 Tempo de espera de pedestres (dificuldade de travessia) → valor limite: 25 segundos

De acordo com Vilanova (s.d.) [4]:

“À primeira vista poderia parecer que para medir o tempo que um pedestre espera para atravessar, basta cronometrar o tempo que decorre entre ele chegar à beira da calçada, junto à travessia e iniciá-la efetivamente. Entretanto, alguns aspectos práticos não recomendam este procedimento: frequentemente, o pedestre inicia a travessia, mas logo depois desiste e volta para a calçada. Há também casos em que o pedestre aguarda a passagem de um veículo no meio da travessia. Por isso, é preferível medir o tempo decorrido entre o pedestre chegar à beira de uma calçada e atingir a calçada oposta; no método este intervalo é denominado “tempo total de travessia”. Desse tempo desconta-se o tempo efetivamente gasto na travessia e obtém-se, conseqüentemente, o tempo de espera.”

“Para simplificar a explicação da operacionalização da pesquisa, pode-se imaginar um ponto A numa calçada e um ponto B na calçada oposta. Tem-se, então, uma travessia de A para B e outra de B para A. Denomina-se tempo efetivo de travessia ao intervalo gasto para efetuar a transposição da pista entre os pontos A e B.”

“A primeira tarefa consiste em medir os tempos efetivos de travessia entre os pontos A e B e, também, entre B e A. Isto é necessário, pois costumam apresentar valores bastante distintos entre si. A travessia que é feita de costas para o movimento de conversão da via transversal é, normalmente, bastante superior à que é feita de frente para tal movimento. Recomenda-se, para cada um deles, que seja feita a média do tempo da travessia de 10 pedestres que tenham atravessado em condições normais, sem correr e sem se expor a perigos.”

“A próxima tarefa consiste em determinar o tempo total de travessia. Para isso, devem-se medir 60 amostras, divididas proporcionalmente ao volume de pedestres em cada sentido.”

“A fim de garantir a aleatoriedade da amostra, deve-se adotar uma regra fixa para eleger quais pedestres servirão de amostra; uma possível regra é escolher o primeiro pedestre que aparecer, assim que terminar a leitura da amostra anterior.”

“Dos sessenta tempos coletados, escolhem-se os doze maiores. Calcula-se a média aritmética e o desvio-padrão dessas doze medidas. A fim de expurgar amostras com tempos excepcionalmente elevados, eliminam-se as amostras cujos valores superarem a soma da média com dois desvios padrão e providencia-se sua substituição pelas maiores medidas seguintes, de forma a continuar com doze amostras. Efetua-se este processo de depuração uma única vez. As doze medidas finais serão denominadas de amostras escolhidas.”

“Calcula-se a média aritmética dos tempos das amostras escolhidas. Deste valor, subtrai-se o tempo efetivo de travessia, obtendo-se um valor que representa a espera média dos tempos dos pedestres que enfrentaram maiores dificuldades.”

“O critério proposto determina que, se em alguma travessia, a média dos tempos dos pedestres que **enfrentaram maiores dificuldades**,” obtida por meio do procedimento descrito, for maior ou igual “ao valor limite de 25 segundos, deve-se implantar o semáforo. Caso contrário, deve-se analisar a necessidade da implantação de um projeto não semafórico.”

O MBST-2014 [3] adota o critério de 4.750 pedestres x segundo por hora, que corresponde a um tempo médio de espera de 25 segundos para um volume de 190 pedestres/hora. Segundo o MBST-2014 [3], esse critério permite contemplar com sinalização semafórica travessias onde o volume de pedestres é inferior ao valor de referência, mas sofre atrasos elevados, seja devido à intensidade do volume de veículos ou às características geométricas do local, seja pela presença de pedestres com velocidade de travessia reduzida.

Os dois critérios (Manual CET-2003 [1] e MBST-2014 [3]) são praticamente equivalentes, divergindo, entretanto, em situações como:

- Situação com alto volume de pedestres e baixo tempo de espera (linha 1 da tabela abaixo)
- Situação com baixo volume de pedestres e alto tempo de espera (linha 2 da tabela abaixo)
- Situações intermediárias onde o volume de pedestres e/ou tempo de espera estejam próximos dos valores limites (linhas 3 e 4 da tabela abaixo).

	F	E	$V \times E$	Manual CET-2003 [1]	MBST-2014 [3]
1	500	10	5000	N	S
2	10	500	5000	N	S
3	250	20	5000	N	S
4	180	30	5400	N	S

Na tabela:

V = volume de pedestres em pedestres/hora;

E = tempo de espera em segundos;

N = não atende critério para implantação de semáforo;

S = atende critério para implantação de semáforo.

No caso da linha 1 (alto volume de pedestres e baixo tempo de espera), o baixo tempo de espera significa que há muitas brechas no tráfego veicular. A colocação do semáforo nessas condições pode ser inócua, pois os pedestres irão realizar a travessia assim que surgir a brecha, independentemente da sinalização semafórica. Daí a importância de um valor limite para o tempo de espera.

No caso da linha 2 (baixo volume de pedestres e alto tempo de espera), parece ser contraintuitiva a colocação de semáforo. Na maior parte dos ciclos não haverá pedestres. É o caso típico de travessia em uma via expressa, onde há poucos pedestres e não há brechas. A travessia em nível torna-se perigosa, mesmo com semáforo.

O procedimento para a medição do tempo de espera de pedestre do MBST-2014 [3] é diferente do preconizado pelo Manual CET-2003 [1] e está descrito no Apêndice 2, Página 257.

Nos casos intermediários (linhas 3 e 4 da tabela) pode parecer que o critério do Manual CET-2003 [1] não seja adequado. Entretanto, deve-se lembrar que o tempo de espera do Manual CET-2003 [1] não é o tempo médio de espera por pedestre, mas sim, a média das 12 travessias mais demoradas. Na realidade, os 20 e 30 segundos das linhas 3 e 4 da tabela correspondem a tempos médios de espera muito menores. A diferença entre os tempos de espera do Manual CET-2003 [1] e MBST-2014 [3] está detalhada a seguir.

O método do MBST-2014 [3] segue um procedimento estatístico de determinação do número de amostras, nível e intervalo de confiança e erro amostral, tornando os cálculos mais complexos. Entretanto, não toma os cuidados para evitar as distorções que são encontradas na prática e que desvirtuam o resultado. O resultado obtido pelo procedimento do MBST-2014 [3] representa o tempo médio de espera de pedestre e não a dificuldade de travessia como no procedimento do Manual CET-2003 [1].

O procedimento preconizado pelo Manual CET-2003 [1] toma o devido cuidado para evitar as distorções e os cálculos são mais simples, tornando o método mais prático.

O tempo de espera de 25 segundos calculado pelo procedimento do Manual CET-2003 [1] não pode ser comparado com os mesmos 25 segundos calculado pelo procedimento do MBST-2014 [3]. De fato, o método adotado pelo Manual CET-2003 [1] não usa os procedimentos estatísticos de amostragem e nível de confiança, uma vez que, no cálculo final não são usadas amostras aleatórias, mas são selecionadas as 12 amostras correspondentes aos maiores tempos de espera. Por isso, para um resultado de 25 segundos pelo método do Manual CET-2003 [1], se fosse usado o método do MBST-2014 [3] provavelmente o resultado seria um tempo de espera bem menor. Conforme já exposto, o resultado obtido pelo procedimento do MBST-2014 [3] representa o tempo médio de espera do pedestre, enquanto o resultado obtido pelo procedimento do Manual CET-2003 [1] representa o grau de dificuldade de travessia. Portanto, são números não comparáveis entre si.

Dessa forma, se for utilizado o procedimento do MBST-2014 [3] para a obtenção do tempo de espera de pedestre, o valor de 4.750, obtido usando-se os valores de referência do Manual CET-2003 [1] (190 pedestres/hora e 25 segundos) fica sem parâmetro para a cidade de São Paulo, sendo o seu impacto desconhecido (uma vez que o valor 25 foi obtido por meio de outra metodologia e possui um significado distinto). Ou seja, 4.750 seria um valor que teria que ser ainda validado pela experiência e pela aplicação do modelo em São Paulo se for utilizado o procedimento do MBST-2014 [3].

Em resumo, o MBST-2014 [3] não adotou a metodologia do Manual CET-2003 [1], mas adotou os valores de referência do Manual CET-2003 [1] (190 pedestres/hora e 25 segundos), números esses que foram obtidos e validados usando-se uma metodologia distinta da preconizada pelo MBST-2014 [3].

8.4 Critérios do aspecto travessia de pedestres do MUTCD-2009 [2]

O MUTCD-2009 [2] adota os seguintes critérios para o aspecto travessia de pedestres:

- Volume de veículos e pedestres (*Warrant 4*)
- Travessia de escolares (*Warrant 5*)

8.4.1 Volume de pedestres (*Warrant 4*)

A necessidade de semáforo em uma interseção ou em meio de quadra deve ser considerada se uma das seguintes condições for satisfeita.

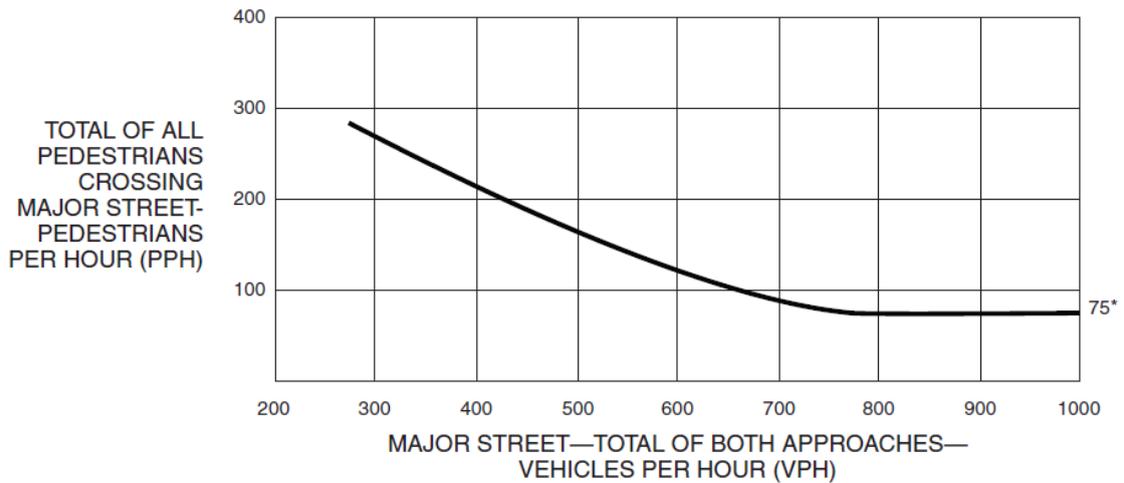
- A. Para cada uma das 4 horas de um dia médio, o ponto plotado representando o volume de veículos na via principal (total das duas aproximações) e o correspondente volume de pedestres (total das travessias na via principal) estiver acima da curva da Figura 4C-5 (Figura 6); ou
- B. Para uma hora (qualquer período de 4 intervalos consecutivos de 15 minutos) de um dia médio, o ponto plotado representando o volume de veículos na via principal (total das duas aproximações) e o correspondente volume de pedestres (total das travessias na via principal) estiver acima da curva da Figura 4C-7 (Figura 7).

Para a Condição A, a Figura 4C-5 (Figura 6) determina um volume mínimo de pedestres de 107 pedestres/hora, isto é, não se justifica a implantação de semáforo para volumes abaixo de 107 pedestres/hora qualquer que seja o volume de veículos.

Para a Condição B, a Figura 4C-7 (Figura 7) determina um volume mínimo de pedestres de 133 pedestres/hora, isto é, não se justifica a implantação de semáforo para volumes abaixo de 133 pedestres/hora qualquer que seja o volume de veículos.

Opcionalmente, se a via principal esteja regulamentada (ou a velocidade de 85-percentil) com 35 mph (56 km/h) ou se a interseção estiver em uma comunidade isolada com menos de 10 mil habitantes, então pode ser usada a Figura 4C-6 (Figura 12) em lugar da Figura 4C-5 (Figura 6) para avaliar o critério A e a Figura 4C-8 (Figura 13) em vez da Figura 4C-7 (Figura 7) para avaliar o critério B.

Figure 4C-6. Warrant 4, Pedestrian Four-Hour Volume (70% Factor)

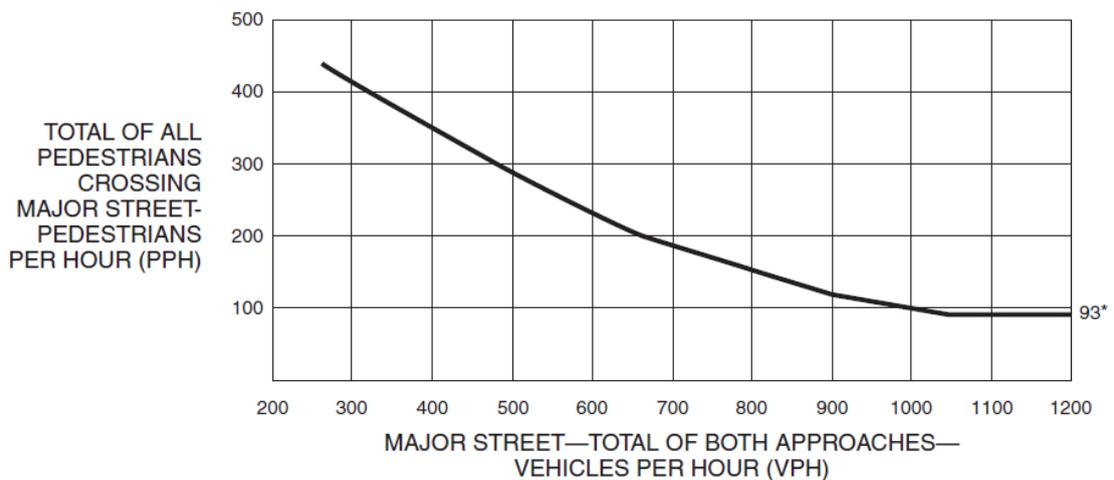


*Note: 75 pph applies as the lower threshold volume.

Figura 12 – Gráfico da Figura 4C-6 do MUTCD-2009 [2]

A Figura 4C-6 (Figura 12) determina um volume mínimo de pedestres de 75 pedestres/hora, isto é, não se justifica a implantação de semáforo para volumes abaixo de 75 pedestres/hora qualquer que seja o volume de veículos.

Figure 4C-8. Warrant 4, Pedestrian Peak Hour (70% Factor)



*Note: 93 pph applies as the lower threshold volume.

Figura 13 – Gráfico da Figura 4C-8 do MUTCD-2009 [2]

A Figura 4C-8 (Figura 13) determina um volume mínimo de pedestres de 93 pedestres/hora, isto é, não se justifica a implantação de semáforo para volumes abaixo de 93 pedestres/hora qualquer que seja o volume de veículos.

O critério de volume de veículos e pedestres (Warrant 4) não deve ser aplicado em locais onde a distância ao semáforo mais próximo ou a uma aproximação com o sinal PARE for menor que 300 pés (91 m), a não ser que o semáforo proposto não a progressão do tráfego.

Se o critério 4 (Warrant 4) for satisfeito e um semáforo for justificado por um estudo de engenharia, então:

- A. Se for instalado em uma interseção, o semáforo também deve controlar o tráfego da rua secundária e deve ser acionado pelo tráfego e deve incluir a detecção de pedestres.
- B. Se for instalado em uma travessia de meio de quadra, o semáforo deve ser instalado a pelo menos 100 pés (30 m) de ruas laterais que sejam controladas por sinais de PARE ou DÊ PREFERÊNCIA e deve ser acionado por pedestres. O estacionamento e outras obstruções visuais devem ser proibidas por pelo menos 100 pés (30 m) antes e pelo menos 20 pés (6 m) além da faixa de pedestres ou acomodações no local devem ser feitas através de extensões de meio-fio ou outras técnicas para fornecer distância de visibilidade adequada, e a instalação deve incluir sinalização adequada e marcações no pavimento.
- C. Além disso, se for instalado dentro de uma rede semafórica, o semáforo proposto deve ser coordenado com os semáforos adjacentes.

Opcionalmente, o volume de pedestres atravessando a via principal pode ser reduzido em até 50% se a velocidade de travessia de pedestres 15 percentil for inferior a 3,5 pés por segundo (1 m/s).

Um semáforo pode não ser necessário no local do estudo se semáforos próximos fornecerem suficientes e adequadas para os pedestres atravessarem a via.

8.4.2 Travessia escolar (*Warrant 5*)

O critério de travessia escolar destina-se a ser aplicado onde o fato de os alunos atravessarem a rua principal é a principal razão para considerar a instalação de um semáforo. Para efeitos do presente critério, a palavra “alunos” inclui alunos do ensino fundamental ao médio.

A necessidade de um semáforo deve ser considerada quando o número de brechas com duração adequada é menor do que o número de minutos no mesmo período (ver Seção 7A.03) e há um mínimo de 20 alunos durante a hora de maior travessia.

A Seção 7A-03 diz que o método recomendado para determinar brechas com duração adequada pode ser encontrado no “*Traffic Control Devices Handbook*” (Seção 1A.11 – *Relation to other Publications*).

8.4.3 Observações sobre os critérios do MUTCD-2009 [2] do aspecto travessia de pedestres

Valem aqui as mesmas observações feitas no item 6.4.4 para o aspecto fluidez. Não se conhece a origem e o embasamento dos valores e gráficos apresentados. Também não se tem a compreensão do que significam os números propostos.

8.5 Resumo comparativo de critérios quanto aos valores limites dos fatores representativos do aspecto travessia de pedestres

- a) Manual CET-2003 [1]
- Travessia crítica: valor qualitativo
 - Volume de pedestres mínimo em pelo menos uma travessia crítica: 190 pedestres/hora
 - Tempo de espera de pedestres (dificuldade de travessia): 25 segundos

- b) MBST-2014 [3]
- Travessia crítica: valor qualitativo
 - Atraso de pedestres: 4.750 pedestres × segundo (equivalente a 190 pedestres × 25 segundos)
- c) MUTCD-2009 [2]
- Volume de pedestres – *Warrant 4*
 - Volume mínimo de pedestres:
 - ✓ Critério de 4 horas: 107 pedestres/hora ou 75 pedestres/hora (para vias de 56 km/h ou comunidades de até 10.000 habitantes)
 - ✓ Critério de hora pico: 133 pedestres/hora ou 93 pedestres/hora (para vias de 56 km/h ou comunidades de até 10.000 habitantes)
 - Volume de veículos × volume de pedestres
 - ✓ Critério de 4 horas: Figura 4C-5 (Figura 6) ou Figura 4C-6 (Figura 12) (para vias de 56 km/h ou comunidades de até 10.000 habitantes)
 - ✓ Critério de hora pico: Figura 4C-7 (Figura 7) ou Figura 4C-8 (Figura 13) (para vias de 56 km/h ou comunidades de até 10.000 habitantes)
 - Travessia escolar (*Warrant 5*)
 - ✓ Volume mínimo de alunos: 20 pedestres/hora
 - ✓ Número de brechas: igual ao número de minutos do período

Quadro resumo

Fator representativo	Manual CET-2003 [1]	MBST-2014 [3]	MUTCD-2009 [2]
Travessia crítica	Qualitativo	Qualitativo	---
Volume de pedestres	190 pedestres/hora	---	<ul style="list-style-type: none"> • Critério de 4 horas: 107 ou 75 pedestres/hora (56km/h ou até 10.000 habitantes) • Critério de hora pico: 133 ou 93 pedestres/hora (56km/h ou até 10.000 habitantes)
Tempo de espera de pedestres (dificuldade de travessia)	25 segundos	---	---
Volume de veículos e pedestres (<i>Warrant 4</i>)	---	----	<ul style="list-style-type: none"> • Critério de 4 horas: Figura 4C-5 (Figura 6) ou Figura 4C-6 (Figura 12) (56km/h ou até 10.000 habitantes) • Critério de hora pico: Figura 4C-7 (Figura 7) ou Figura 4C-8 (Figura 13) (56km/h ou até 10.000 habitantes)
Atraso de pedestres	---	4.750 pedestres x segundo	---
Travessia de escolares: Volume de pedestres	---	---	20 pedestres/hora
Travessia de escolares: número de brechas	---	---	Igual ao número de minutos do período

9. NOVAS VIAS (INTERSEÇÕES NOVAS)

Os métodos descritos pressupõem que a interseção é existente e que é possível medir valores de espera, volume, tempos de travessia etc. Como tratar das novas interseções, onde tais levantamentos são impraticáveis?

Segundo Vilanova (s.d.) [4]:

“Felizmente, existem só três tipos de situações que podem ocorrer: ou a necessidade semafórica é tão flagrante que sua implantação se torna evidente para qualquer técnico da área, ou a necessidade existe, mas não é imprescindível que seja atendida imediatamente, ou ela simplesmente não existe.”

“A dúvida, então, passa a ser se o caso em análise pertence à segunda ou terceira situação. A resposta correta poderá ser obtida com maior segurança na fase subsequente à implementação da nova interseção, quando for possível mensurar os dados necessários. A maioria das novas interseções pertence a este grupo e não há maiores problemas em adiar a decisão por algum tempo. Recomenda-se que seja feito um acompanhamento durante um período de três meses, durante o qual o fluxo de trânsito terá tempo de se reequilibrar na malha viária e já terão sido superadas eventuais dificuldades comportamentais que costumam ocorrer após a implantação de um projeto novo de trânsito.”

“O cuidado do acompanhamento posterior é imprescindível e não se deve limitar às novas interseções. Toda vez que se instala um novo semáforo, seja numa interseção nova ou já existente, é imprescindível a realização de vistorias nas primeiras semanas após a implantação a fim de corrigir eventuais erros. O acompanhamento também servirá para ajustar a programação. Além disso, serve sempre como aprendizagem para futuros trabalhos, pois é a oportunidade de se comparar aquilo que foi previsto no projeto com o que realmente ocorreu.”

O Manual CET-2003 [1] não aborda essa questão.

O MBST-2014 [3] estabelece basicamente o mesmo tipo de metodologia para as interseções novas. Uma diferença é quando não se consegue estimar o atraso dos veículos na via transversal. Neste caso, o MBST-2014 [3] recomenda a aplicação do critério de volume com a utilização dos gráficos das Figuras 4.15 e 4.16 do MBST-2014 [3], as quais foram extraídas do MUTCD Edição de 2003 [5]. Por outro lado, o MBST-2014 [3] não estabelece o mesmo procedimento para o atraso de pedestres. O atraso de pedestres em vias em fase de projeto também é de difícil mensuração e o MBST-2014 [3] poderia, analogamente ao caso de veículos, ter recomendado o uso dos gráficos do MUTCD.

O MUTCD-2009 [2] diz o seguinte sobre locais em projeto:

“Em um local que esteja em desenvolvimento ou em construção e onde não seja possível obter uma contagem de tráfego que represente as condições de tráfego futuras, os volumes devem ser estimados como parte de um projeto de engenharia para a verificação dos critérios. Exceto para locais onde o Warrant 8 (Critério de rota) é usado para justificar o semáforo, o semáforo a ser instalado em um local projetado deve ter um estudo de engenharia feito dentro de 1 ano após a sua colocação em operação. Se não for justificado, o semáforo deve ser removido.”

Para vias novas, ainda em fase de projeto, os dados necessários como volumes de veículos e de pedestres, tempos de espera etc. devem ser estimados. Além disso, é necessário considerar que, por se tratar de nova via, leva um certo tempo para que a distribuição de tráfego possa se reequilibrar na malha viária. Estimar os volumes de tráfego e atrasos (veículos e pedestres) após esse reequilíbrio não é uma tarefa trivial. O correto seria o uso de simuladores de tráfego para fazer essas estimativas. No entanto, os simuladores nem sempre estão acessíveis e dependem essencialmente da qualidade dos dados disponíveis¹¹.

Assim, é duvidoso o grau de precisão que pode ser obtido por meio dessas estimativas. É questão a ponderar se o resultado da aplicação dos critérios com a utilização dessas estimativas vai ser mais realista e consistente do que aquele obtido por meio de avaliação qualitativa, baseada no conhecimento da região do técnico responsável pelo estudo. Eventualmente, as estimativas e o conhecimento do técnico devem ser usados de forma a complementar um ao outro.

¹¹ O Manual Brasileiro disponibiliza o simulador TESP, que estima o tempo médio de espera de pedestre e fornece o resultado da aplicação do critério. As principais características do simulador, bem como as instruções para sua utilização, são apresentadas no Apêndice 5 do Manual.

10. RETIRADA DE SEMÁFOROS

Infelizmente, não é possível utilizar os mesmos procedimentos para a retirada de semáforos, pois os critérios dependem de medições na situação sem semáforo.

De acordo com Vilanova (s.d.) [4]:

“Uma sugestão para balizar a decisão de retirada e, mesmo, justificá-la perante possíveis questionamentos é comparar as características relevantes do local, em termos de decisão semaforica, tais como distância de visibilidade, fluxos de veículos e pedestres, porcentagem de veículos pesados, largura das travessias etc. com outras interseções não semaforizadas e que operam muito bem desta forma. Se fosse mostrar que existem outras interseções semelhantes e que trabalham muito bem sem semáforo, tanto em termos de tempo de espera como de periculosidade, ter-se-á uma boa justificativa”

O Manual CET-2003 [1] não aborda essa questão.

O MBST-2014 [3] trata a questão de remoção de semáforo no item 11 (Página 242):

“A metodologia a ser utilizada para a decisão referente à remoção de sinalização semaforica envolve as seguintes atividades, a serem realizadas em sequência: estudo técnico; avaliação prática da operação sem sinalização semaforica; e tomada de decisão.

11.2.1 Estudo técnico

O estudo técnico deve:

- a) resgatar o histórico da implantação da sinalização semaforica, verificando se ela foi implantada por questões de segurança, de fluxo, de atraso ou por combinação desses aspectos;*
- b) verificar se houve no local alterações no uso e ocupação do solo e/ou no fluxo, que teriam impacto sobre as condições consideradas para implantação da sinalização semaforica;*
- c) não havendo dados históricos sobre a implantação, verificar as condições de uso e ocupação do solo no local, bem como os fluxos de todos os tipos de usuários;*
- d) a partir das verificações indicadas nas alíneas “b” ou “c”, inferir o risco a que os usuários ficariam expostos no caso de remoção da sinalização semaforica;*
- e) realizar acompanhamento da operação da sinalização semaforica para verificar a obediência à sinalização, e coletar os dados necessários para rever a adequação da atual programação semaforica;*
- f) definir a programação semaforica mais adequada para o local levando em conta o tipo de controle existente;*

- g) implantar e acompanhar a programação semaforica, definida na alínea “f”, verificando se a presença da sinalização semaforica é dispensável em função dos fluxos a serem controlados;*
- h) a partir das análises realizadas nas alíneas “d” e “g” deve-se concluir pela permanência ou remoção da sinalização semaforica do local.*

No caso de sinalização semaforica com dois estágios, sem estágio dispensável, a verificação indicada na alínea “g” consiste na observação em campo do número de ciclos vazios (número de ciclos sem demanda na via secundária e/ou sem a presença de pedestres na travessia crítica), na hora-pico para cada um dos tipos de demanda. Se esse número representar, pelo menos, oito ciclos da hora-pico correspondente, tem-se a indicação de que a sinalização semaforica é dispensável em função dos fluxos do estágio analisado. Esse critério corresponde ao dobro do número de ciclos vazios que recomendam a não implantação da sinalização semaforica em função do fluxo veicular (ver item 4.2.2).

No caso de sinalização semaforica com dois estágios, com estágio dispensável, a verificação indicada na alínea “g” consiste na observação em campo do número de vezes que o estágio dispensável foi implementado (por demanda veicular na via secundária e/ou por demanda de pedestre na botoeira), na hora-pico para cada um dos tipos de demanda. Se o estágio foi implementado em um número de vezes inferior a 15% do número máximo de ciclos que poderia ter ocorrido na hora-pico correspondente, tem-se a indicação de que a sinalização semaforica é dispensável em função dos fluxos do estágio analisado.

Em interseções controladas por mais de dois estágios (n estágios), as verificações anteriormente referidas para o estágio que serve à via secundária devem ser realizadas para todos os estágios. A sinalização semaforica somente deverá ser removida se em “n-1” estágios a condição para retirada for atendida.

Havendo recomendação para a remoção da sinalização semaforica, deve ser elaborado o projeto de implantação da solução não-semaforica adequada, definida a partir das orientações do Capítulo 4.

Todos os documentos referentes à realização do estudo técnico devem ser reunidos e organizados em um relatório técnico, a fim de subsidiar o gestor de trânsito em sua decisão de retirada e servir como histórico para consultas futuras.

11.2.2 Avaliação prática da operação sem sinalização semaforica

No caso do estudo técnico recomendar a remoção da sinalização semaforica, deve ser realizada uma avaliação prática da implantação dessa medida antes de efetivá-la.

Essa avaliação consiste no desligamento dos semáforos por um tempo pré-estabelecido. Em geral, um período mínimo de um e máximo de três meses é o suficiente para que a intervenção esteja consolidada e a sinalização desativada possa ser retirada definitivamente.

Operacionalmente, esse procedimento deve ocorrer concomitantemente à implantação da solução não semaforica. Os semáforos devem ser desligados e ensacados (ou seja, recobertos, de preferência por plástico preto). Essa providência visa deixar mais clara ao condutor a

desativação, evitando que a ausência da informação luminosa seja atribuída à falta de energia elétrica. Além disso, devem ser instaladas placas com a informação “Desligado” para todas as aproximações (Figura 11.1).

O desligamento da sinalização semaforica deve ser precedido de ampla divulgação junto aos usuários da via, seja por meio de dispositivos visuais (por exemplo, faixas de pano), seja por intermédio dos meios de comunicação.

A partir do desligamento, o órgão gestor de trânsito deve acompanhar o comportamento do trânsito no local e aguardar eventuais manifestações dos usuários.”

11. REFERÊNCIAS

- [1] Manual de Sinalização Urbana Semafórica – Critérios de Implantação (Experimental – V02) Volume 6 – Parte I. Setembro/2003.
- [2] *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways – MUTCD – 2009 Edition, Revision 1 (May 2012) – Revision 2 (May 2012).*
- [3] Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V – Sinalização Semafórica, 2014. DENATRAN. Arquivo “manual_vol_v_-2”, baixado em 08/11/2021.
- [4] *Vilanova, Luis Molist*: Critérios de Implantação.
Disponível em: http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/criterios_implantacao_semaforos.pdf
- [5] *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways – MUTCD – 2003 Edition, Part 4 Highway Traffic Signals.*
Disponível em:
<https://mutcd.fhwa.dot.gov/pdfs/2003r1/Ch4.pdf>
- [6] *Mazzamati, Mauro Vincenzo; Szasz, Pedro*: Nota Técnica 146 – Justificativa da Necessidade de Reavaliação dos Critérios de Instalação de Semáforos. CET – Companhia de Engenharia de Tráfego, São Paulo. Junho de 1992.
- [7] *Mcgee, Hugh; Taori, Sunil; Persaud, Bhagwant*: *Crash Experience Warrant for Traffic Signals – Project 17-16 FY’97 – NCHRP Report 491”* (2003).
- [8] *Persaud, Bhagwant; McGee, Hugh; Lyon, Craig; Lord, Dominique*: *Development of a Procedure for Estimating Expected Safety Effects of a Contemplated Traffic Signal Installation – Transportation Research Record 1840, Paper No. 03-4121* (2003).
- [9] *Pietrantonio, Hugo*: Avaliação da Técnica Sueca de Análise de Conflitos de Tráfego – Aplicação ao Estudo de Problemas de Segurança de Pedestres em Interseções SemafORIZADAS da Cidade de São Paulo Relatório de Trabalho No.2/98. Revisão 2 (2006).
- [10] *Laureshyn, Aliaksei; Varhelyi, Andras*: *The Swedish Traffic Conflict Technique – Observer's Manual. Lund University. Manual v. 1.0* (04/2018).
- [11] *Hauer, Ezra*: *Observational Before-After Studies in Road Safety. Pergamon* (1997).
- [12] *Hauer, Ezra*: *The Art of Regression Modelling in Road Safety. Springer* (2015).
- [13] *Elvik, Rune, Høye, Alena; Vaa, Truls; Sørensen, Michael*: *The Handbook of Road Safety Measures. Emerald Group Publishing Limited, Bingley, UK* (2009).
- [14] *Amoros, E.; J.-L. Martin; B. Laumon*: *Under-Reporting of Road Crash Casualties in France. Accident Analysis & Prevention* 38 (4), pp. 627-635 (2006).

- [15] *Alsop, J.; Langley, J.: Under-Reporting of Motor Vehicle Traffic Crash Victims in New Zealand. Accident Analysis & Prevention 33 (3), pp. 353-359 (2001).*
- [16] *Robles, Daniel Gatti; Raia Junior, Archimedes Azevedo: Correlação Entre Conflitos e Acidentes Usando a Técnica Sueca de Análise de Conflitos de Tráfego. XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes 03 a 07 de novembro de 2008 – Hotel Gran Marquise – Av. Beira Mar, 3980, Fortaleza – Ceará.*
- [17] *The New York City Pedestrian Safety Study & Action Plan: Technical Supplement. New York City Department of Transportation (NYCDOT) – August 2010*
Roe, M.; Shin, H.; Ukkusuri, S.; Blatt, A.; Majka, K.
Disponível em:
https://www.nyc.gov/html/dot/downloads/pdf/nyc_ped_safety_study_action_plan_technical_supplement.pdf (Acesso em 07/04/2023)
- [18] *Cunto, Flávio José Craveiro; Castro Neto, Manoel Mendonça de; Barreira, Davi Sales: Modelos de Previsão de Acidentes de Trânsito em Interseções SemafORIZADAS de Fortaleza. Transportes v. 20, n. 2 (2012) p. 55-62*
- [19] *Lu, Tao; Donyao, Zhu; Lixin, Yan; Pan, Zhang: The Traffic Accident Hotspot Prediction: Based on the Logistic Regression Method. The 3rd International Conference on Transportation Information and Safety, June 25 – June 28, 2015, Wuhan, P. R. China.*
- [20] *Ahmed, Layla Aziz: Using Logistic Regression in Determining the Effective Variables in Traffic Accidents. Applied Mathematical Sciences, Vol. 11, 2017, No. 42, 2047-2058.*
- [21] Ming, Sun Hsien: Distribuições Estatísticas Aplicadas ao Tráfego. Nota Técnica 206 – Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, 2001.
- [22] Ming, Sun Hsien: Cálculo da Probabilidade de se Encontrar Uma (ou Mais) Vaga de Zona Azul Desocupada. Nota Técnica 207 – Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, 2001.
- [23] Ming, Sun Hsien: Fator Modificador de Acidente: (*Crash Modification Factor* – CMF) Definição e Discussão. Nota Técnica 277 – Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, 2022.
- [24] *Highway Safety Manual – Errata February 2012. American Association of State Highway and Transportation Officials.*
- [25] Szasz, Pedro Álvaro. Adaptação: Ming, Sun Hsien: Uma Metodologia para Substituir o Índice de Acidentes por Índice de Conflitos em Critérios para Implantação de Semáforos. Nota Técnica 209 – Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, 2001.
- [26] Ming, Sun Hsien: Técnica de Análise de Conflitos. Nota Técnica 209 – Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, 2001.