

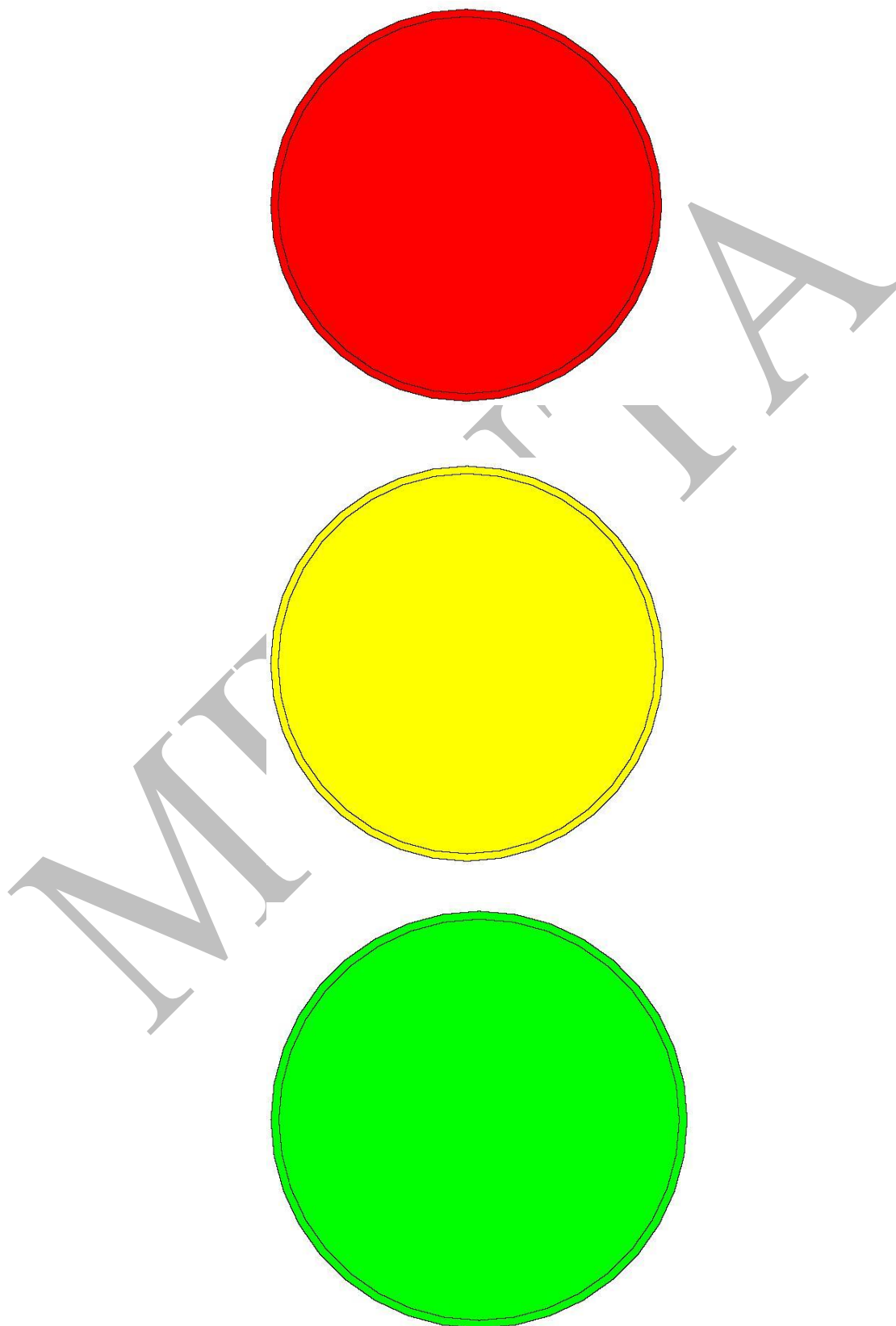
MONUTA

APÉNDICES

APÊNDICE 1 - Diagramação dos focos semafóricos e pictogramas

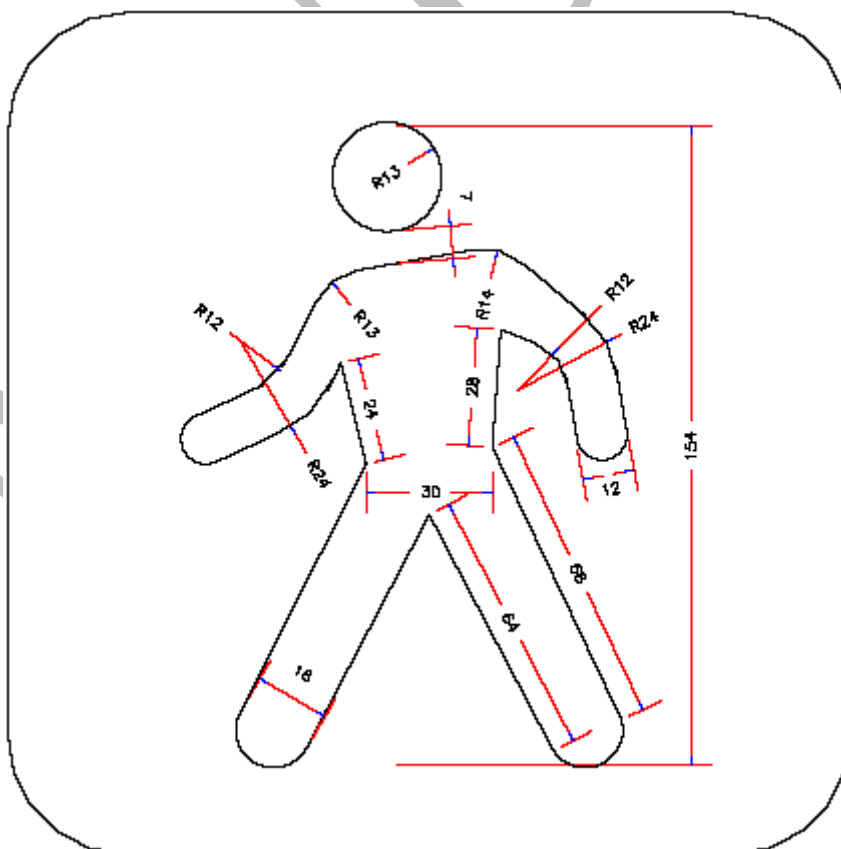
Lentes 200 mm

Norma ABNT NBR 7995



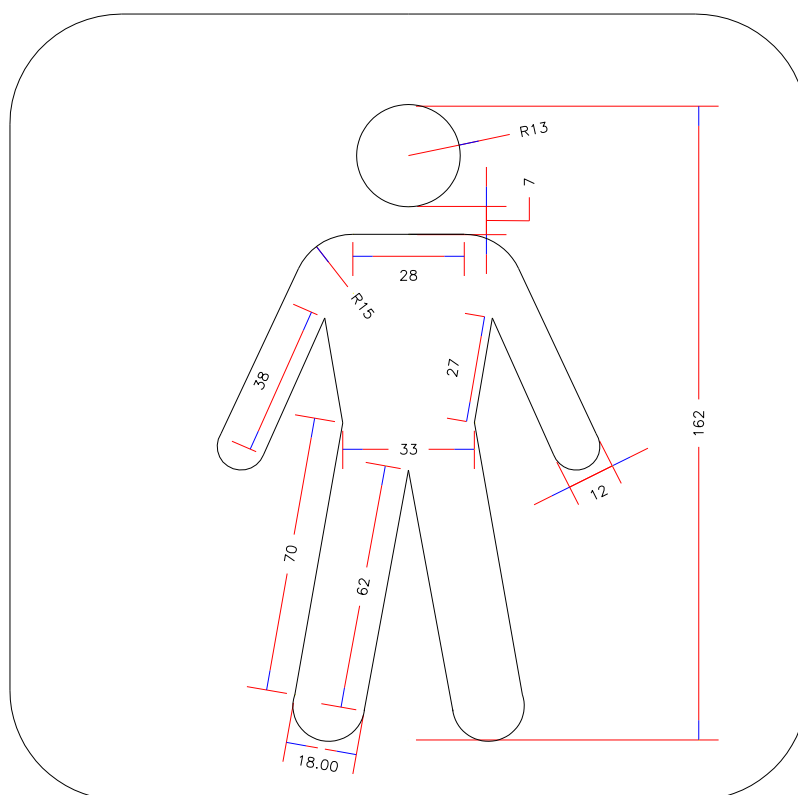
Máscara com pictograma “boneco andando” verde

Norma ABNT NBR 7995



Máscara com pictograma “boneco parado” vermelho

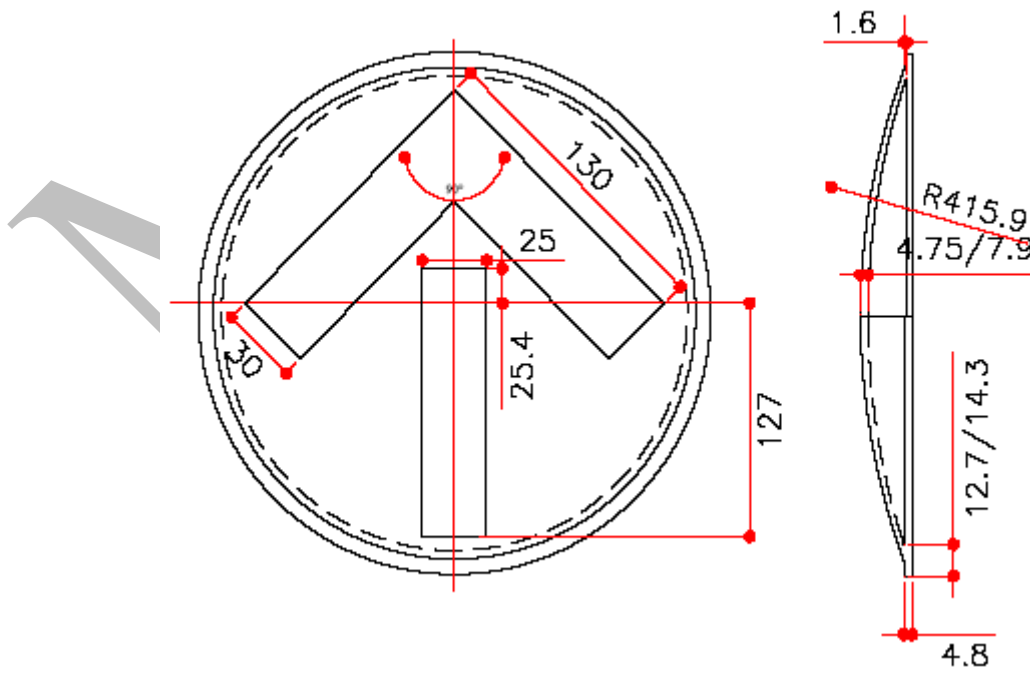
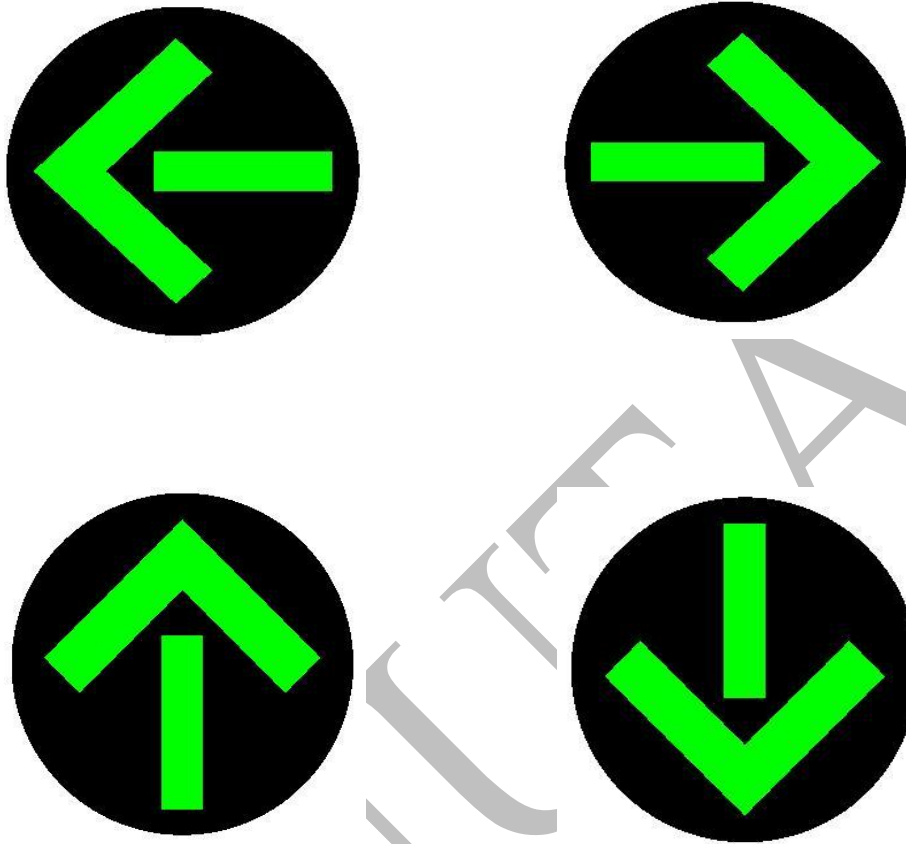
Norma ABNT NBR 7995



Tolerância $\pm 5\%$
Dimensões em milímetros

Máscara com pictograma “Seta” Verde 200 mm

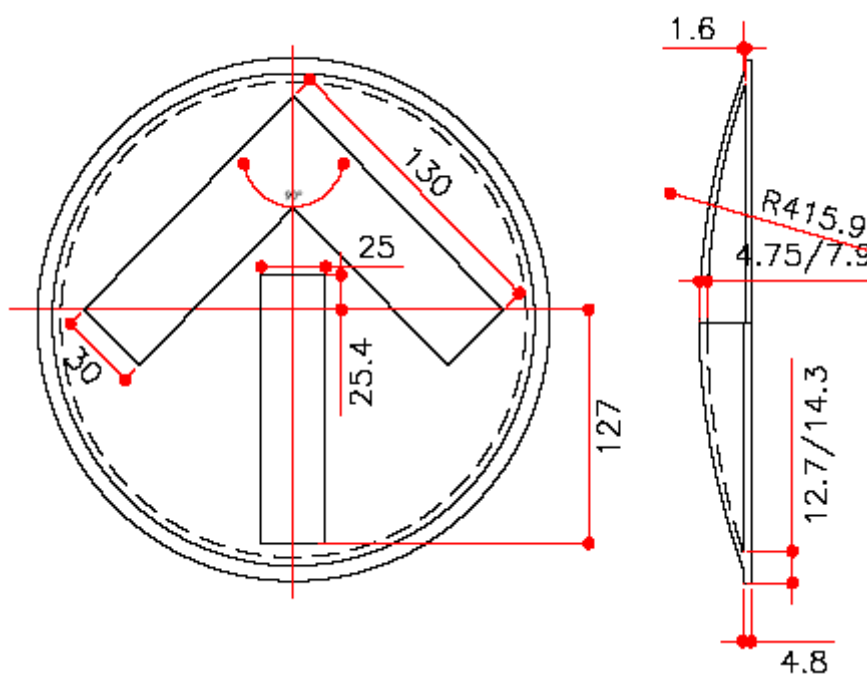
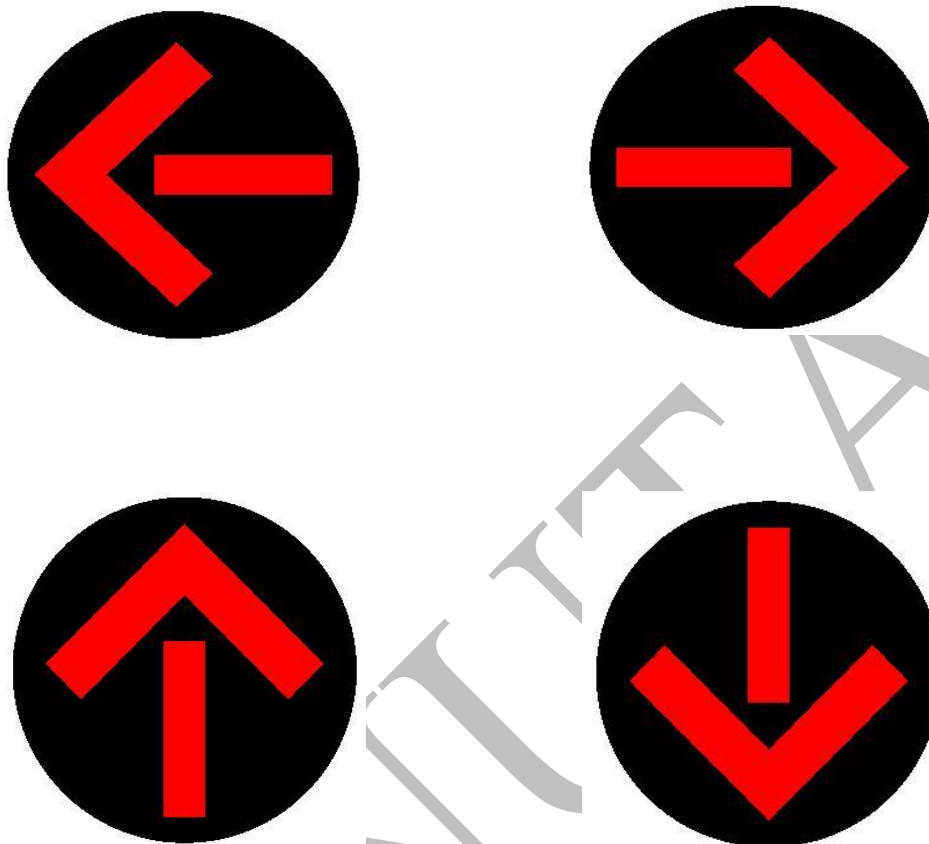
Norma ABNT NBR 7995



Tolerância $\pm 5\%$
Dimensões em milímetros

Máscara com pictograma “Seta” Vermelho 200 mm

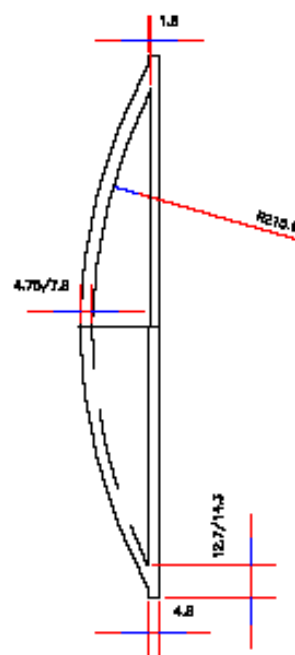
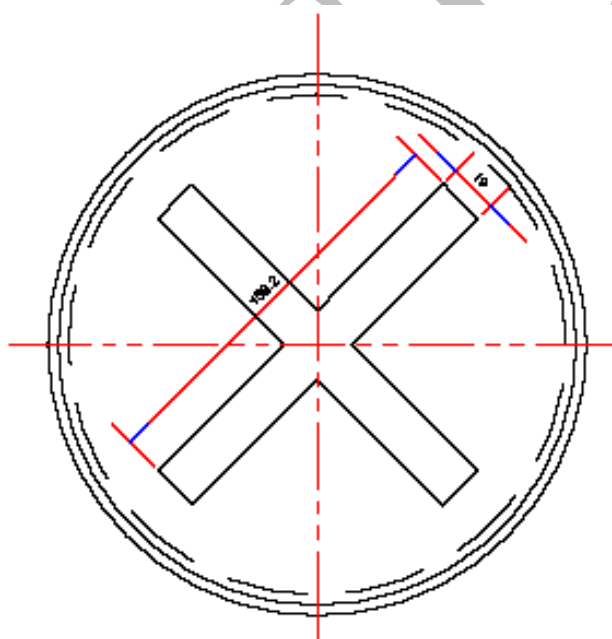
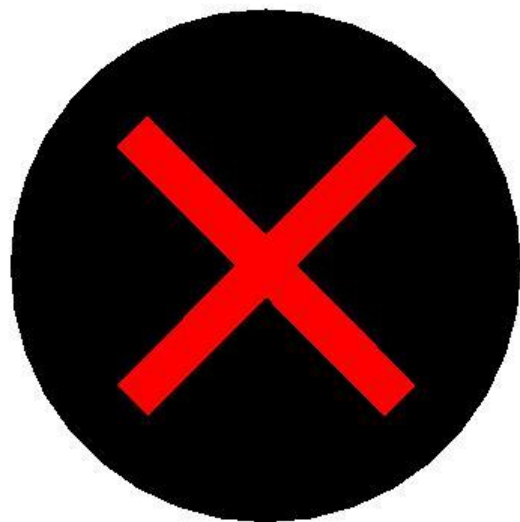
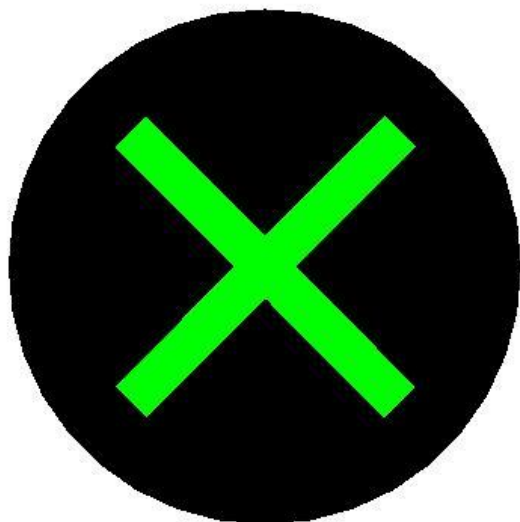
Norma ABNT NBR 7995



Tolerância $\pm 5\%$
Dimensões em milímetros

Máscara com pictograma "X" Vermelho e Verde 200 mm

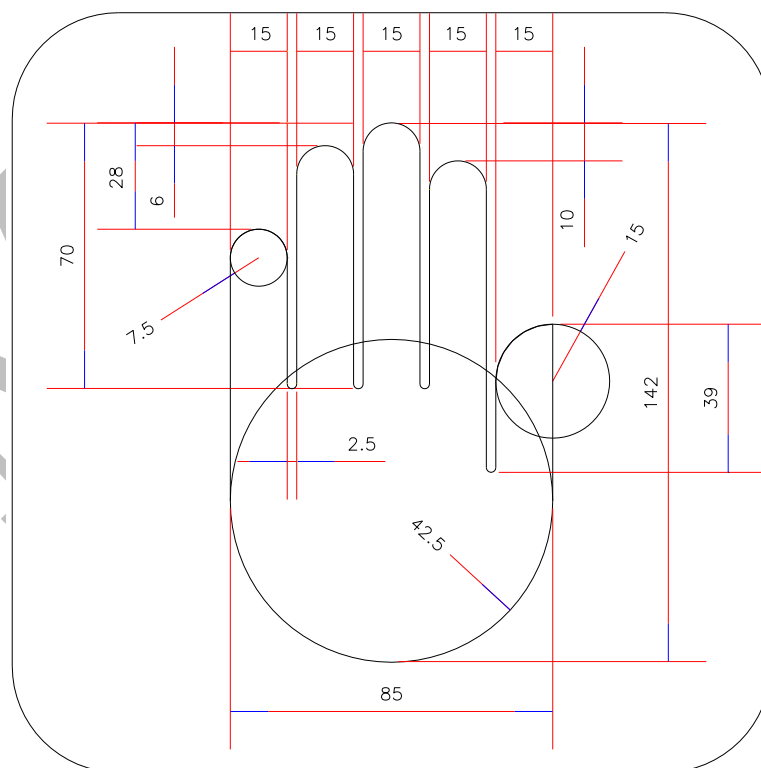
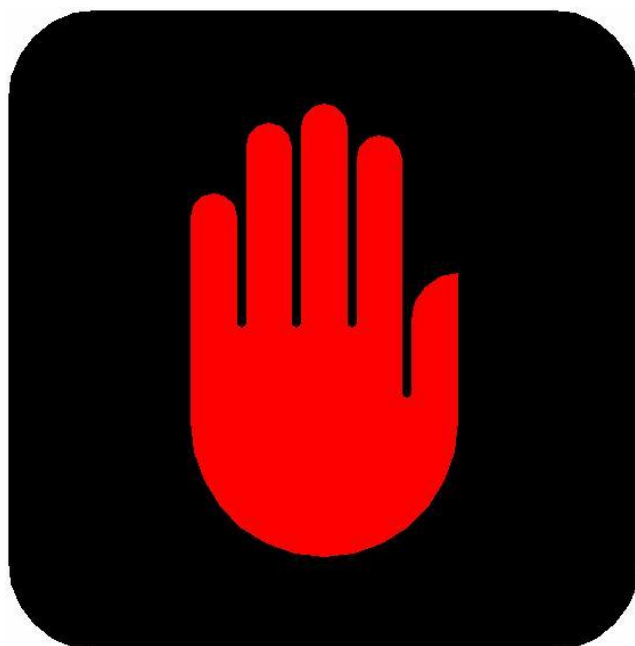
Norma ABNT NBR 7995



Tolerância $\pm 5\%$
Dimensões em milímetros

Máscara com pictograma “mão espalmada” vermelho

Norma ABNT NBR 7995



Tolerância $\pm 5\%$
Dimensões em milímetros

APÊNDICE 2- Pesquisas de Volume e tempo Médio de Espera de Pedestres

Para efeito deste Manual, travessia crítica de pedestres é a que ocorre na seção onde os pedestres têm mais dificuldade para atravessar ou o número de pedestres cruzando a via é maior.

A identificação da(s) travessia(s) crítica(s), quando em cruzamento, **deve** levar em conta todas as travessias existentes junto ao mesmo.

Neste anexo, são definidos os procedimentos a serem adotados na pesquisa do tempo médio de espera e na determinação do volume de pedestres na travessia crítica.

a) Determinação do volume de pedestres na travessia crítica

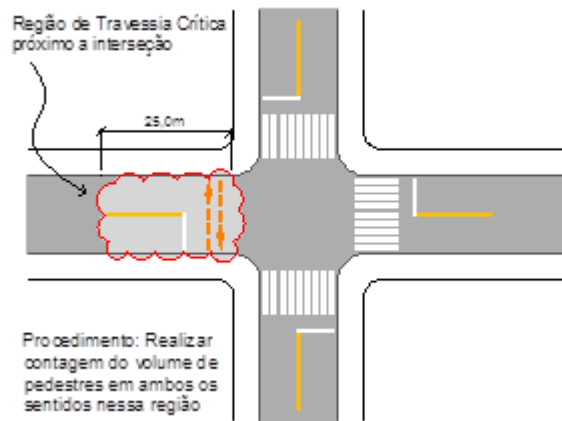
Para realizar a pesquisa de volume, são definidos segmentos viários com cerca de 25m de extensão na travessia crítica em cruzamentos, e com cerca de 50m no caso da travessia crítica para o meio de quadra (Ver Figura A2.1).

O termo “meio de quadra” não significa que a travessia ocorra exatamente no ponto médio entre uma rua e outra.

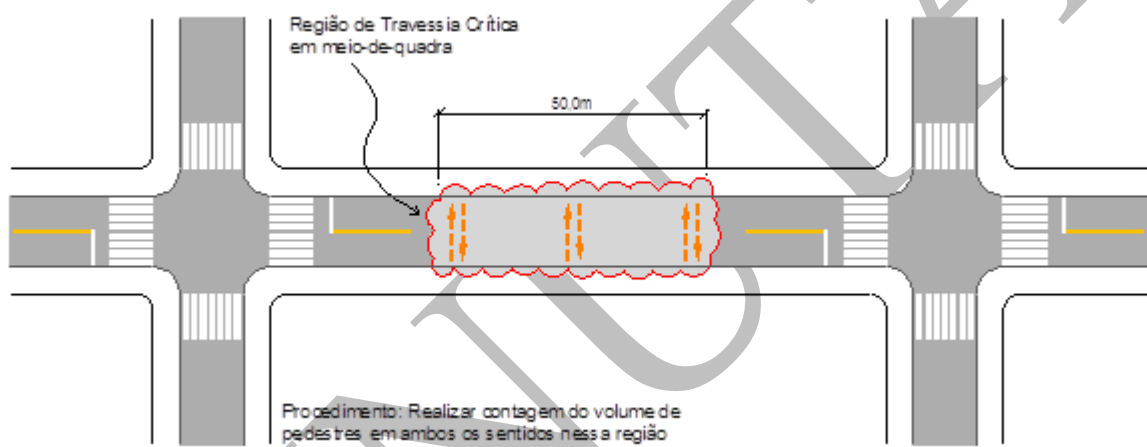
Nos locais (cruzamentos ou meios de quadra) onde não puder ser determinada *a priori* a posição da travessia crítica, os dados **devem** ser coletados nos diferentes segmentos onde essa travessia possa estar localizada.

Em cada segmento, **deve** ser contado o número total de pedestres que realiza a travessia em ambos os sentidos (contagem em separado por sentido). A contagem deve ser realizada no período mínimo de duas horas, em intervalos de 15 minutos.

A determinação do horário de realização da contagem deve considerar o período do dia em que é observado o maior volume de travessia de pedestres.



(a) Contagem em intersecção



(b) Contagem em meio de quadra

Figura A2.1: Trechos para contagem do volume de pedestres

Os dados **devem** ser coletados e registrados a cada 15 minutos. Para facilitar a realização da pesquisa, os dados podem ser registrados de forma acumulada. Um modelo da planilha para a coleta desses dados de forma acumulada é mostrado na Figura A2.2.

Os dados mostrados na Figura A2.2 serão utilizados, como exemplo prático, para ilustrar os procedimentos descritos neste Apêndice.

PESQUISADOR:		FÁBIO			
Data:		03/04/08		Quinta - Feira	
Condições do Tempo:			(x) Sol	() Nublado	() Chuva
Hora			Sentido A-B	Sentido B-A	
7:00	-	7:15	23	27	
7:15	-	7:30	35	38	
7:30	-	7:45	47	48	
7:45	-	8:00	62	57	
8:00	-	8:15	75	65	
8:15	-	8:30	86	78	
8:30	-	8:45	99	82	
8:45	-	9:00	106	91	
9:00	-	9:15	115	100	
9:15	-	9:30	125	107	

Figura A2.2: Trecho de planilha exibindo horários e dados (acumulados) de uma contagem de pedestres.

De posse dos dados da pesquisa, **deve** ser considerado o volume horário crítico (4 períodos consecutivos de 15 minutos), por meio do preenchimento da planilha mostrada na Figura A2.3.

Os dados mostrados na planilha da Figura A2.3 correspondem ao tratamento dos dados apresentados na Figura A2.2.

PERÍODO			SENTIDO A-B	(%)	SENTIDO B-A	(%)	TOTAL
07:00	-	08:00	62	52%	57	48%	119
07:15	-	08:15	52	58%	38	42%	90
07:30	-	08:30	51	56%	40	44%	91
07:45	-	08:45	52	60%	34	40%	86
08:00	-	09:00	44	56%	34	44%	78
08:15	-	09:15	40	53%	35	47%	75
08:30	-	09:30	39	57%	29	43%	68

Figura A2.3: Modelo da planilha para determinação do volume horário crítico de travessia de pedestres

De acordo com a planilha, o volume horário crítico ocorre no período das 07:00 às 08:00, e é igual a 119 pedestres.

b) Determinação do tempo médio de espera de pedestres na travessia crítica

O tempo de espera é definido como o intervalo entre o momento em que o pedestre se posiciona para realizar a travessia e o instante em que ele efetivamente a inicia. A pesquisa de tempo de espera é realizada na travessia crítica, determinada de acordo com os critérios definidos anteriormente.

A pesquisa deve ser realizada por pelo menos um pesquisador posicionado em cada lado da travessia. Para a determinação do tempo médio de espera deve ser coletado um número mínimo de observações, conforme procedimento indicado na seção “c” deste Apêndice.

No exemplo da Figura A2.3, o tamanho da população alvo é de 119 pedestres e foram selecionados 75 pedestres para compor a amostra (ver seção “c”). Nesse caso, em função da proporção da população em cada sentido, o número de observações no sentido A-B é igual a 39 (52% de 75) e no sentido B-A é igual a 36 (48% de 75).

A seleção dos pedestres que integrarão a amostra deve ser feita de modo aleatório, a fim de garantir a sua representatividade. Para tanto, recomenda-se que a pesquisa seja feita de forma contínua, observando-se a seguinte regra prática: ao término da medição do tempo de espera de um determinado pedestre, o pesquisador **deve** efetuar a coleta de dados do próximo pedestre que chegar ao local.

Sempre que possível, o número total de pedestres na travessia (em ambos os sentidos) deve ser recontado durante o horário crítico, em paralelo à pesquisa do tempo médio de espera, para efeito da aplicação do critério de implantação da sinalização semafórica. Caso contrário,

o volume a ser usado é o obtido na pesquisa anterior para a determinação do volume da travessia crítica.

O formulário levado a campo pelos pesquisadores pode ter o formato mostrado na Figura A2.4.

LOCAL:				
Horário Crítico: 7:00 – 08:00		Volume no período: 119 pedestres		
TE: Tempo de Espera (s)	Horário	Período	Data	Pesquisador
23	7:00	pm	09/05/08	Gilvan
8	7:00	pm	09/05/08	Gilvan
81	7:00	pm	09/05/08	Gilvan
18	7:00	pm	09/05/08	Gilvan
12	7:00	pm	09/05/08	Gilvan
97	7:00	pm	09/05/08	Gilvan
68	7:00	pm	09/05/08	Gilvan
9	7:00	pm	09/05/08	Gilvan
34	7:00	pm	09/05/08	Gilvan
18	7:00	pm	09/05/08	Gilvan
31	7:00	pm	09/05/08	Gilvan
77	7:15	pm	09/05/08	Gilvan
85	7:15	pm	09/05/08	Gilvan
64	7:15	pm	09/05/08	Gilvan
17	7:15	pm	09/05/08	Gilvan
44	7:15	pm	09/05/08	Gilvan
13	7:15	pm	09/05/08	Gilvan
31	7:15	pm	09/05/08	Gilvan

27	7:15	pm	09/05/08	Gilvan
55	7:30	pm	09/05/08	Gilvan
23	7:30	pm	09/05/08	Gilvan
...
64	8:00	pm	09/05/08	Gilvan
76	8:00	pm	09/05/08	Gilvan
Nº de observações	75			
Média (s)	47,1			
Desvio-padrão (s)	27,2			

Figura A2.4: Planilha contendo tempos de espera coletados

O tempo médio de espera calculado, com base nos tempos de espera medidos em campo para os pedestres integrantes da amostra de tamanho “ n ” (ver Equação A2.1), corresponde à estimativa pontual do tempo médio de espera dos pedestres na travessia crítica ($\overline{TME}_{Pontual}$).

$$\overline{TME}_{Pontual} = \frac{\sum_{i=1}^n TE_i}{n} \quad (A2.1)$$

O intervalo de confiança para o tempo médio de espera dos pedestres na travessia crítica (\overline{TME}_{IC}), para o nível de significância (α) e erro de estimativa (e_0), **deve** ser calculado pela Equação A2.2.

$$\overline{TME}_{IC} = \overline{TME}_{Pontual} \pm e_0 \quad (A2.2)$$

O erro da estimativa (e_0) é obtido a partir do valor do desvio-padrão da amostra (S), do tamanho da população (N), do tamanho da amostra (n) e do nível de significância desejado (α), de acordo com a Equação A2.3.

$$e_0 = t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{S}{\sqrt{n}} \times \left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) \quad (A2.3)$$

Na Equação A2.3, $t_{n-1, \alpha/2}$ é o valor da estatística t de Student, definido em função do tamanho da amostra e do nível de significância desejado (α). Esse valor pode ser obtido da Tabela A2.1, onde são apresentados os valores para os níveis de significância comumente empregados. Para

valores do nível de significância desejado diferentes de 5% e 10%, deverá ser consultada uma tabela mais geral da distribuição t.

Tabela A2.1: Distribuição t de Student – valores de $t_{n-1, \alpha/2}$

GRAU DE LIBERDADE (N-1)	T _{N-1, A/2} PARA NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA - A (%)	
	$\alpha = 5\%$ ($\alpha/2=2,5\%$)	$\alpha = 10\%$ ($\alpha/2=5\%$)
7	2,365	1,895
8	2,306	1,860
9	2,262	1,833
10	2,228	1,812
11	2,201	1,796
12	2,179	1,782
13	2,160	1,771
14	2,145	1,761
15	2,131	1,753
16	2,120	1,746
17	2,110	1,740
18	2,101	1,734
19	2,093	1,729
20	2,086	1,725
21	2,080	1,721
22	2,074	1,717
23	2,069	1,714
24	2,064	1,711

25	2,060	1,708
26	2,056	1,706
27	2,052	1,703
28	2,048	1,701
29	2,045	1,699
30	2,042	1,697
∞	1,960	1,645

Para o exemplo mostrado na Figura A2.4, os seguintes dados foram obtidos:

- ✓ o tempo médio de espera de 47,1s;
- ✓ desvio-padrão igual a 27,2s;
- ✓ amostra com 75 elementos;

Para o nível de significância $\alpha=5\%$ e número total de pedestres na travessia $N=119$, o erro da estimativa obtido pela Equação A2.3 é de 3,8s.

O exemplo da Figura A2.4 resulta em:

$$\overline{TME}_{Pontual} = 47,1s \text{ e } \overline{TME}_{IC} = 47,1s \pm 3,8s = [43,3s; 50,9s]$$

c) Determinação do tamanho da amostra (n)

A determinação do número de pedestres a ser incluído na amostra (**n**), para a estimativa do tempo médio de travessia da população alvo (volume de pedestres na travessia crítica), é feita de acordo com as seguintes etapas:

Etapa 1: Definir uma amostra piloto de tamanho igual a **n'**

Recomenda-se adotar $n'=30$ e coletar em campo esse número de observações de tempo de espera.

Distribuir essas observações nos dois sentidos da travessia, de acordo com as proporções verificadas na determinação do volume total de pedestres na travessia crítica.

Por exemplo, na situação mostrada na Figura A2.3, foram efetuadas 16 observações no sentido A-B (52% de 30) e 14 no sentido B-A (48% de 30).

Etapa 2: Calcular a média e o desvio-padrão para os dados da amostra piloto

O tempo médio de espera (\overline{TME}) é calculado pela Equação A2.4, e o desvio-padrão (S) por meio da Equação A2.5.

Nessas equações, TE_i é o tempo de espera observado para o i -ésimo pedestre e n' o tamanho da amostra piloto.

$$\overline{TME} = \frac{\sum_{i=1}^{n'} TE_i}{n'} \quad (A2.4)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n'} (TE_i - \overline{TME})^2}{n'-1}} \quad (A2.5)$$

Para o caso do exemplo da Figura A2.3, foi obtido:

$$\overline{TME} = 44,9s$$

$$S = 27,8s$$

Etapa 3: Selecionar o nível de significância para a estimativa (α)

Recomenda-se adotar nível de significância (α) igual a 5%, que corresponde a um nível de confiança de 95%, utilizado para estimar o intervalo de confiança do tempo médio de espera.

Etapa 4: Selecionar o valor do erro admissível para a estimativa (E)

O erro da estimativa (E), para efeito da determinação de n , deve ser definido pelo usuário levando em conta as características específicas de cada local, dentre as quais a mais relevante é o tempo de espera.

Na Tabela A2.1 são apresentadas recomendações para o valor do erro da estimativa (E) a ser adotado para o cálculo do tamanho da amostra (n), em função do valor do tempo médio de espera calculado para a amostra piloto (\overline{TME}).

Tabela A2.2: Valores recomendados para o erro da estimativa (E)

TEMPO MÉDIO DE ESPERA (S)	ERRO DA ESTIMATIVA (S)
$TME \leq 20$	1
$20 < TME \leq 30$	2
$30 < TME \leq 40$	3
$40 < TME \leq 50$	4
$50 < TME \leq 60$	5
$TME > 60$	6

Para o exemplo da Figura A2.3, onde $\overline{TME} = 44,9s$, foi adotado $E = 4s$, conforme a Tabela A2.1.

Etapa 5: *Calcular o valor do tamanho da amostra (n)*

O tamanho da amostra (n), conhecido o volume de pedestres na travessia crítica (N), é calculado pela Equação A2.6, deduzida a partir da equação A2.3. Todos os elementos da expressão já foram definidos anteriormente.

$$n = \frac{\left(t_{n'-1, \alpha/2}\right)^2 \times S^2 \times N}{E^2(N-1) + \left(t_{n'-1, \alpha/2}\right)^2 \times S^2} \quad (A2.6)$$

No exemplo da Figura A2.3, os dados necessários para a utilização da Equação A2.6 são:

- ✓ $N = 119$ pedestres
- ✓ $n' = 30$ pedestres
- ✓ $S = 27,8s$
- ✓ $E = 4s$
- ✓ $t_{n'-1, \alpha/2} = t_{29; 0,025} = 2,045$

Os dados apresentados acima levam a $n=75$.

Etapa 6: Comparar o valor de n com n'

O valor obtido na Etapa 5 (n) **deve** ser comparado com o número de elementos da amostra piloto (n'), definido na Etapa 1.

Se $n \leq n'$, os resultados da amostra piloto podem ser adotados para a estimativa do tempo médio de travessia da população alvo.

Se $n > n'$, **deve** ser coletado no campo um número adicional de dados de tempo de espera, que corresponde à diferença entre n e n' .

Esses dados adicionais também **devem** ser coletados nos dois sentidos, respeitadas as proporções do volume total de pedestres na travessia crítica por sentido.

Para o exemplo da Figura A2.3, **devem** ser coletados 45 novos tempos de espera ($75-30=45$), 23 no sentido A-B (52% de 45) e 22 no sentido B-A (48% de 45). Assim, a amostra n será formada por 39 elementos no sentido A-B ($16+23=39$) e 36 no sentido B-A ($14+22=36$).

d) Estimativa do valor do parâmetro de verificação da necessidade da sinalização semafórica para a travessia crítica ($PVer$)

Esta estimativa é realizada como segue:

- ✓ cálculo da estimativa por ponto do valor do parâmetro de verificação ($PVer_{Pontual}$) por meio da Equação A2.7, na qual $\overline{TME}_{Pontual}$ é o tempo médio de espera determinado com base na amostra (n), e N é o número de pedestres na travessia crítica;

$$PVer_{Pontual} = \overline{TME}_{Pontual} \times N \quad (A2.7)$$

- ✓ cálculo da estimativa do intervalo de confiança do parâmetro de verificação ($PVer_{IC}$), para o nível de significância adotado (ver Equação A2.8), sendo e_0 o erro calculado para a estimativa do tempo médio de espera (ver Equação A2.3) e N o número de pedestres na travessia crítica.

$$PVer_{IC} = PVer_{Pontual} \pm (e_0 \times N) \quad (A2.8)$$

Portanto, os valores limites do intervalo de confiança são:

Limite inferior: $[LI = PVer_{Pontual} - (e_0 \times N)]$

Limite superior: $[LS = PVer_{Pontual} + (e_0 \times N)]$

A verificação da necessidade da implantação da sinalização semafórica **deve** ser feita com base na comparação dos valores limites de ($PVer_{IC}$) com o valor crítico de 4.750 (pedestres/hora)x segundo:

- ✓ para $LI > 4.750$, a implantação da sinalização semafórica é justificada pelo critério;
- ✓ para $LS < 4.750$, a implantação da sinalização semafórica não é justificada pelo critério;

- ✓ para os casos em que $LI \leq 4.750 \leq LS$, a decisão para implantação do semáforo fica condicionada a análises complementares por parte do técnico encarregado do estudo.

No exemplo mostrado na Figura A2.4, o tempo médio de espera é de 47,1 segundos, o volume determinado para o horário crítico é de 119 pedestres e o erro da estimativa igual a 3,8 segundos.

Neste caso, tem-se que:

$$PVer_{Pontual} = \overline{TME}_{Pontual} \times N = 47,1 \times 119 = 5.605 \text{ (pedestres/hora) x segundo}$$

$$LI = PVer_{Pontual} - (e_0 \times N) = 5.605 - (3,8 \times 119) = 5.153 \text{ (pedestres/hora) x segundo}$$

$$LS = PVer_{Pontual} + (e_0 \times N) = 5.605 + (3,8 \times 119) = 6.057 \text{ (pedestres/hora) x segundo}$$

Conclusão: Para o exemplo prático da Figura A2.3, como $LI > 4.750$, a implantação da sinalização semafórica é justificada pelo critério.

APÊNDICE 3 – Coleta de dados de volume de veículos

Este apêndice apresenta o método mais utilizado para coleta de dados de volume de veículos, tanto direcional como classificatório. Este método não considera a utilização de equipamentos eletrônicos como *palms*, contadores automáticos, entre outros.

O dia escolhido para a realização da coleta deve ser representativo da situação para a qual a programação semafórica será elaborada, caracterizando-se como um dia típico. Esta coleta, por exemplo, pode ser realizada em dias úteis, feriados e finais de semana, de modo a permitir a programação semafórica específica para cada um desses dias.

Ao ser definido o cruzamento em que se deseja realizar a pesquisa, recomenda-se observar, inicialmente, a variação do volume de tráfego ao longo do dia típico, para selecionar os períodos em que a coleta de dados deve ser realizada. Dependendo do local, pode ser necessário fazer a coleta em 2 ou mais períodos ao longo de um dia típico.

A3.1) PESQUISA DIRECIONAL

A pesquisa direcional tem por objetivo determinar o volume de tráfego em cada aproximação, separado por movimento. Seu resultado, expresso em veículos por hora, é utilizado na programação semafórica quando o fluxo de saturação (ver item 6.4 do Manual) for obtido também nessa unidade.

Recomenda-se a presença de um pesquisador para cada aproximação, de modo que cada um colete dados de, no máximo, 3 movimentos (por exemplo, em frente, à direita e à esquerda) o que reduz erros de contagem.

Os pesquisadores de campo, munidos de um croqui do cruzamento e de pranchetas com contadores manuais de tráfego, registram em formulário próprio os veículos de cada movimento a cada intervalo de 15 minutos. A Figura A3.1 mostra um exemplo da folha de campo a ser utilizada pelos pesquisadores.

Os dados são preenchidos de forma acumulada, para que não seja necessário zerar os contadores a cada período de 15 minutos. No campo “observações” o pesquisador deve registrar qualquer evento que possa ter influenciado nos resultados da coleta, inclusive quanto às condições do tempo.

PESQUISA DE VOLUME DE TRÁFEGO DIRECIONAL			
Local:		x	
Aproximação:			
Croqui:			
Pesquisador:			
Data:		Dia da Semana:	
Hora	↖	↑	↗
7:00 - 7:15			
7:15 - 7:30			
7:30 - 7:45			
7:45 - 8:00			
8:00 - 8:15			
8:15 - 8:30			
8:30 - 8:45			
8:45 - 9:00			
9:00 - 9:15			
9:15 - 9:30			
Observações:			

Figura A3.1: Exemplo de folha de campo para pesquisa volumétrica direcional

A3.2) PESQUISA DIRECIONAL E CLASSIFICATÓRIA

A pesquisa direcional e classificatória é realizada quando há necessidade de se conhecer a composição do tráfego no cruzamento. Ela permite a determinação do volume de tráfego equivalente, que é o volume de tráfego coletado expresso em unidades de carro de passeio (ver item 6.2 do Manual). O volume equivalente é utilizado na programação semafórica quando o fluxo de saturação for determinado também em unidades de carro de passeio.

Na pesquisa direcional e classificatória, é importante frisar que será necessária uma quantidade maior de pesquisadores, especialmente se o cruzamento tiver muitas aproximações. Como sugestão, pode-se adotar dois pesquisadores para cada aproximação, de modo que cada um colete dados de tipos específicos de veículos. Estes tipos devem ser indicados no campo apropriado do formulário (ver exemplo da Figura A3.2).

Os dados são coletados a cada 15 minutos e são preenchidos de forma acumulada, para que não seja necessário zerar os contadores a cada período de 15 minutos. No campo “observações” o pesquisador deve registrar qualquer evento que possa ter influenciado nos resultados da coleta, inclusive quanto às condições do tempo.

PESQUISA DE VOLUME DE TRAFEGO DIRECIONAL E CLASSIFICATORIA						
Local:						
Aproximação:						
Croqui:						
Pesquisador:						
Data:			Dia da Semana:			
Selecionar tipo(s) de veículo a ser pesquisado:						
<input type="checkbox"/> Bicicleta <input type="checkbox"/> Motocicleta <input type="checkbox"/> Automóvel <input type="checkbox"/> Ônibus <input type="checkbox"/> Caminhão						
Hora	↙	↑	↘	↖	↑	↗
7:00 - 7:15						
7:15 - 7:30						
7:30 - 7:45						
7:45 - 8:00						
8:00 - 8:15						
8:15 - 8:30						
8:30 - 8:45						
8:45 - 9:00						
9:00 - 9:15						
9:15 - 9:30						
Observações:						

Figura A3.2: Folha de campo para pesquisa volumétrica classificatória e direcional (motocicleta e caminhão/ônibus)

APÊNDICE 4 - Medição do tempo total de espera dos veículos da via secundária

Este apêndice apresenta um método para medição em campo do tempo total de espera (atraso) dos veículos da via secundária de uma interseção onde se estuda a viabilidade da instalação de um semáforo.

A determinação desse atraso é requerida no bloco [e] do fluxograma da Figura 4.9 do item 4.2.2 deste Manual, onde são definidos os critérios para implantação da sinalização semafórica em locais existentes: abordagem veículos.

A4.1 - PROCEDIMENTO PARA COLETA DOS DADOS

a) Atividades preliminares

a.1. Estabelecer qual será a aproximação da via secundária a ser pesquisada para o caso da via ser de mão dupla. A aproximação a ser pesquisada é a mais crítica, ou seja, aquela que apresenta as maiores filas.

a.2. Escolher o horário a ser pesquisado. A pesquisa deve ser feita durante a hora mais crítica em termos de espera, do ponto de vista da via secundária. Para se determinar qual é o horário crítico deve-se fazer vistorias variadas ao longo do dia e, também, conversar com usuários do cruzamento ou moradores e comerciantes do local.

a.3. Uma vez estabelecido o horário a ser pesquisado, o trabalho de campo deve ser planejado, tomando o cuidado de se escolher um dia típico, ou seja, com o comportamento normal do trânsito, para efetuar a pesquisa.

b) Dados a serem coletados

Contar a quantidade de veículos equivalentes que esperam em fila a cada intervalo de 5 segundos, para deixar a via secundária e cruzar ou entrar na principal (empregar a Tabela XXX, do Capítulo 6). Para efeito desse estudo as motos não devem ser contadas, já que as mesmas não são consideradas nos limites estabelecidos no bloco [f] do fluxograma da Figura 4.9 do item 4.2.2 deste Manual. Os resultados devem ser registrados em uma planilha, cujo modelo é mostrado na Figura A4.1. Recomenda-se fazer o trabalho em dupla: um dos pesquisadores conta os veículos e o outro acompanha o tempo e faz as anotações.

Cruzamento:			
Aproximação:		Sentido:	
Data:	hora de início:	hora de término:	
Pesquisadores:			
Observações:			

		segundos												Subtotal	
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60		
minutos	0														
	1														
	2														
	3														
	4														
	5														
	6														
	7														
	8														
	9														
	10														
	11														
	12														
	13														
	14														
	15														
	16														
	17														
	18														
	19														
	20														
	21														
	22														
	23														
	24														
	25														
	26														
	27														
	28														
	29														
30															
minutos	31														
	32														
	33														
	34														
	35														
	36														
	37														
	38														
	39														
	40														
	41														
	42														
	43														
	44														
	45														
	46														
	47														
	48														
	49														
	50														
	51														
	52														
	53														
	54														
	55														
	56														
	57														
	58														
	59														
	TOTAL														

Figura A4.1: Planilha para a coleta de dados

c) Recomendações gerais para a coleta de dados

c.1. Não é viável um único pesquisador contar os veículos equivalentes, acompanhar o tempo e anotar a quantidade contada na planilha. No entanto, existem alternativas para a realização da pesquisa por uma pessoa apenas, usando-se um cronometro que emita um “bip” a cada 5 segundos, ou computadores de mão que tenham recursos especiais de contagem. De qualquer modo, é importante que o método adotado garanta que o resultado da pesquisa não tenha variações significativas entre os valores medidos e a realidade.

c.2. Na realização da pesquisa em dupla, o pesquisador-contador deve contar, mentalmente, o número de veículos equivalentes que está na fila da aproximação pesquisada. Só devem ser contados os veículos que estejam parados (ou seja, foram retidos pelo volume da via principal). Veículos que chegam na aproximação e passam sem parar não devem ser contados. O pesquisador contador deve falar em voz alta o número de veículos da fila apenas quando o pesquisador-anotador der o sinal que terminou o intervalo de 5 segundos.

c.3. O pesquisador que vai anotar os dados deve estar munido de prancheta, formulário específico (planilha mostrada na Figura A4.1) e cronômetro. Antes de iniciar a pesquisa o cabeçalho do formulário deve ser preenchido. Iniciada a pesquisa, dispara-se o cronômetro e o pesquisador-anotador deve emitir um aviso ao final de cada intervalo de 5 segundos (algo como “vai!” ou “já!”) e em seguida anotar no campo apropriado da planilha o valor informado pelo pesquisador-contador. Não havendo veículo na fila, o campo respectivo deve ser preenchido com zero. A planilha tem 12 colunas (o que corresponde a um minuto de pesquisa) e 60 linhas, perfazendo uma hora. Serão preenchidos 720 intervalos na planilha. Para duplas iniciantes, recomenda-se um treinamento antes de iniciar a pesquisa oficial.

A4.2 – TRATAMENTO DOS DADOS

Inicialmente, para cada linha da planilha, deve ser determinada a soma dos valores registrados para cada intervalo de 5s. Essa soma deve ser registrada na coluna “**Subtotal**”. Posteriormente, a soma de todos os valores dessa coluna é realizada e registrada no campo nomeado “**TOTAL**”, localizado na parte inferior da planilha. Esse valor, multiplicado por 5 (cinco), permite a determinação do tempo total de espera dos veículos observados, expresso em veículos equivalentes X segundo.

No CD que acompanha o presente manual é apresentada uma planilha eletrônica para efeito da determinação do tempo total de espera dos veículos da via secundária. Os valores pesquisados em cada intervalo, e o número total de veículos observados no período devem ser digitados nos campos correspondentes.

A planilha eletrônica também indica a conveniência ou não da implantação do semáforo de acordo com os critérios estabelecidos no bloco [f] do fluxograma da Figura 4.9 do item 4.2.2 deste Manual.

APÊNDICE 5 : TESP – Tempo de Espera de Pedestres

A5.1 - APRESENTAÇÃO

TESP é um programa de computador que estima o tempo de espera médio previsto para os pedestres poderem dar início à travessia de uma via em função do fluxo de veículos, do tempo de travessia e do número de faixas. Está disponível tanto no CD que acompanha o Manual de Sinalização Semafórica como na página “(aqui vai um hiperlink com o nome da página onde vai estar o programa)” da Internet. Ele foi desenvolvido para subsidiar o critério de implantação de semáforos em locais em fase de projeto, sob a abordagem “pedestres”, descrito no item 4.2.3 do Manual de Sinalização Semafórica.

A5.2 - PARA CRIAR UM NOVO PROJETO

Para criar um projeto, o primeiro passo é abrir o arquivo TESP – Tempo de espera de pedestres que se encontra disponível nas versões Excel 2003 (extensão xls) e Excel 2007 (extensão xltm).

Provavelmente, ao abrir o arquivo, aparecerá um aviso de segurança informando que parte do conteúdo ativo foi desabilitada. Neste caso, é necessário clicar no botão “Opções”, ao lado do aviso e, em seguida, escolher a alternativa “Habilitar este conteúdo”.

Inserem-se os dados de entrada e pede-se para TESP calcular os resultados. A situação processada pode ser arquivada através do recurso “Salvar como”, atribuindo ao novo arquivo um nome que caracterize o projeto em análise e escolhendo como tipo de arquivo ou a pasta de trabalho Excel 2003 (extensão xls) ou a pasta de trabalho Excel 2007 (extensãoxlsx).

A5.3 - PREENCHIMENTO DOS DADOS

Todos os dados inseridos devem se referir à hora mais crítica do dia que ocorre quando os pedestres têm mais dificuldade para atravessar ou quando o número de pedestres cruzando a via é maior.

Fluxo de pedestres – deve ser informado o total de pedestres durante a hora crítica, somados ambos os sentidos de travessia.

Tempo de travessia – recomenda-se que o projetista considere a velocidade dos pedestres igual a 1,2 m/s. Dependendo das características específicas dos pedestres no local em estudo, podem ser adotados valores inferiores. O tempo de travessia deve considerar apenas o tempo necessário para o pedestre vencer a largura da pista na velocidade considerada; o programa já computa, automaticamente, seu tempo de percepção e reação.

Número de faixas – a quantidade informada refere-se ao número de faixas utilizadas pelos veículos em movimento. Enquanto para o tempo de travessia o que vale é a largura total da pista incluindo eventuais estacionamentos, aqui se deve informar somente o número de faixas, por sentido, em que os veículos circulam. É possível simular até 8 faixas de tráfego; no caso de mão dupla, tal limite se refere à soma das faixas nos dois sentidos de circulação. Em vias com canteiro central, os dados de entrada devem se referir a cada pista em separado. Isto é, a análise deve ser realizada em duas etapas, cada uma como sendo para uma via de mão única. O técnico deve levar em conta o tempo de espera para a travessia de cada pista para efeito da decisão da implantação da sinalização semafórica.

Fluxo – volume estimado de veículos, durante a hora crítica, expresso em termos de unidades de carros de passeio (ucp/h). O valor se refere ao conjunto de todas as faixas com o mesmo sentido de circulação.

A5.4 - METODOLOGIA ADOTADA NO CÁLCULO DO TEMPO DE ESPERA

A filosofia adotada pelo TESP é simular, segundo a segundo, o que ocorre na realidade. O resultado final não é, portanto, deduzido a partir de expressões analíticas, mas contabilizado, diretamente, da interação entre veículos e pedestres que é representada no modelo.

Tanto os veículos como os pedestres são gerados segundo a Distribuição de Poisson. Para cada uma das faixas de rolamento, impõe-se a condição de contorno de que não pode haver mais de um veículo em cada intervalo de 2 segundos numa mesma seção da via, o que implica num fluxo de saturação, por faixa, igual a 1800 ucp/h.

O fluxo informado para certo sentido da via é dividido igualmente entre as faixas correspondentes.

Levando em conta que a geração dos pedestres e veículos é feita através de processo aleatório, o programa simula por dez vezes a hora crítica e fornece a média aritmética das esperas obtidas nessas dez simulações a fim de obter um resultado representativo.

O próximo passo consiste em tratar a travessia de pedestres, em si.

O programa vai somando os tempos de espera individuais dos pedestres desde o momento em que chegam na calçada até o momento em que iniciam sua travessia.

TESP adota um tempo de percepção e reação do pedestre igual a 1 segundo no caso de mão única; no caso de mão dupla, este tempo é aumentado para 2 segundos a fim de representar a maior dificuldade de avaliação de brechas.

Para que um pedestre aceite realizar uma travessia é necessário que os dois seguintes requisitos sejam cumpridos simultaneamente:

- a) Durante a travessia, deve haver, no mínimo, a distância correspondente a uma faixa de rolamento, entre o pedestre e qualquer veículo que se encontre na mesma seção;
- b) Deve haver um intervalo igual ou superior a três segundos entre a passagem do pedestre por um ponto e a passagem de um veículo por esse mesmo ponto.

A5.5 - A RESPEITO DO TESP

A metodologia do programa foi desenvolvida pelo grupo encarregado da elaboração do Manual de Sinalização Semafórica, sendo o aplicativo elaborado pelo Eng. Luis Molist Vilanova, da CET/SP.

APÊNDICE 6 – Fluxo de Saturação

Este apêndice aborda métodos para a coleta de dados e, quando esta não for possível, para a estimativa do fluxo de saturação em aproximações controladas por semáforo.

Os conceitos básicos necessários à perfeita compreensão dos métodos abordados neste apêndice são apresentados ao longo do Manual de Sinalização Semafórica e encontram-se reunidos no seu GLOSSÁRIO.

A6.1 – MÉTODOS PARA MEDIÇÃO DO FLUXO DE SATURAÇÃO

A seguir são apresentados dois métodos para medição do fluxo de saturação e determinação dos tempos perdidos em cada estágio. O usuário deverá selecionar aquele que considerar mais adequado para a situação específica sob análise, levando em conta, também, a disponibilidade de recursos para a coleta dos dados em campo.

Nos dois métodos a presença de motocicletas na determinação do fluxo de saturação e tempos perdidos só será considerada quando o técnico considerar que a presença desses veículos afeta a condição normal de operação dos demais veículos no local.

A6.1.1 – Método 1

a) Objetivo

Permitir a medição *in loco* do **fluxo de saturação por faixa de trânsito** em aproximações controladas por semáforo, juntamente com a determinação dos tempos perdidos inicial e final de cada estágio. Nesse método a fila é observada em separado para cada faixa de trânsito, e não na aproximação como um todo. Ele é derivado do método original do *HCM – Highway Capacity Manual-HCM 2000* (TRB, 2000).

b) Dados a serem coletados

A coleta de dados deve ser realizada mediante o preenchimento da planilha mostrada na Figura A6.1, que reúne observações realizadas em uma única faixa de trânsito.

Como a medição do tempo perdido final só pode ser realizada em ciclos saturados, a coleta de dados deve ser realizada no maior número possível de ciclos nessa condição. Para a faixa estudada, um ciclo é considerado saturado quando a fila da faixa não é completamente dissipada quando inicia a indicação vermelha.

Cidade: _____ Local: _____ Aproximação: _____ Observador: _____ Tempo: _____ Movimentos permitidos na faixa estudada: () Em frente () À direita () À esquerda Data: __/__/__ Hora: _____	Croqui da interseção: <ul style="list-style-type: none"> mostrar todas as faixas das aproximações, com os respectivos movimentos permitidos; identificar a faixa estudada. 			
Posição do veículo na fila da faixa	Ciclo 1 Tempo	Ciclo 2 Tempo	Ciclo 3 Tempo	Ciclo 4 Tempo
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
$f > 20$	f=	f=	f=	f=
Outros dados	Hf =	Hf =	Hf =	Hf =
Duração do tempo verde				
Observações				
Duração do entreverdes	Amarelo = Vermelho geral =			
VP = veículo pesado; C = conversão (E = esquerda, D = direita)				

Figura A6.1: Planilha do Método 1

b.1) Dados específicos dos tempos de passagem dos veículos da fila

Na Tabela A6.1 são apresentados os dados a serem coletados, referentes à passagem dos veículos da fila sobre a linha de retenção, em função da duração do tempo de verde do estágio onde o fluxo de tráfego da faixa é servido.

Tabela A6.1: Tempos de passagem dos veículos sobre a linha de retenção

	Duração do tempo de verde do estágio (s)	
	< 25	≥ 25
Dados a serem coletados	H3, H4, Hfs, Hf	H4, Hfs, Hf

Legenda:

H3 = tempo transcorrido entre o início da indicação verde e a passagem das rodas traseiras do terceiro veículo da fila (em segundos).

H4 = tempo transcorrido entre o início da indicação verde e a passagem das rodas traseiras do quarto veículo da fila (em segundos).

Hfs = tempo transcorrido entre o início da indicação verde e a passagem das rodas traseiras do último veículo da fila que é servido durante o tempo verde (em segundos). A posição desse veículo na fila é “fs”.

Hf = tempo transcorrido entre o início da indicação verde e a passagem das rodas traseiras do último veículo proveniente da fila que passa sobre a linha de retenção (LR). A posição desse veículo na fila é “f”. Em ciclos não saturados, o f-ésimo veículo é efetivamente o último veículo da fila. Em ciclos saturados ele é o último veículo da fila que é servido no estágio (após o término do tempo de verde).

b.2) Instruções gerais para a coleta de dados

- ✓ A coleta de dados não deve ser realizada para ciclos em que a fila presente na faixa no início do verde é inferior a 6 veículos, ou quando o trecho a jusante não tiver capacidade de absorver os veículos que cruzam a linha de retenção.
- ✓ A coleta de dados é encerrada com a medição de Hf, que é o tempo transcorrido entre o início do verde e a passagem das rodas traseiras do último veículo da fila que cruza a linha de retenção, sendo f a posição desse veículo na fila.
- ✓ No caso de $f < 20$, a posição do veículo na fila correspondente ao último valor de tempo registrado é verificada diretamente na planilha da Figura A6.1.
- ✓ No caso de $f > 20$, informar na linha iniciada pelo campo “f >20” o valor de f, registrando no campo correspondente da linha “Outros dados” o valor do Hf.

- ✓ No campo “Observações” registrar para cada ciclo eventos que podem interferir nos resultados das medições, especialmente bloqueio da faixa, indicando o momento em que cada evento ocorreu.

c) Procedimentos de cálculo

Os procedimentos a seguir apresentados devem ser adotados para cada um dos ciclos observados em cada faixa. Deve ser observado que:

- ✓ o fluxo de saturação da faixa é dado pela média aritmética dos fluxos de saturação obtidos para os ciclos observados. O mesmo se aplica para a determinação do tempo perdido inicial e do tempo perdido final;
- ✓ o fluxo de saturação de um grupo de movimentos é obtido pela soma dos fluxos de saturação das faixas de trânsito que o servem;
- ✓ quando o tempo perdido inicial (t_{pin}) determinado para um ciclo for inferior a 1(um) segundo, o ciclo deve ser descartado para efeito do cálculo do tempo perdido, e considerado com reserva no cálculo do fluxo de saturação. Esse valor para o t_{pin} indica que algum problema ocorreu no escoamento da fila ou, eventualmente, na própria coleta dos dados;
- ✓ quando o tempo perdido final (t_{pfn}) determinado para um ciclo for inferior a zero, o ciclo deve ser descartado para efeito do cálculo do tempo perdido final e considerado com reserva no cálculo do fluxo de saturação.
- ✓ ciclos com valores de t_{pin} e t_{pfn} muito superiores aos observados nos demais ciclos considerados podem indicar problema localizado no escoamento da fila ou, eventualmente, na coleta de dados. A critério do responsável pelo estudo, os dados dos ciclos nessa situação podem ser descartados para efeito do cálculo dos tempos perdidos. Os dados desses ciclos também devem ser considerados com alguma reserva no cálculo do fluxo de saturação.

c.1) Para ciclos não saturados

$$Hm = \frac{Hf - H4}{f - 4} \quad (1)$$

$$FS = \frac{3600}{Hm} \quad (2)$$

$$t_{pin} = H4 - (4 \times Hm) \quad (3)$$

sendo:

Hm = *headway* médio para a faixa, no ciclo considerado (em segundos);

FS = fluxo de saturação (em veículos por hora de tempo verde);

t_{pi} = tempo perdido inicial (em segundos);

- H4 = tempo transcorrido entre o início da indicação verde e a passagem das rodas traseiras do quarto veículo da fila (em segundos);
- Hf = tempo transcorrido entre o início da indicação verde e a passagem das rodas traseiras do último veículo proveniente da fila que passa sobre a linha de retenção (em segundos);
- f = posição do último veículo da fila que passa sobre a linha de retenção.

Observações:

- ✓ Quando “f” for menor do que 8 é conveniente descartar o ciclo. Se essa situação for uma constante, no caso de aproximação com tempo de verde inferior a 25 segundos, convém ajustar o método, adotando as Equações 4 e 5 no lugar das Equações 1 e 3. Em qualquer caso, o ciclo deve ser descartado para $f < 6$.

$$Hm = \frac{Hf - H3}{f - 3} \quad (4)$$

$$t_{pin} = H3 - (3 \times Hm) \quad (5)$$

sendo **H3** o tempo transcorrido entre o início da indicação verde e a passagem das rodas traseiras do terceiro veículo da fila (em segundos).

c.2) Para ciclos saturados

$$Hm = \frac{Hfs - H4}{fs - 4} \quad (6)$$

$$FS = \frac{3600}{Hm} \quad (7)$$

$$t_{pin} = H4 - (4 \times Hm) \quad (8)$$

$$Tf = (t_{v,real} + t_{ent}) - Hfs \quad (9)$$

$$t_{pfn} = Tf - [(f - fs) \times Hm] \quad (10)$$

sendo:

- Hm = *headway* médio para a faixa, no ciclo considerado (em segundos);
- FS = fluxo de saturação (em veículos por hora de tempo verde);
- t_{pin} = tempo perdido inicial (em segundos);
- H4 = tempo transcorrido entre o início da indicação verde e a passagem das

- rodas traseiras do quarto veículo da fila (em segundos);
- H_{fs} = tempo transcorrido entre o início da indicação verde e a passagem das rodas traseiras do último veículo proveniente da fila que passa sobre a linha de retenção durante o verde (em segundos);
- T_f = duração do último intervalo de observação, que vai da passagem das rodas traseiras do veículo fs até o final do estágio (em segundos);
- $t_{v,real}$ = duração do tempo de verde do estágio considerado (em segundos);
- t_{ent} = duração do tempo de entreverdes do estágio considerado (em segundos);
- t_{pfn} = tempo perdido final (em segundos);
- f = posição do último veículo da fila que passa sobre a linha de retenção.

Observações

- ✓ Valores de H_f superiores à soma dos tempos de verde e entreverdes indica que houve infração à sinalização semafórica. Nesse caso, os ciclos onde a situação foi observada não devem ser considerados para efeito do cálculo do tempo perdido final.
- ✓ No caso de aproximação com tempo de verde inferior a 25 segundos, quando “fs” for menor do que 10, convém ajustar o método, adotando as Equações 11 e 12 no lugar das Equações 6 e 8. Em qualquer caso, o ciclo deve ser descartado para $fs < 8$.

$$H_m = \frac{H_{fs} - H_3}{fs - 3} \quad (11)$$

$$t_{pin} = H_3 - (3 \times H_m) \quad (12)$$

sendo H_3 o tempo transcorrido entre o início da indicação verde e a passagem das rodas traseiras do terceiro veículo da fila (em segundos).

c.3) Para a faixa considerada

O fluxo de saturação e tempos perdidos para a faixa considerada é calculado pela média aritmética dos valores obtidos para cada ciclo.

d) Exemplo de aplicação do Método 1

Considere os dados da planilha mostrada na Figura A6.2, referente a aproximação **1** do cruzamento das vias “**XX**” e “**YY**”. Essa aproximação é formada por uma única faixa de trânsito, para a qual pretende-se calcular o fluxo de saturação e os tempos perdidos. A interseção é controlada por um semáforo de tempo fixo, com dois estágios (um para atender o tráfego da via “**XX**” e o outro para a via “**YY**”). O estágio que serve a aproximação **1** tem

tempo de verde igual a 40s e entreverdes de 5s. O ciclo é igual a 80 s. A coleta de dados compreendeu 15 ciclos, dois quais 02 não estavam saturados e em 01 foi observada infração à sinalização semafórica.

Na planilha da Figura A6.2 estão apresentados os dados coletados nos quatro primeiros ciclos, para permitir a apresentação dos cálculos do fluxo de saturação e tempos perdidos.

Cidade: Brasília Local: Interseção da Via XX com a Via YY Aproximação: 1, localizada na Via XX Observador: José Tempo: Nublado Movimentos permitidos na faixa estudada: (X) Em frente (X) A direita () A esquerda Data: 07/04/2009 Hora: 08h00m		Croqui da interseção: <ul style="list-style-type: none"> mostrar todas as faixas das aproximações, com os respectivos movimentos permitidos; identificar a faixa estudada. <p>Fazer o desenho</p>		
Posição do veículo na fila	Ciclo 1 Tempo	Ciclo 2 Tempo	Ciclo 3 Tempo	Ciclo 4 Tempo
1				
2				
3				
4	9,43	10,11	10,46	9,80
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17			37,80	
18		38,50		39,67
19	39,20			
20			42,74	43,15
f>20	f= 21	f= 21	f=	f=
Outros dados	Hf=42,13	Hf=46,37	Hf=	Hf=
Duração do tempo verde	40s	40s	40s	40s
Observações		Último veículo passou após a abertura do verde para o fluxo oposto		
Duração do entreverdes	Amarelo = 3s Vermelho geral = 2s			
VP = veículo pesado; C = conversão (E = esquerda, D = direita)				

Figura A6.2: Planilha usada para a coleta de dados (Exemplo M1)

Os dados coletados nos demais ciclos não são apresentados, porém os resultados obtidos para todos os ciclos são apresentados na Tabela A6.2. A seguir apresenta-se, a título de exemplo, os cálculos efetuados para os ciclos 1 e 2.

Cálculos para o Ciclo 1:

$$H4 = 9,43s$$

$$Hfs = 39,20s$$

$$fs = 19$$

$$f = 21$$

$$Hm = \frac{Hfs - H4}{fs - 4} = \frac{39,20 - 9,43}{19 - 4} = 1,98 \text{ segundos / veiculo}$$

$$FS = \frac{3600}{Hm} = \frac{3600}{1,98} = 1818,18 \text{ veículos / hora}$$

$$t_{pin} = H4 - (4 \times Hm) = 9,43 - (4 \times 1,98) = 1,51 \text{ segundos}$$

$$Tf = (t_{v,real} + t_{ent}) - Hfs = (40 + 5) - 39,20 = 5,80 \text{ segundos}$$

$$t_{pin} = Tf - [(f - fs) \times Hm] = 5,80 - [(21 - 19) \times 1,98] = 1,84 \text{ segundos}$$

Cálculos para o Ciclo 2:

$$H4 = 10,11s$$

$$Hfs = 38,50s$$

$$fs = 18$$

$$f = 21 \text{ (como } Hf > 45, t_{pin} \text{ não será calculado)}$$

$$Hm = \frac{Hfs - H4}{fs - 4} = \frac{38,50 - 10,11}{18 - 4} = 2,03 \text{ segundos / veiculo}$$

$$FS = \frac{3600}{Hm} = \frac{3600}{2,03} = 1773,40 \text{ veículos / hora}$$

$$t_{pin} = H4 - (4 \times Hm) = 10,11 - (4 \times 2,03) = 1,99 \text{ segundos}$$

Tabela A6.2: Resumo dos valores calculados para os 15 ciclos observados

Ciclo	FS (vph)	$t_{pin}(s)$	$t_{pfn}(s)$	Obs.
1	1818,18	1,51	1,84	
2	1773,40	1,99	-----	Des. à sinalização
3	1714,29	2,06	0,90	
4	1690,14	1,28	1,07	
5	1884,82	1,15	1,82	
6	1592,92	2,52	1,80	
7	1967,21	1,11	-----	Ciclo não saturado
8	1967,21	1,10	1,84	
9	1904,76	1,69	1,77	
10	1894,74	1,88	-----	Ciclo não saturado
11	1773,4	1,90	2,51	
12	1914,89	1,40	2,21	
13	1791,04	1,07	1,67	
14	1935,48	1,71	2,36	
15	1988,95	1,32	1,99	
Média	1840,76	1,58	1,82	
Desvio-Padrão	116,35	0,43	0,47	

De acordo com os resultados da Tabela A6.2, tem-se que:

- ✓ Fluxo de saturação (FS) = 1840 vph
- ✓ Tempo perdido inicial (t_{pin}) = 1,58 s
- ✓ Tempo perdido final (t_{pfn}) = 1,82 s

Considerando o estudo realizado como um estudo piloto, o técnico deverá verificar se é necessário retornar a campo para coletar dados adicionais. Para tanto, deverá adotar o procedimento indicado no item A6.2.1.

A6.1.2 – Método 2

a) Objetivo:

Permitir a medição *in loco* do **fluxo de saturação por grupo de movimentos, que se utilizam de uma ou mais faixas de trânsito** em aproximações controladas por semáforo, juntamente com a determinação dos tempos perdidos inicial e final de cada estágio. Ele é derivado do método original da *Road Note 34* (RRL, 1963) e do método adotado pela Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET, 2001).

Durante a aplicação do método, o semáforo **deve** estar operando em tempo fixo visando simplificar o procedimento de coleta de dados em campo.

b) Dados a serem coletados

A coleta de dados deve ser realizada mediante o preenchimento da planilha mostrada na Figura A6.3, que reúne observações realizadas em uma única faixa de trânsito ou num conjunto de faixas.

A decisão de observar mais de uma faixa em conjunto deve considerar as características de utilização das faixas quando a corrente de tráfego inclui conversões à direita e/ou à esquerda.

O tempo de duração do estágio (verde mais entreverdes) é dividido em intervalos com duração de 5 segundos. Se esse tempo não for múltiplo de 5s, o último intervalo (NI) terá duração inferior a 5s. Para o desenho do histograma de tráfego, a altura desse intervalo é ajustada (ver item c).

A contagem é iniciada na abertura do tempo de verde e realizada até o instante em que a fila de veículos é dissipada. Se a dissipação da fila ocorrer no meio de um intervalo de 5 segundos durante o período de verde, este intervalo é desconsiderado. Para cada intervalo considerado é feita a contagem do número de veículos que cruza a linha de retenção, e esse valor é registrado cumulativamente na coluna correspondente ao ciclo observado (ver Figura A6.3).

Instruções gerais para a coleta de dados

- ✓ A contagem deve ser feita no momento em que o veículo cruzar a linha de retenção.
- ✓ Só serão considerados os dados coletados referentes a ciclos em que a saída dos veículos da fila se desenvolva no patamar de saturação por um período de, no mínimo, cinco intervalos e o trecho a jusante do semáforo puder acomodar totalmente esses veículos.
- ✓ Quando o método é usado para medir o fluxo de saturação global em um conjunto de faixas de trânsito, o registro do número de veículos partindo por intervalo deve ser interrompido quando deixa de existir fila em uma ou mais faixas.

- ✓ O número de intervalos (onde a contagem foi realizada) a ser considerado para a determinação do fluxo de saturação é o número de intervalos onde a indicação verde é observada ao longo de toda sua extensão, excluindo-se o primeiro intervalo.
- ✓ O número de veículos observado no primeiro intervalo é considerado para a determinação do tempo perdido inicial.
- ✓ Intervalos formados, total ou parcialmente, pelo tempo de entreverdes somente são considerados para a determinação do tempo perdido final (t_{pfn}).
- ✓ No campo “Observações” registrar para cada ciclo eventos que podem interferir nos resultados das medições, especialmente bloqueio da faixa, indicando o momento em que cada evento ocorreu.

MANUTENÇÃO

Cidade: _____
 Local: _____
 Aproximação: _____
 Observador: _____
 Tempo: _____

Movimentos permitidos na(s) faixa(s) estudada(s):
 () Em frente () A direita () A esquerda

Data: __/__/__ Hora: _____

Croqui da interseção:

- mostrar todas as faixas das aproximações, com os respectivos movimentos permitidos;
- identificar a(s) faixa(s) estudada(s).

Intervalo		Número de veículos acumulados por intervalo					Média (acum.)	Média por intervalo
Ordem	Duração (s)	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	...	Ciclo NC		
1	00-05							
2	05-10							
3	10-15							
4	15-20							
5	20-25							
6	25-30							
7	30-35							
8	35-40							
9	40-45							
10	45-50							
11	50-55							
12	55-60							
13	60-65							
14	65-70							
---	...							
n	NI							
Outros								
Duração do tempo verde (s)								
Saturado?								
Duração do Entreverdes								
Observações								

Legenda:

NC = número de ciclos observados

NI = último intervalo associado ao tempo de duração do estágio

Tempo verde = duração do tempo de verde do estágio no ciclo considerado

Saturado? Preencher cada coluna com a letra "S", para ciclo saturado ou "N", caso contrário.

Figura A6.3: Planilha para a coleta de dados (Método 2)

c) Procedimentos de cálculo

Deve ser observado que:

- ✓ quando o tempo perdido inicial (t_{pin}) determinado para um ciclo for inferior a 1 (um) segundo, tem-se a indicação de que algum problema ocorreu no escoamento da fila ou, eventualmente, na própria coleta dos dados; nesse caso o ciclo deve ser descartado para o cálculo do tempo perdido inicial e considerado com reserva no cálculo do fluxo de saturação;
- ✓ quando o tempo perdido final (t_{pfn}) determinado para um ciclo for inferior a zero, o ciclo deve ser descartado para efeito do cálculo do tempo perdido final e considerado com reserva no cálculo do fluxo de saturação.
- ✓ ciclos com valores de t_{pin} e t_{pfn} muito superiores aos observados nos demais ciclos considerados podem indicar problema localizado no escoamento da fila ou, eventualmente, na coleta de dados. A critério do responsável pelo estudo, os dados dos ciclos nessa situação podem ser descartados para efeito do cálculo dos tempos perdidos. Os dados desses ciclos também devem ser considerados com alguma reserva no cálculo do fluxo de saturação.

Inicialmente deve ser determinado o número de veículos que partiu da fila em cada intervalo (NVI_j), a partir do número acumulado registrado na planilha para cada intervalo (NV_j). Usar a Equação 13.

O fluxo de saturação para cada ciclo é determinado pela Equação 14, levando em conta somente os intervalos saturados, excluindo o primeiro e, no caso de ciclos saturados, os que contenham parte do entreverdes.

Essa determinação deve ser realizada somente se o número de intervalos saturados for igual ou superior a cinco.

$$NVI_j = NV_j - NV_{j-1} \quad (13)$$

$$FS = \frac{\sum_{j=2}^{NIS} NVI_j}{5 \times (NIS - 1)} \quad (14)$$

sendo:

FS = fluxo de saturação do ciclo, expresso em veículos por segundo;

NVI_j = número de veículos no intervalo “j”;

NIS = número de intervalos saturados do ciclo, excluindo os que contenham parte do entreverdes.

Para expressar o FS do ciclo em veículos por hora, multiplica-se o valor obtido na Equação 14 por 3600.

O valor do Fluxo de Saturação para o grupo de movimentos é então determinado pela média aritmética dos valores de FS, obtidos para cada ciclo pesquisado. O mesmo procedimento aplica-se para a determinação dos tempos perdidos inicial e final para o grupo de movimentos.

Recomenda-se que os valores encontrados para NVI_j sejam representados graficamente, na forma de um histograma de tráfego, para complementar a análise.

d) Desenho do histograma de tráfego

O histograma referente aos dados coletados apresenta no eixo horizontal todos os intervalos que compõem o estágio estudado, e no eixo vertical o número de veículos.

Para cada intervalo saturado é registrado o valor calculado do número médio de veículos, determinado a partir dos valores obtidos pela Equação 13 (ver exemplo de aplicação do Método 2).

No caso do último intervalo ter duração diferente de 5s, a altura desse intervalo é ajustada pela Equação 15, e sua base é desenhada como tendo 5s.

$$A_{NI} = \frac{MI_{NI}}{D_{NI}} \times 5 \quad (15)$$

sendo:

A_{NI} = altura do último intervalo para o desenho do histograma (em veículos);

MI_{NI} = número médio de veículos no último intervalo;

D_{NI} = duração do último intervalo (em segundos).

O tempo perdido inicial para cada ciclo é obtido pela Equação 16 e o tempo perdido final pela Equação 17.

No caso da determinação do tempo perdido final são considerados os intervalos formados, no todo ou em parte, pelo tempo de entreverdes. Isto é, o último intervalo e, em alguns casos, o penúltimo. Para o cálculo desse tempo o ciclo deve ser saturado.

$$t_{pin} = 5 - \frac{NVI_1}{FS} \quad (16)$$

$$t_{pfn} = DIEV - \frac{NVIEV}{FS} \quad (17)$$

sendo:

t_{pin} = tempo perdido inicial, em segundos;

NVI_1 = número de veículos no intervalo 1;

FS = fluxo de saturação, em veículos por segundo;

t_{pfn} = tempo perdido final, em segundos;

DIEV = soma da duração dos intervalos que contenham parte do entreverdes, em segundos;

NVIEV = soma do número de veículos dos intervalos que contenham parte do entreverdes.

e) Exemplo de aplicação do Método 2

Considere os dados da planilha mostrada na Figura A6.4, referente a aproximação **1** do cruzamento das vias Avenida AAA e Rua BBB. Essa aproximação é formada por quatro faixas de trânsito, e a interseção é controlada por um semáforo de tempo fixo. No período da coleta de dados o ciclo era de 120, e o estágio que serve a aproximação estudada tem tempo de verde igual a 62s e entreverdes igual a 5 s. A coleta de dados compreendeu 16 ciclos. Não foi observada infração à sinalização semafórica.

MANUSCITA

Cidade: Palmeiras Local: Avenida AAA X Rua BBB Aproximação: Avenida AAA (sentido Norte/Sul) Observador: João Pedro Tempo: _____ Movimentos permitidos na(s) faixa(s) estudada(s): (X) Em frente () A direita () A esquerda Data: __/__/__ Hora: _____		Croqui da interseção: <ul style="list-style-type: none"> • mostrar todas as faixas das aproximações, com os respectivos movimentos permitidos; • identificar a(s) faixa(s) estudada(s). <p style="text-align: center;">(inserir figura)</p>															
Intervalo		Número de veículos acumulados por intervalo															
Ordem	Duração (s)	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12	Ciclo 13	Ciclo 14	Ciclo 15	Ciclo 16
1	00-05	7	5	7	5	8	5	4	12	10	9	9	4	5	6	7	10
2	05-10	12	15	19	15	16	21	13	25	20	20	15	13	13	13	18	18
3	10-15	21	18	24	26	26	27	23	33	26	28	22	24	19	24	28	27
4	15-20	30	25	32	35	34	32	34	39	36	34	31	33	30	31	38	37
5	20-25	40	37	44	46	40	41	43	46	45	42	38	41	39	39	50	46
6	25-30	48	46	55	52	48	49	49	52	56	49	46	47	46	49	58	53
7	30-35	57	51	61	63	55	55	56	59	65	60	56	56	50	56	65	59
8	35-40	67	60	69	73	63	65	64	64	73	65	67	63	59	63	71	65
9	40-45	76	70	76	80	68	73	75	73	84	74	75	73	69	70	77	70
10	45-50	79	80	84	90	77	82	86	82	94	83	83	80	77	77	82	78
11	50-55	83	88	93	98	85	86	94	89	102	90	91	84	90	86	87	87
12	55-60	91	95	97	102	93	87	101	100	112	96	99	91	98	93	90	93
13	60-65	96	102	102	108	97	90	108	106	119	109	108	95	105	98	93	103
14	65-67	98	105	103	109	98	92	109	107	123	110	109	97	106	100	95	105
Duração do tempo verde (s)		62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
D_{Ni}																	
Saturado?		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Duração do Entreverdes		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Observações																	
Legenda:		Tempo verde = duração do tempo de verde do estágio no ciclo considerado Saturado? Preencher cada coluna com a letra "S", para ciclo saturado ou "N", caso contrário.															

Figura A6.4: Planilha usada na coleta de dados do exemplo

Nesse método os dados da planilha mostrada na Figura A6.4 são inicialmente empregados para a determinação do número de observações por intervalo, mediante o uso da Equação 13, aplicada aos intervalos de cada ciclo, considerados de modo isolado.

Para o Ciclo 1, por exemplo, o número de observações no intervalo 5 é dado por:

$$NVI_5 = NV_5 - NV_4 = 40 - 30 = 10$$

Na Tabela A6.3 são apresentados os valores do número de observações calculados para todos os intervalos dos 16 ciclos observados. São apresentados, também, os valores calculados para o fluxo de saturação (FS), tempo perdido inicial (t_{pin}) e final (t_{pfn}) por ciclo.

MANUSCRIPTA

Tabela A6.3: Resumos dos valores calculados para os 16 ciclos observados.

Intervalo		Número de veículos por intervalo																Média por intervalo
Ordem	Duração (s)	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Ciclo 11	Ciclo 12	Ciclo 13	Ciclo 14	Ciclo 15	Ciclo 16	
1	00-05	7	5	7	5	8	5	4	12	10	9	9	4	5	6	7	10	7,1
2	05-10	5	10	12	10	8	16	9	13	10	11	6	9	8	7	11	8	9,6
3	10-15	9	3	5	11	10	6	10	8	6	8	7	11	6	11	10	9	8,1
4	15-20	9	7	8	9	8	5	11	6	10	6	9	9	11	7	10	10	8,4
5	20-25	10	12	12	11	6	9	9	7	9	8	7	8	9	8	12	9	9,1
6	25-30	8	9	11	6	8	8	6	6	11	7	8	6	7	10	8	7	7,9
7	30-35	9	5	6	11	7	6	7	7	9	11	10	9	4	7	7	6	7,6
8	35-40	10	9	8	10	8	10	8	5	8	5	11	7	9	7	6	6	7,9
9	40-45	9	10	7	7	5	8	11	9	11	9	8	10	10	7	6	5	8,3
10	45-50	3	10	8	10	9	9	11	9	10	9	8	7	8	7	5	8	8,2
11	50-55	4	8	9	8	8	4	8	7	8	7	8	4	13	9	5	9	7,4
12	55-60	8	7	4	4	8	1	7	11	10	6	8	7	8	7	3	6	6,6
13	60-65	5	7	5	6	4	3	7	6	7	13	9	4	7	5	3	10	6,3
14	65-67	2	3	1	1	1	2	1	1	4	1	1	2	1	2	2	2	1,7
Total de veículos		98	105	103	109	98	92	109	107	123	110	109	97	106	100	95	105	
FS (veic./s)		1,53	1,64	1,64	1,76	1,55	1,49	1,76	1,60	1,85	1,58	1,64	1,58	1,69	1,58	1,51	1,51	
t_{pin} (s)		0,42	1,95	0,73	2,16	-0,16	1,64	2,73	-2,50	-0,41	-0,70	-0,49	2,47	2,04	1,2	0,36	-1,62	
t_{pfm} (s)		2,42	0,90	3,34	3,02	3,77	3,64	2,45	2,63	1,05	-1,86	0,90	3,20	2,27	2,57	3,69	-0,95	

O fluxo de saturação, expresso em veículos por segundo, é determinado pela Equação 14, enquanto os tempos perdidos inicial e final são calculados pelas Equações 16 e 17, respectivamente.

Para todos os ciclos considerados, observa-se que:

NIS = 11 (os intervalos de 2 a 12);

NUS = 12;

PIEV = 13 (número do primeiro intervalo que contém tempo de entreverdes);

UIEV = 14 (número do último intervalo que contém tempo de entreverdes).

A título de exemplo, são apresentados a seguir os cálculos efetuados para os Ciclos 1 e 2.

Ciclo 1

$$FS_1 = \frac{\sum_{j=2}^{12} NVI_j}{5 \times 11} = \frac{5+9+9+10+8+9+10+9+3+4+8}{55} = \frac{84}{55} = 1,53 \text{ veíc./s}$$

$$t_{pin_1} = 5 - \frac{NVI_1}{FS_1} = 5 - \frac{7}{1,53} = 0,42 \text{ s}$$

$$t_{pfm_1} = \sum_{j=13}^{14} DIEV_j - \frac{\sum_{j=13}^{14} NVI_j}{FS_1} = 7 - \frac{5+2}{1,53} = 2,42 \text{ s}$$

Ciclo 2

$$FS_2 = \frac{\sum_{j=2}^{12} NVI_j}{5 \times 11} = \frac{10+3+7+12+9+5+9+10+10+8+7}{55} = \frac{90}{55} = 1,64 \text{ veíc./s}$$

$$t_{pin_2} = 5 - \frac{NVI_1}{FS_2} = 5 - \frac{5}{1,64} = 1,95 \text{ s}$$

$$t_{pfm_2} = \sum_{j=13}^{14} DIEV_j - \frac{\sum_{j=13}^{14} NVI_j}{FS_2} = 7 - \frac{7+3}{1,64} = 0,90 \text{ s}$$

Fluxo de saturação e tempos perdidos para o grupo de movimentos

Como foram observados ciclos com $t_{pin_i} < 1$ e $t_{pfn_i} < 0$, o técnico encarregado do estudo deve analisar os dados e decidir sobre as observações que serão descartadas para os cálculos.

A seguir apresenta-se uma das possibilidades de tratamento dos dados:

- i. o fluxo de saturação é determinado pela média aritmética dos valores obtidos para os 16 ciclos observados;

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^{16} FS_i}{16} = \frac{1,53 + 1,64 + 1,64 + 1,76 + 1,55 + 1,49 + 1,76 + 1,60 + 1,85 + 1,58 + 1,64 + 1,58 + 1,69 + 1,58 + 1,51 + 1,51}{16} = \frac{25,91}{16} = 1,62 \text{ veíc./s}$$

- ii. para o cálculo do t_{pin} , os ciclos com $t_{pin_i} < 1$ não são considerados. Assim, o número de observações fica reduzido a 7;

$$t_{pin} = \frac{\sum_{i=1}^7 t_{pin_i}}{7} = \frac{1,95 + 2,16 + 1,64 + 2,73 + 2,47 + 2,04 + 1,2}{7} = \frac{14,19}{7} = 2,03 \text{ s}$$

- iii. no caso do cálculo do t_{pfn} , são excluídas as observações em que $t_{pfn_i} < 0$, e o número de observações consideradas é igual a 14.

$$t_{pfn} = \frac{\sum_{i=1}^{14} t_{pfn_i}}{14} = \frac{2,42 + 0,90 + 3,34 + 3,02 + 3,77 + 3,64 + 2,45 + 2,63 + 1,05 + 0,90 + 3,20 + 2,27 + 2,57 + 3,69}{14} = \frac{35,85}{14} = 2,56 \text{ s}$$

De acordo com o tratamento executado, o fluxo de saturação em veículos por hora, calculado pelo produto de FS por 3600, é igual a 5.832. Em resumo:

- ✓ FS = 5.832 vph
- ✓ $t_{pin} = 2,03$ s
- ✓ $t_{pfn} = 2,56$ s

O técnico responsável pelo estudo poderia adotar outro tratamento, como por exemplo, descartar alguns ciclos integralmente.

A partir da estratégia adotada, o técnico deverá verificar se é necessário retornar a campo para coletar dados adicionais. Para tanto, deverá adotar o procedimento indicado no item **A6.2.1**.

Desenho do histograma de tráfego

No exemplo, o último intervalo tem duração de 2 segundos. Assim, para o desenho do histograma, sua altura deve ser ajustada de acordo com a Equação 15. Desse modo, o escoamento do tráfego nesse intervalo pode ser visualmente comparado com o ocorrido nos demais intervalos. A Figura A6.5 mostra o histograma elaborado com o número médio de veículos por intervalo, que estão apresentados na Tabela A6.2.1.

$$A_{NI} = \frac{MI_{NI}}{D_{NI}} \times 5 = \frac{1,7}{2} \times 5 = 4,2$$

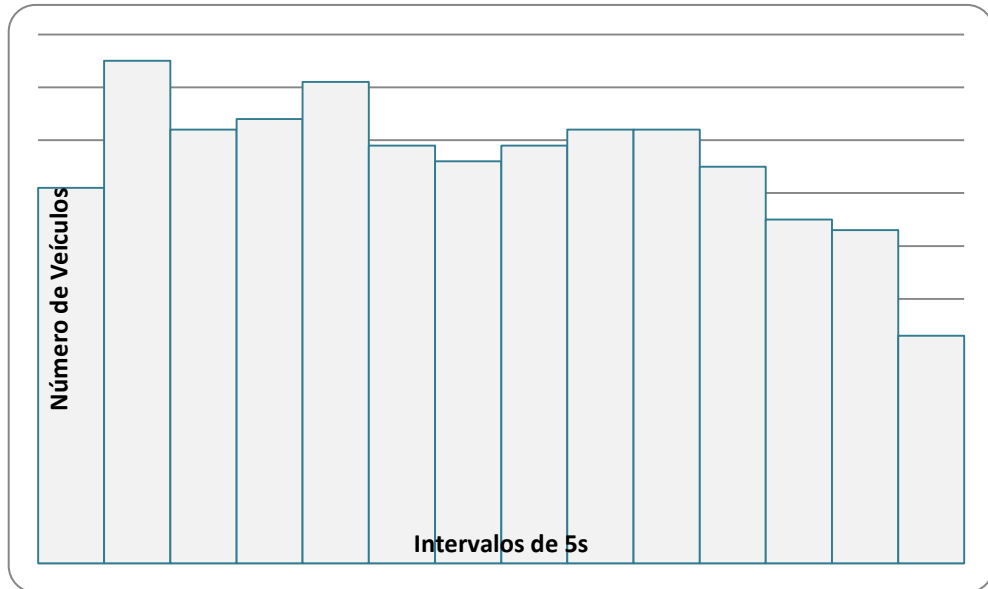


Figura A6.5 : Histograma de tráfego para a aproximação estudada

A6.2 – ANÁLISE E TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Os valores calculados para o FS, t_{pin} e t_{pfn} , baseados nas coletas de campo, devem ser avaliados para verificar, primeiramente, se representam as condições gerais do local estudado. Para tanto, deve ser adotado o procedimento descrito na seção A6.2.1, que permite a determinação do número mínimo de ciclos a ser observado para que os resultados sejam estatisticamente significativos (para um nível de significância desejado).

Para analisar como os valores médios obtidos em campo representam os correspondentes valores reais do local estudado, para um nível de significância desejado, a determinação do intervalo de confiança para FS, t_{pin} e t_{pfn} deve ser realizada mediante o procedimento descrito na seção A6.2.2.

A6.2.1 - Determinação do número de ciclos a ser observado

Para a determinação do número de ciclos a ser observado deverá ser realizado um estudo piloto, de acordo com o seguinte procedimento:

- ✓ para cada faixa (ou grupo de movimentos) selecionada, realizar a coleta de dados em, pelo menos, 12 ciclos saturados. O número de ciclos observados corresponde ao tamanho da amostra piloto(n');
- ✓ para cada ciclo calcular FS, t_{pin} e t_{pfn} ;

- ✓ determinar o valor médio de FS, t_{pin} e t_{pfn} para cada faixa (ou grupo de movimentos), juntamente com os respectivos desvios padrões (ver Equações 18 e 19).

$$MVar = \frac{\sum_{i=1}^{n'} Var_i}{n'} \quad (18)$$

$$SVar = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n'} (Var_i - MVar)^2}{n'-1}} \quad (19)$$

sendo:

Var_i = i-ésimo valor observado da variável considerada;

n' = número de observações da variável considerada;

MVar = valor médio da variável considerada;

SVar = desvio-padrão para a variável considerada.

O tamanho da amostra de ciclos a ser adotada na realização da pesquisa de campo, levando em conta os resultados do estudo piloto é definido pelas Equações 20 e 21. A Equação 20 deve ser empregada para cada uma das variáveis de interesse do estudo (FS, t_{pin} e t_{pfn}).

O maior valor da amostra obtido para as variáveis de interesse (Equação 21) deve ser selecionado como o número de ciclos a ser observado. Esse valor deve incluir, no mínimo, um número de ciclos saturados iguais a nt_{pfn} .

$$nVar = \left(t_{n'-1, \alpha/2} \right)^2 \times \frac{SVar^2}{E^2} \quad (20)$$

$$n = \text{Máximo}(nS, nt_{pin}, nt_{pfn}) \quad (21)$$

sendo:

$nVar$ = número de ciclos a ser observado para determinação da variável considerada (nFS , nt_{pin} , nt_{pfn});

$SVar$ = desvio-padrão para a variável considerada;

E = erro de estimação admissível (expresso na unidade da variável estudada); sua definição depende dos recursos disponíveis, da experiência do técnico e do objetivo do projeto;

n' = número de ciclos observado no estudo piloto;

α = nível de significância desejado para a estimativa;

$t_{n-1, \alpha/2}$ = valor da distribuição de *Student* para $(n-1)$ graus de liberdade e nível de significância “ α ” (ver Tabela A6.7);

n = número de ciclos a ser observado na faixa considerada (ou para o grupo de movimentos considerado), para a determinação de todas as variáveis do estudo.

Para a faixa (ou grupo de movimentos) do estudo piloto:

- ✓ se $n \leq n'$, e o número de ciclos saturados em n' atender a necessidade do estudo, a amostra piloto já é suficiente para a estimação;
- ✓ se $n > n'$, ou o número de ciclos saturados em n' não atender a necessidade do estudo, deve-se observar um número adicional de ciclos para complementar o tamanho mínimo da amostra.

a) Exemplo de aplicação para o exemplo do Método 1

Considerando que os 15 ciclos observados compõem uma amostra piloto, a verificação do tamanho da amostra requer, inicialmente, a determinação do desvio-padrão das variáveis fluxo de saturação (FS), tempo perdido inicial (t_{pin}) e tempo perdido final (t_{pfn}).

É importante lembrar que para o cálculo do t_{pfn} , o número de ciclos considerados foi igual a 12, já que dos 15 ciclos dois não eram saturados e em um ciclo houve infração à sinalização semafórica.

A Tabela A6.4 reúne os dados necessários à determinação do tamanho da amostra, onde a média e o desvio padrão de cada variável foram determinados pelas Equações 18 e 19, respectivamente. Os valores do erro admissível para cada uma das variáveis consideradas foram arbitrados, levando em conta variações em torno do valor médio obtido na amostra piloto, dentro de intervalos aceitáveis para este tipo de estudo. Destaca-se que quanto menor o erro admissível maior o tamanho da amostra.

Tabela A6.4: Dados para o cálculo do tamanho da amostra (n)

VARIÁVEL	N'	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	ERRO ADMISSÍVEL
Fluxo de saturação (vph)	15	1840	116,35	80
t_{pin} (s)	15	1,58	0,43	0,3
t_{pfn} (s)	12	1,82	0,47	0,3

Para um nível de significância (α) de 5%, o tamanho da amostra para cada variável é definido pela Equação 28. Assim:

$$nFS = (t_{14;0,025})^2 \times \frac{116,35^2}{80^2} = 2,145^2 \times \frac{116,35^2}{80^2} = 9,73 \Rightarrow 10 \text{ ciclos}$$

$$nt_{pin} = (t_{14;0,025})^2 \times \frac{0,43^2}{0,3^2} = 2,145^2 \times \frac{0,43^2}{0,3^2} = 9,45 \Rightarrow 10 \text{ ciclos}$$

$$nt_{pfn} = (t_{14;0,025})^2 \times \frac{0,47^2}{0,3^2} = 2,201^2 \times \frac{0,47^2}{0,3^2} = 11,89 \Rightarrow 12 \text{ ciclos}$$

Como para todas as variáveis o valor de $n < n'$, pode-se concluir que a amostra do estudo piloto é suficiente para produzir uma estimativa com erro menor ou igual ao erro admissível especificado, para $\alpha = 5\%$.

b) Exemplo de aplicação para o exemplo do Método 2

Os dados necessários à determinação do tamanho da amostra para o estudo descrito no exemplo do Método 2 são apresentados na Tabela A6.5. A média e o desvio padrão de cada variável foram determinados pelas Equações 26 e 27, respectivamente.

Tabela A6.5: Dados para o cálculo do tamanho da amostra (n)

VARIÁVEL	N'	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	ERRO ADMISSÍVEL
Fluxo de saturação (vph)	16	5832	360	250
t_{pin} (s)	7	2,03	0,51	0,4
t_{pfn} (s)	14	2,56	1,00	0,5

Para um nível de significância (α) de 5%, o tamanho da amostra para cada variável é definido pela Equação 28. Assim:

$$nFS = (t_{15;0,025})^2 \times \frac{360^2}{250^2} = 2,131^2 \times \frac{360^2}{250^2} = 9,42 \Rightarrow 10 \text{ ciclos}$$

$$nt_{pin} = (t_{6;0,025})^2 \times \frac{0,51^2}{0,4^2} = 2,447^2 \times \frac{0,51^2}{0,4^2} = 9,73 \Rightarrow 10 \text{ ciclos}$$

$$nt_{pfn} = (t_{13;0,025})^2 \times \frac{1,00^2}{0,5^2} = 2,160^2 \times \frac{1,00^2}{0,5^2} = 18,66 \Rightarrow 19 \text{ ciclos}$$

Os resultados mostram que, para o nível de significância especificado, a amostra que assegurará estimativas com erros iguais ou inferiores aos erros admissíveis deve ser formada por 19 ciclos saturados.

Na Tabela A6.6 são apresentados diferentes valores para o tamanho da amostra, calculados com base nos dados de n' , média e desvio-padrão mostrados na Tabela A.6.5 para diferentes valores do erro admissível.

Tabela A6.6: Análise de sensibilidade do tamanho da amostra com relação ao erro admissível e ao nível de significância

VARIÁVEL	ERRO ADMISSÍVEL	TAMANHO DA AMOSTRA (N)	
		Para $\alpha = 5\%$	Para $\alpha = 10\%$
FS (vph) Média = 5832 DP = 360 $n' = 16$	80	92	63
	100	59	41
	120	41	28
	140	31	21
	160	23	16
	180	19	13
t_{pin} (s) Média = 2,03 DP = 0,51 $n' = 7$	0,3	18	13
	0,4	10	06
	0,5	07	04
t_{pfn} (s) Média = 2,56 DP = 1,00 $n' = 14$	0,3	52	36
	0,4	30	21
	0,5	19	13

Os cálculos foram realizados com o uso da Equação 20, e com os valores da estatística “t” mostrados na Tabela A6.7.

Por meio dos dados da Tabela A6.6, verifica-se que o tamanho da amostra piloto para as diferentes variáveis garantem, para o nível de significância de 10%, um erro inferior a: 160 vph para o fluxo de saturação; 0,4 s para o tempo perdido inicial; e 05 s para o tempo perdido final.

A.6.2.2 - Estimativa por intervalo

Em muitos casos, pode ser interessante, além de estimar o valor pontual das variáveis FS, t_{pin} e t_{pfn} (estimativa por ponto), realizar a estimativa do intervalo onde o valor médio populacional da variável está inserido, com um nível de significância especificado pelo técnico para essa estimativa.

O intervalo de confiança é obtido pela Equação 22, e sua semi-amplitude (e_o) é calculada pela Equação 23.

$$\text{Intervalo de Confiança (IC)} = \text{Valor médio da variável} \pm e_o \quad (22)$$

$$e_o = t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (23)$$

sendo:

$t_{n-1, \alpha/2}$ = valor da distribuição de Student para $(n-1)$ graus de liberdade e nível de significância " α " (ver Tabela A6.7)

n = número de elementos da amostra;

S = desvio-padrão amostral.

A semi-amplitude do intervalo de confiança (" e_o ") corresponde ao erro da estimativa "E" (ver Equação 20).

Tabela A6.7: Valores de $t_{n'-1, \alpha/2}$

Grau de liberdade ($n'-1$)	$t_{n'-1, \alpha/2}$ para nível de significância - α (%)	
	$\alpha = 5\%$ ($\alpha / 2 = 2,5\%$)	$\alpha = 10\%$ ($\alpha / 2 = 5,0\%$)
4	2,776	2,132
5	2,571	2,015
6	2,447	1,943
7	2,365	1,895
8	2,306	1,860
9	2,262	1,833
10	2,228	1,812
11	2,201	1,796
12	2,179	1,782
13	2,160	1,771
14	2,145	1,761
15	2,131	1,753
16	2,120	1,746
17	2,110	1,740
18	2,101	1,734
19	2,093	1,729
20	2,086	1,725
21	2,080	1,721
22	2,074	1,717
23	2,069	1,714
24	2,064	1,711
25	2,060	1,708
26	2,056	1,706
27	2,052	1,703
28	2,048	1,701
29	2,045	1,699
30	2,042	1,697
∞	1,960	1,645

a) Estimativa por intervalo para os resultados do exemplo do Método 1

Neste caso, a estimativa será feita para um nível de significância igual a 5%.

a.1) Estimativa por intervalo do fluxo de saturação

$$n = 15$$

$$FS = 1840 \text{ vph}$$

$$S = 116,35 \text{ vph}$$

$$t_{14;0,025} = 2,145$$

$$e_o = t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{S}{\sqrt{n}} = 2,145 \times \frac{116,35}{\sqrt{15}} = 64,44 \text{ vph}$$

Com o uso da Equação 23, o intervalo para a estimativa do fluxo de saturação é igual a:

$$\text{Fluxo de saturação (IC)} = 1840 \pm 64,44 = [1775,56; 1904,44]$$

a.2) Estimativa por intervalo do tempo perdido inicial

$$n = 15$$

$$t_{pin} = 1,58 \text{ vph}$$

$$S = 0,43 \text{ vph}$$

$$t_{14;0,025} = 2,145$$

$$e_o = t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{S}{\sqrt{n}} = 2,145 \times \frac{0,43}{\sqrt{15}} = 0,24 \text{ s}$$

Com o uso da Equação 23, o intervalo para a estimativa do tempo perdido inicial é igual a:

$$t_{pin} \text{ (IC)} = 1,58 \pm 0,24 = [1,34; 1,82]$$

a.3) Estimativa por intervalo do tempo perdido final

$$n = 12$$

$$t_{pfn} = 1,82 \text{ vph}$$

$$S = 0,47 \text{ vph}$$

$$t_{11;0,025} = 2,201$$

$$e_o = t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{S}{\sqrt{n}} = 2,201 \times \frac{0,47}{\sqrt{12}} = 0,30 \text{ s}$$

Com o uso da Equação 23, o intervalo para a estimativa do tempo perdido final é igual a:

$$t_{\text{pfn}} (\text{IC}) = 1,82 \pm 0,30 = [1,52; 2,12]$$

b) Estimativa por intervalo para os resultados do exemplo do Método 2

Neste caso, a estimativa será feita para um nível de significância igual a 10%, com base nos resultados da aplicação do Método 2.

b.1) Estimativa por intervalo do fluxo de saturação

$$n = 16$$

$$FS = 5832 \text{ vph}$$

$$S = 360 \text{ vph}$$

$$t_{15;0,05} = 1,753$$

$$e_o = t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{S}{\sqrt{n}} = 1,753 \times \frac{360}{\sqrt{16}} = 157,77 \text{ vph}$$

Com o uso da Equação 23, o intervalo para a estimativa do fluxo de saturação é igual a:

$$\text{Fluxo de saturação (IC)} = 5832 \pm 157,77 = [5674,23; 5989,77]$$

b.2) Estimativa por intervalo do tempo perdido inicial

$$n = 7$$

$$t_{\text{pin}} = 2,03 \text{ vph}$$

$$S = 0,51 \text{ vph}$$

$$t_{6;0,05} = 1,943$$

$$e_o = t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{S}{\sqrt{n}} = 1,943 \times \frac{0,51}{\sqrt{7}} = 0,37 \text{ s}$$

Com o uso da Equação 23, o intervalo para a estimativa do tempo perdido inicial é igual a:

$$t_{\text{pin}} (\text{IC}) = 2,03 \pm 0,37 = [1,66; 2,40]$$

b.3) Estimativa por intervalo do tempo perdido final

$$n = 14$$

$$t_{pfn} = 2,56 \text{ vph}$$

$$S = 1,00 \text{ vph}$$

$$t_{13;0,05} = 1,771$$

$$e_o = t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{S}{\sqrt{n}} = 1,771 \times \frac{1,00}{\sqrt{14}} = 0,47 \text{ s}$$

Com o uso da Equação 23, o intervalo para a estimativa do tempo perdido final é igual a:

$$t_{pfn} \text{ (IC)} = 2,56 \pm 0,47 = [2,09; 3,03]$$

A6.3 – MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DO FLUXO DE SATURAÇÃO

Para projeto de implantação de nova sinalização semafórica, o fluxo de saturação, em geral, precisa ser estimado.

Na literatura técnica internacional e nacional são apresentados diferentes métodos para estimativa do fluxo de saturação. Dentre estes o projetista deverá selecionar aquele que mais se ajusta à situação em estudo. **Deve** levar em conta, também, os pressupostos básicos adotados no desenvolvimento de cada método e as condições gerais dos locais onde os dados necessários a esse desenvolvimento foram coletados.

Um método amplamente empregado internacionalmente para essa estimativa é o do *Highway Capacity Manual* (HCM), publicado nos Estados Unidos pelo *Transportation Research Board* (TRB). Desde sua primeira edição em 1950, o HCM vem sendo aperfeiçoado mediante a incorporação do resultado de estudos realizados tanto nos Estados Unidos quanto em diferentes países. A versão mais recente do manual foi publicada em 2000 (TRB, 2000), sendo esse documento usualmente referido como **HCM 2000**.

O método básico do HCM 2000 é apresentado neste apêndice.

A6.3.1 Expressão geral

O método permite a estimativa do fluxo de saturação para um determinado número de faixas de trânsito mediante a utilização da Equação 24. Nessa expressão, um fluxo básico por faixa, expresso em ucp/h, é ajustado por fatores que refletem as condições gerais das faixas de trânsito a serem analisadas em conjunto.

Para cada grupo de movimentos a ser controlado pela sinalização semafórica **deve-se**, portanto, definir inicialmente o número de faixas de trânsito da aproximação que será utilizada pelo grupo.

$$s = s_o \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_g \times f_p \times f_{bb} \times f_a \times f_{LU} \times f_{LT} \times f_{RT} \times f_{Lpb} \times f_{Rpb} \quad (24)$$

sendo:

s = fluxo de saturação para o conjunto de faixas, expresso em vph;

s_o = fluxo de saturação básico por faixa, expresso em ucp/h;

N = número de faixas no conjunto de faixas;

f_w = fator de ajuste para largura da faixa;

f_{HP} = fator de ajuste para presença de veículos pesados;

f_g = fator de ajuste para o greide da aproximação;

f_p = fator de ajuste para presença/atividade de estacionamento;

f_{bb} = fator de ajuste para parada de ônibus junto à interseção;

f_a = fator de ajuste para tipo de área onde a interseção se localiza;

f_{LU} = fator de ajuste para utilização de faixa de trânsito;

f_{LT} = fator de ajuste para conversões à esquerda;

f_{RT} = fator de ajuste para conversões à direita;

f_{Lpb} = fator de ajuste para o impacto da presença de pedestres/ciclistas sobre conversões à esquerda;

f_{Rpb} = fator de ajuste para o impacto da presença de pedestres/ciclistas sobre conversões à direita.

A6.3.2 Fluxo de saturação básico

O HCM 2000 recomenda a adoção de um fluxo de saturação básico (s_o) igual a 1900 ucp/h por faixa. Assim, o fluxo de saturação básico para o conjunto considerado de faixas de trânsito é obtido pela multiplicação desse valor pelo número de faixas do conjunto (N).

A6.3.3 Fatores de ajuste

Fator de ajuste para largura da faixa (f_w)

Este fator é determinado pela Equação 25, para largura de faixas maior ou igual a 2,4m. Em situações onde uma faixa tiver largura superior a 4,8m, o HCM 2000 recomenda tratá-la como duas faixas.

$$f_w = 1 + \frac{(W - 3,6)}{9} \quad (25)$$

sendo W a largura da faixa, em metros.

Fator de ajuste para presença de veículos pesados (f_{HV})

Este fator é calculado pela Equação 26. O HCM 2000 considera veículo pesado todo veículo com mais de quatro pneus tocando o pavimento, e admite um fator de equivalência global para cada veículo pesado igual a 2,0 ucp.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + HV(E_T - 1)} \quad (26)$$

sendo:

HV = percentagem de veículos pesados no grupo de movimentos que utiliza o conjunto de faixas;

E_T = fator de equivalência para veículos pesados ($E_T = 2,0$ ucp/veículo pesado);

No caso de se desejar expressar o fluxo de saturação em unidades de carro de passeio (ucp), esse fator não é incluído no cálculo.

Fator de ajuste para o greide da aproximação (f_g)

O HCM 2000 considera que o greide afeta tanto o comportamento dos carros de passeio quanto dos veículos pesados. A representação desse impacto é realizada por meio do fator f_g , determinado pela Equação 27.

$$f_g = 1 - \frac{G}{200} \quad (27)$$

Sendo G o greide do conjunto de faixas de trânsito que atende o grupo de movimentos considerado, expresso em percentagem.

Fator de ajuste para presença/atividade de estacionamento (f_p)

Este fator é calculado pela Equação 28, cujos elementos são:

- ✓ N = número de faixas de trânsito do conjunto de faixas que atende o grupo de movimentos considerado;
- ✓ N_m = número de manobras de estacionamento por hora.

$$f_p = \frac{N - 0,1 - \frac{18N_m}{3600}}{N} \quad (28)$$

A Equação 28 se aplica quando $0 \leq N_m \leq 180$.

O número de manobras de estacionamento por hora (N_m) deve ser observado na faixa destinada a estacionamento adjacente ao conjunto de faixas analisado, e a uma distância de até 75m a montante da linha de retenção.

No caso de $N_m > 180$, adotar 180. O valor de f_p deve ser sempre maior ou igual a 0,050. No caso de não haver presença/atividade de estacionamento, adotar f_p igual a 1,00.

Fator de ajuste para parada de ônibus junto à interseção (f_{bb})

Este fator só deve ser calculado para o caso de existir parada de ônibus localizada junto à aproximação (até 75m a montante ou a jusante), a qual bloqueie o tráfego na faixa adjacente à parada durante as operações de embarque/desembarque de passageiros.

No cálculo de f_{bb} por meio da Equação 29, se o número de ônibus que para por hora (N_B) for superior a 250, adotar esse valor como limite superior prático. Também, o valor a adotar para f_{bb} deve ser maior ou igual a 0,05.

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14,4N_B}{3600}}{N} \quad (29)$$

sendo:

N = número de faixas no conjunto de faixas que serve o grupo de movimentos considerado;

N_B = número de ônibus que para por hora.

Fator de ajuste para tipo de área onde a interseção se localiza (f_a)

Esse fator indica que as interseções localizadas nos centros comerciais das áreas urbanas (CBD- *Central Business District*) têm operação menos eficiente do que as localizadas nas demais áreas.

Assim, para interseções localizadas em CBD, f_a é igual a 0,90. Para as interseções situadas nas demais áreas, f_a é igual a 1,00.

Fator de ajuste para utilização de faixa de trânsito (f_{LU})

Este fator procura representar o efeito do uso diferenciado das faixas que atendem ao grupo de movimentos considerado sobre o respectivo fluxo de saturação.

A determinação de f_{LU} , efetuada por meio da Equação 30, considera o fluxo observado na faixa mais carregada do conjunto de faixas que serve o grupo de movimentos considerado.

$$f_{LU} = \frac{V_g}{(V_{gl}N)} \quad (30)$$

sendo:

V_g = fluxo global observado em todas as faixas de trânsito que servem o grupo de movimentos considerado, em veículos por hora;

V_{gl} = fluxo observado na faixa mais carregada, em veículos por hora;

N = número de faixas de trânsito que atende ao grupo de movimentos considerado

Em locais onde o grupo de movimentos considerado utiliza apenas uma faixa, ou em situações em que a demanda se aproxima da capacidade, pode ser adotado $f_{LU}=1,0$.

Fator de ajuste para conversões à esquerda (f_{LT})

A determinação do fator f_{LT} depende de vários aspectos, dentre os quais:

- ✓ disponibilidade ou não de faixas exclusivas para a conversão à esquerda;
- ✓ tipo de controle semafórico das conversões à esquerda (protegido, permitido ou protegido mais permitido);
- ✓ proporção dos veículos de uma faixa compartilhada que fazem conversão à esquerda;
- ✓ fluxo de tráfego oposto, no caso das conversões permitidas mas não protegidas.

O impacto da presença de pedestres e ciclistas sobre as conversões à esquerda é considerado em um fator a parte (ver fator f_{Lpb}).

Para o caso das conversões à esquerda serem protegidas em um dado estágio, o fator de ajuste f_{LT} assume o valor 0,95 no caso dessas conversões ocorrerem em faixas exclusivas. Quando as conversões são realizadas em faixas compartilhadas, f_{LT} é determinado pela Equação 31.

$$f_{LT} = \frac{1}{1 + 0,05P_{LT}} \quad (31)$$

sendo P_{LT} a proporção de veículos da faixa compartilhada que faz o movimento de conversão à esquerda.

A determinação de f_{LT} para o caso das situações de controle onde as conversões não são protegidas é mais complexa. Nesse caso, recomenda-se a consulta ao Apêndice C do Capítulo 16 do HCM 2000.

Na ausência de conversões à esquerda $f_{LT} = 1,0$.

Fator de ajuste para conversões à direita (f_{RT})

A determinação desse fator é função do tipo de faixa onde a conversão à direita é realizada. O impacto da presença de pedestres e ciclistas sobre as conversões à direita é representado por um fator de ajuste específico (ver fator f_{Lpb}).

- ***Conversões em faixa exclusiva***

$$f_{RT} = 0,85$$

- ***Conversões em faixa compartilhada***

O fator é determinado pela Equação 32, sendo P_{RT} a proporção de veículos da faixa compartilhada que faz o movimento de conversão à direita.

$$f_{RT} = 1 - 0,15P_{RT} \quad (32)$$

A Equação 32 é aplicada quando a faixa compartilhada é parte integrante de um conjunto de faixas. Quando a faixa compartilhada for a única faixa disponível para o grupo de movimentos considerado, o fator é determinado pela Equação 33.

$$f_{RT} = 1 - 0,135P_{RT} \quad (33)$$

Em qualquer uma das situações anteriores, o valor adotado para f_{RT} deve ser maior ou igual a 0,05. Esse fator é igual a 1,0 no caso de não ocorrerem conversões à direita no grupo de movimentos considerado.

Fatores de ajuste para o impacto da presença de pedestres/ciclistas sobre conversões à esquerda (f_{Lpb}) e à direita (f_{Rpb})

Estes fatores devem ser calculados no caso dos veículos que recebem indicação verde para realizar o movimento de conversão ter que dar preferência de passagem a pedestres e/ou ciclistas em movimento conflitante, durante todo o verde ou em parte deste.

A determinação desses fatores, necessária somente quando o movimento de conversão veicular não é protegido, é detalhada no Apêndice D do Capítulo 16 do HCM 2000.

Quando os movimentos veiculares de conversão forem protegidos, esses fatores são iguais a 1,0.

MANUSCRIPTA

BIBLIOGRAFIA

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Norma Brasileira ABNT NBR 7995:2004. Sinalização Semafórica– Grupo focal semafórico em alumínio*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BRASIL. *Código de Trânsito Brasileiro*: instituído pela Lei no 9.503, de 23-09-97 – 1ª Edição. Brasília: DENATRAN, 2008.
- CET – Companhia de Engenharia de Tráfego. *Manual de Sinalização Semafórica – Critérios de Programação*. São Paulo: CET, 2001.
- DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito. *Manual de Semáforos*. 2ª Edição. Brasília: DENATRAN, 1984.
- FHWA – Federal Highway Administration. *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways – 2003 Edition. Part 4 – Highway Traffic Signals*. Washington, D.C.: FHWA, 2003.
- ROESS, R.P.; PRASSAS, E.S.; McSHANE, W.R. *Traffic Engineering*. 3rd Edition. New Jersey: Pearson Prentice-Hall, 2004.
- RRL – Road and Research Laboratory. *A Method of Measuring Saturation Flow at Traffic Signals*. Road Note 34. London: RRL, 1963.
- TRB – Transportation Research Board (2000). HCM – Highway Capacity Manual. Washington D.C.: NRC