

Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina
Diretoria de Estudos e Projetos

Manual para Cálculo da Capacidade de Interseções sem Semáforo

Fevereiro/2000



Manual para Cálculo da Capacidade de Interseções sem Semáforo

Notas Preliminares

Esta Publicação é tradução da publicação de origem alemã intitulada **Merkblatt zur Berechnung der Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen, Ausgabe 1991**. Será utilizado pelo Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina para o Cálculo da Capacidade em Interseções sem Semáforo. As diferenças sensíveis, se houverem, entre alguns dados usados na aplicação do processo por força de comportamento dos participantes do trânsito, diferenças entre veículos, etc., por hora serão desconsiderados, pois, as diferenças de resultados, se existirem, não representariam um erro grosseiro a ponto de comprometer a praticidade destes resultados. Mesmo porque, nos levantamentos dos dados e na manipulação destes para a obtenção dos parâmetros utilizados na aplicação do processo, existe tal empirismo que, talvez, uma busca por um preciosismo não seria nem realístico e nem prático.

A opção de traduzir a publicação original e aplicar os seus conceitos é perfeitamente válida, partindo do princípio de que, essa publicação original, desde a sua idealização até sua finalização, foi, sem dúvida, objeto de amplas pesquisas e estudos e não caberia a nós mudar ou adaptar conceitos sem pesquisas e/ou estudos conduzidos propriamente. Se assim procedêssemos, isto é, tentássemos adaptar a publicação original sem estes cuidados, aí sim estaríamos incorrendo em erros grosseiros quando da aplicação do método. Caberá ao DER-SC, portanto, no futuro, promover pesquisas, estudos e observações do método aqui contido.

Com a divulgação desta Publicação objetivamos, portanto, suprir o DER-SC de ferramentas práticas e simples para resolver seus problemas relacionados com cálculo da capacidade em interseções sem semáforo.

Talvez algum conceito desta publicação não possa ser aplicado devido à insuficiência de dados. Nestes casos então procurou-se uma outra forma de solucionar o problema com a aplicação de um outro processo, o qual constará em local apropriado. Por força de legislação brasileira e outras diferenças marcantes, poderão aparecer valores diferentes relativamente às diretrizes originais. Estas mudanças, sempre que existirem, estarão devidamente anotadas.

Para finalizar, queremos deixar aqui nossos votos de um bom uso desta publicação, que seja aplicada com critério e racionalidade e que, cada vez mais, tenhamos boas soluções para os nossos problemas na área de engenharia de estradas.

NOTA : O DER - SC não é responsável por erros de tradução porventura existentes.

Diretoria de Estudos e Projetos

Índice

Prefácio	9
1. Generalidades para o Método de Cálculo	11
2. Definições da Regulamentação de Preferencia	13
3. Volumes de Tráfego	15
3.1 Fluxos Preferenciais de Trânsito	15
3.2 Fluxos de Tráfego com Preferencia Subordinada	15
4. Capacidade	17
4.1 Capacidade Básica G	17
4.2 Capacidade Máxima L	20
4.2.1 Fluxos de Segunda Ordem	20
4.3 Reserva de Capacidade R e Capacidade Prática P	21
5. Avaliação da Qualidade do Desenrolar do Tráfego	23
6. Folha de Cálculo	25
Anexo	29
Glossário	33
Bibliografia	35

Prefácio

Como anexo ao manual para semáforos em estradas sem urbanização nas margens (FGSV 1972¹⁾), foi publicado na época um método, com o qual pode ser realizada uma comprovação de capacidade para interseções sem semáforo. O método é fundamentado nos trabalhos de Harders (1968) e Jessen (1968), os quais já são baseados nos trabalhos de Grabe (1954). Foi utilizado intensivamente após a sua introdução na prática. Além disto, este princípio alemão influenciou as diretrizes e manuais de muitos outros países, por último o Highway Capacity Manual (HCM, 1985) norte-americano.

No entanto, experiências práticas levaram a uma certa desconfiança em relação ao manual, já que frequentemente subestimava a real capacidade de acessos e cruzamentos. Além disso, ocorreram críticas sobre diversos detalhes da teoria, sendo este o motivo principal deste método de cálculo.

Portanto, após a adoção do manual de 1972 pelo HCM (1985), surgiu a necessidade de um novo método de cálculo aprimorado para as diretrizes alemãs. O Ministro Nacional para Tráfego promoveu para tanto dois projetos de pesquisa, dos quais resultou um novo método de cálculo (Brilon, Grossmann, 1988 e 1990).

Na concepção deste novo método buscou-se em primeiro plano manter as expressivas vantagens do método anterior de cálculo na sua utilização prática. Este objetivo não somente foi alcançado, mas além disso chegou-se ainda à outras simplificações dignas de menção.

Por outro lado, as perguntas ainda duvidosas ou não respondidas teoricamente também deveriam ser esclarecidas. Isto foi conseguido pelas pesquisas mencionadas e pelo acompanhamento da Comissão de Trabalho 1.8 "Fundamentos Teóricos de Tráfego Rodoviário" da Sociedade de Pesquisa (aquí: Círculo de Trabalho 1.8.1 "Métodos de Cálculo). Além disso, o método novo foi submetido a um teste intensivo na prática.

Em comparação ao manual de 1972 o método de cálculo aqui apresentado engloba as seguintes etapas:

- Os volumes de tráfego de todos os respectivos fluxos devem estar eventualmente divididos/disponíveis conforme categoria de veículo como parâmetros de introdução, assim como também deve ser conhecida a velocidade média da via princi-

pal. A consideração do volume de tráfego de veículos de carga pesada pela sua transformação em unidades de carros de passeio foi mantida inalterada conforme o manual de 1972.

- A capacidade básica de cada fluxo subordinado pode ser lida em gráficos pré-confeccionados. O usuário não precisa mais debater-se com os conceitos de intervalos de limite e de seqüência. Com isto é alcançada uma simplificação no uso do método e ao mesmo tempo uma correção quanto ao manual de 1972. Os novos gráficos representam os resultados da fórmula de capacidade conforme Sieglöch (1973) em conjunto com os intervalos de limite e de seqüência conforme Harders (1976). Por isto, o respectivo fluxo principal determinante é composto, como no manual de 1972, por todos os fluxos preferenciais, independente de sua hierarquia.
- A diminuição da capacidade básica para a capacidade máxima considera por etapas simples de cálculo o congestionamento de fluxos que são preferenciais ao fluxo secundário considerado, porém também de seu lado são obrigados a dar a preferência. Aqui consegue-se também a exata descrição da dependência estatística do congestionamento em fluxos de diversas ordens. Neste ponto de vista o novo manual diferencia-se claramente da versão do ano de 1972.
- A capacidade prática nos respectivos fluxos é apresentada, quando uma reserva de capacidade pré-estabelecida é mantida. Como valor de referência para a reserva necessária de capacidade pode ser considerado **100** unidades de carros de passeio (**UCP**) /h. Mostra-se em todos os casos que pode-se esperar um nível suficiente de qualidade de trânsito na interseção e que o tempo médio de espera de todos os fluxos secundários é inferior a **45,0** segundos.
- O método permite porém ainda um modo de consideração diferenciado. Em dois gráficos é representada a relação entre reserva de capacidade e tempo médio de espera. Por isto, para cada fluxo pode ser determinada aquela reserva de capacidade necessária quando tiver que ser mantido um nível pré-determinado da qualidade de trânsito (por exemplo tempo médio de espera inferior à **40,0** segundos em todos os fluxos secundários). Nestas

1) Original

observações diferenciadas normalmente também poderão ser consideradas como suficientes reservas de capacidade menores do que os valores referenciais de **100 UCP** acima mencionados.

- Para um modo de consideração ainda mais diferenciado, o qual permite principalmente também uma

avaliação do comprimento do congestionamento, está disponível, como complemento para este método do manual, o programa KNOSIMO¹⁾, o qual permite, com auxílio de simulações práticas, uma avaliação do desenrolar do tráfego em interseções sem semáforos.

1. Generalidades para o Método de Cálculo

Através do método de cálculo poderão ser avaliadas a capacidade e a qualidade do desenrolar do tráfego para uma interseção sem semáforo. O método é apropriado tanto para acessos como para cruzamentos. Somente poderá ser utilizado em interseções nas quais é definida uma estrada como preferencial através de sinalização correspondente. As estradas subordinadas na preferência são descritas a seguir como estradas secundárias.

O método permite calcular o maior volume possível para cada fluxo de tráfego obrigado a dar a preferência numa interseção sem semáforo. Pela comparação com os reais volumes de tráfego, poderá ser verificado se a interseção possui capacidade suficiente para os respectivos sub-fluxos. Nestes termos poderá ser decidido se uma outra configuração ou um semáforo será necessário para a garantia da capacidade. Além disso, consegue-se uma avaliação aproximativa da qualidade do tráfego pela agregação das reservas de capacidade para classes de tempo de espera.

O método não é adequado para interseções com a regulamentação total de preferência "direita antes da

esquerda" (sem definição de preferencial) nem para interseções com quebra geométrica acentuada da direção preferencial. A influência de bicicletas e pedestres na capacidade também não poderá ser verificada com este método. Desde que exista um volume relativamente grande de bicicletas e pedestres, então este volume poderá atuar de forma a diminuir a capacidade.

Além disso, a possibilidade de utilização do método ainda poderá ser limitada quando existir um semáforo na estrada principal nas imediações da interseção considerada.

Normalmente ocorrerá um aumento da capacidade, cujo valor no entanto não pode ser estimado por este manual. Os meios de cálculo aqui apresentados pressupõem um comportamento dos motoristas quanto à rigorosa observância das regulamentações de trânsito. Se alguns motoristas cederem seu direito de preferência ou quando veículos das estradas secundárias entrarem impetuosamente na interseção contrariando as leis de trânsito, então poderá ocorrer na realidade também capacidades maiores.

2. Definições da Regulamentação de Preferencia

Para a comprovação prática da capacidade deverão ser considerados todos os fluxos de tráfego que se apresentarem em uma interseção (ver **quadro 1**). Pelos regulamentos de trânsito serão definidas diferentes seqüências de ordem preferencial, superiores ou inferiores, para os fluxos de tráfego em um acesso ou cruzamento sem semáforo.

Com preferência ilimitada em relação a todos os outros fluxos e por isso de ordem $r = 1$ são os seguintes fluxos:

(numeração ver **quadro 1**);

- passagem direta na estrada preferencial (fluxos **2 e 8**)
- saídas à direita¹ (exceção quando existir para este fluxo o sinal "Dê a Preferência" nos casos de existência de ilhas triangulares) (fluxos **3 e 9**)

Subordinado quanto à preferência com a ordem $r = 2$ são os fluxos secundários, os quais precisam observar somente os fluxos de primeira ordem:

- saídas à esquerda (fluxos **1 e 7**)
- entradas à direita (fluxos **6 e 12**)

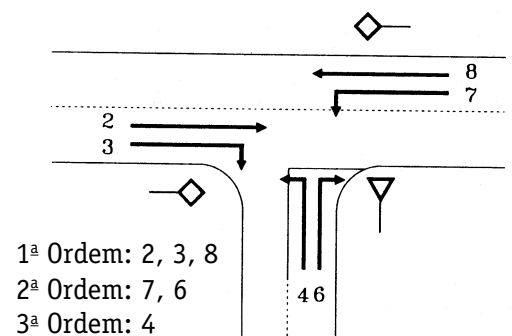
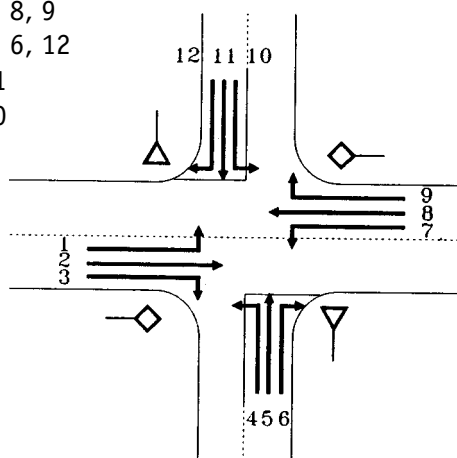
Seguinte a estes vem os fluxos secundários de segunda ordem $r = 3$:

- entradas à esquerda (fluxo **4**)
- cruzamentos (fluxos **5 e 11**)

Finalmente, os fluxos com ordem $r = 4$ não possuem preferência sobre nenhum outro fluxo:

- entradas à esquerda (no caso de um cruzamento) (fluxos **4 e 10**)

- 1ª Ordem: 2, 3, 8, 9
 2ª Ordem: 1, 7, 6, 12
 3ª Ordem: 5, 11
 4ª Ordem: 4, 10



Quadro 1: Fluxos de Tráfego em Interseção sem Semáforo

3. Volumes de Tráfego

Os volumes de tráfego devem ser estimados de acordo com a metodologia em vigor¹⁾.

O volume de tráfego na interseção é indicado pelo volume de tráfego de **todos** os sub-fluxos (isto é todos os fluxos de passagem direta, de saídas e de entradas, sempre individualmente).

No cálculo serão incluídos os volumes horários máximos de projeto que ocorrerem simultaneamente na interseção.

3.1 Fluxos Preferenciais de Trânsito

Para cada fluxo subordinado existirá um denominado fluxo principal determinante (**qa**). Os respectivos fluxos preferenciais a serem observados são compostos de acordo com os fluxos secundários. Cada composição poderá ser vista na **Tabela 1**.

Os fluxos de saídas à direita **q3** e **q9** não se inter-relacionam com os fluxos que cruzam ou que entram. Porém exercem uma influência negativa sobre o fluxo que entra quando não existe uma faixa para as saídas à direita. Por isto, nestes casos os fluxos **q3** e **q9** são adicionados com metade do seu volume total ao volume de tráfego direto (ver **observação 1** na **tabela 1**).

Os fluxos preferenciais de tráfego serão considerados sem uma separação por tipos de veículos. Por isto, o volume de tráfego respectivo de cada fluxo é expresso em *total de veículos automotores/hora* (**vam/h**).

3.2 Fluxos de Tráfego com Preferência Subordinada

Para os fluxos com preferência subordinada, os volumes de tráfego deverão ser conhecidos separadamente conforme tipos de veículos, já que será necessário transformar os volumes existentes em *unidades de carros de passeio/hora* (**UCP/h**). Caso contrário, deverão ser feitas estimativas realísticas para a separação por tipo ou conversões globais (ver **tabela 2**). Deverão ser considerados:

- Composição do tráfego com
 - Motos (M)
 - Automóveis e Veículos de Carga com Peso Total Permitido até 2,8 t (A).
 - Veículo de Carga com Peso Total Permitido acima de 2,8 t. Sem Reboque (C).
 - Veículo de Carga Reboque (R).
- Inclinação longitudinal na área imediatamente próxima à interseção para cada sentido do fluxo secundário. Para o cálculo serão utilizados os fatores da **Tabela 2**. Quando uma composição detalhada conforme tipos de veículos não estiver disponível, então o volume total de veículos poderá ser transformado em *unidades de carro de passeio* através de um fator único aproximativo (F)

Tabela 1: Verificação dos Fluxos Principais Determinantes q_d . (os índices referem-se aos fluxos de tráfego conforme quadro 1)

Movimento do Fluxo Secundário	n^o	Fluxo Principal Determinante q_d
Saídas à Esquerda	1	$q_8 + q_9^{3)}$
	7	$q_2 + q_3^{3)}$
Entradas à Direita	6	$q_2^{2)} + 0,5 \cdot q_3^{1)}$
	12	$q_8^{2)} + 0,5 \cdot q_9^{1)}$
Cruzamento	5	$q_2 + 0,5 \cdot q_3^{1)} + q_8 + q_9^{3)} + q_1 + q_7$
	11	$q_2 + q_3^{3)} + q_8 + 0,5 \cdot q_9^{1)} + q_1 + q_7$
Entradas à Esquerda	4	$q_2 + 0,5 \cdot q_3^{1)} + q_8 + q_1 + q_7 + q_{12}^{4)} + q_{11}$
	10	$q_2 + q_8 + 0,5 \cdot q_9^{1)} + q_1 + q_7 + q_6^{4)} + q_5$

- 1) Quando existir uma faixa para as saídas à direita, q_3 e q_9 não deverão ser considerados.
- 2) Numa estrada preferencial com várias faixas de trânsito, os volumes de tráfego q_2 e q_8 serão aqueles da faixa externa.
- 3) Quando o volume de tráfego de saídas à direita for separado por uma ilha triangular com a sinalização "Dê a Preferência", q_9 e q_3 não precisarão ser considerados.
- 4) Quando o volume de tráfego de entradas à direita for separado por uma ilha triangular com a sinalização "Dê a Preferência", q_6 e q_{12} não precisarão ser considerados.

Tabela 2: Fatores para a Conversão dos Volumes de Tráfego do Fluxo Secundário em UCP

Inclinação Longitudinal ¹⁾	Tipos de Veículos				
	M	A	C	R	F ²⁾
+ 4,0 %	0,7	1,4	3,0	6,0	1,7
+ 2,0 %	0,6	1,2	2,0	3,0	1,4
0,0 %	0,5	1,0	1,5	2,0	1,1
- 2,0 %	0,4	0,9	1,2	1,5	1,0
- 4,0 %	0,3	0,8	1,0	1,2	0,9

- (1) Inclinação longitudinal da faixa de trânsito correspondente ao fluxo em questão: "+" corresponde à acive no sentido da interseção.
- (2) Fator para o cálculo aproximativo quando a composição do volume de tráfego não é conhecida exatamente.

4. Capacidade

A capacidade da interseção somente será garantida quando em todos os fluxos secundários i , a *intensidade existente de tráfego* q_i não for maior do que a *capacidade prática* P_i .

O método de cálculo executa esta verificação em três etapas:

- 1) A verificação da *Capacidade Básica* G_i resulta na quantidade máxima de veículos nos fluxos secundários que poderão realizar suas manobras na interseção.
- 2) As reais *Capacidades Máximas* L_i consideram que fluxos subordinados somente poderão realizar suas manobras quando nos fluxos preferenciais obrigados a dar a preferência não existir represamento
- 3) Finalmente a **Capacidade Prática** P_i garantirá a manutenção de uma *Reserva de Capacidade* R_i e, com isto, a manutenção de uma determinada qualidade do desenrolar do tráfego.

4.1 Capacidade Básica G

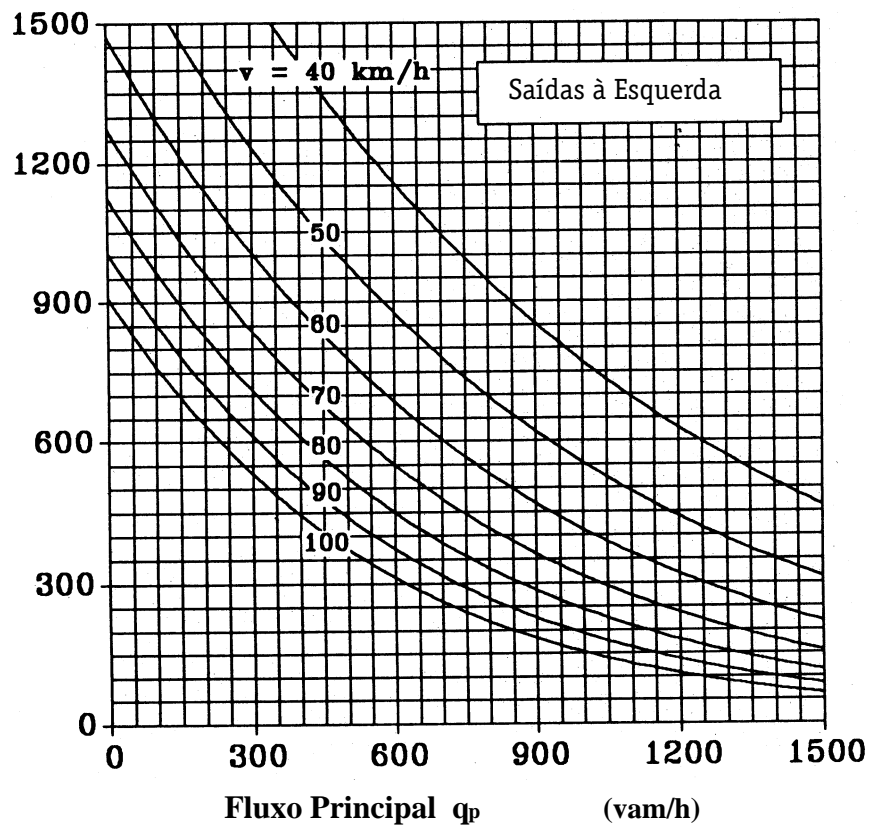
Os valores da capacidade básica G_i para os respectivos fluxos secundários i ($i = 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12$) resultam dos **Quadros 2a** até **2d** na unidade **UCP/h**. Nestes quadros, a capacidade básica é mostrada graficamente em forma de curvas para cada movimento de trânsito em função do fluxo principal determinante q_d (na unidade **vam/h** conforme **tabela 1**).

A escolha das curvas correspondentes depende da velocidade média V_m do tráfego da via preferencial na área da interseção. Deve-se decidir em cada caso se a velocidade admissível pode ser aplicada. Dentro das possibilidades, a velocidade média real (40...100 km/h) deveria ser estimada.

Valores intermediários de velocidades podem ser interpolados.

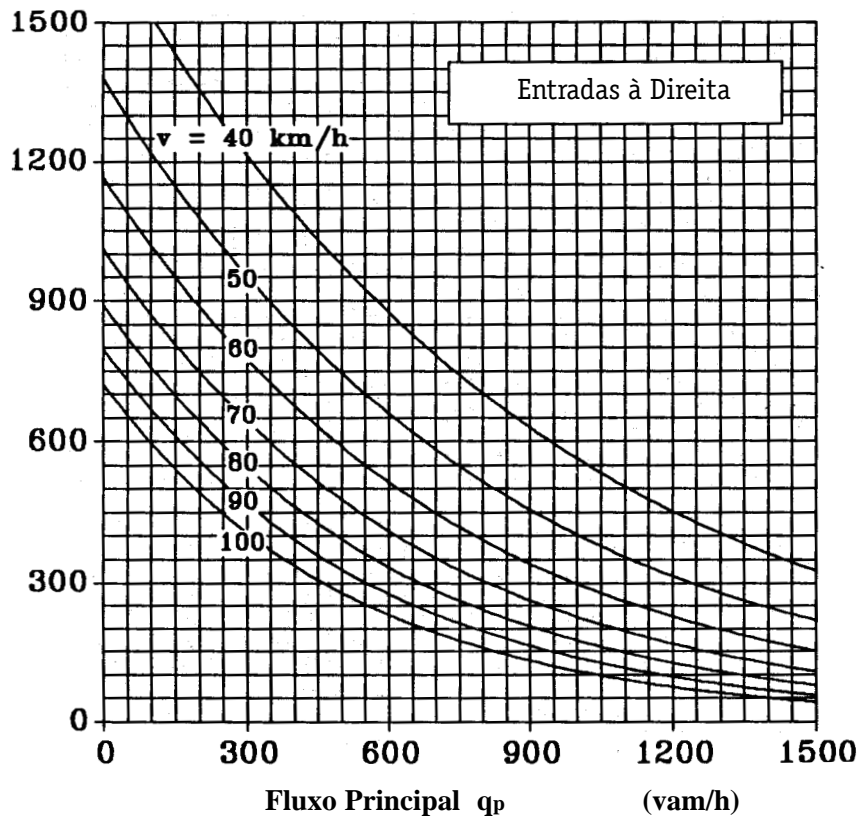
Em casos de visibilidade desfavorável, V_m é corrigido conforme a **Tabela 3**. Eventualmente, os acréscimos de V_m nas duas sub-tabelas deverão ser somados.

Capacidade Básica G (UCP/h)



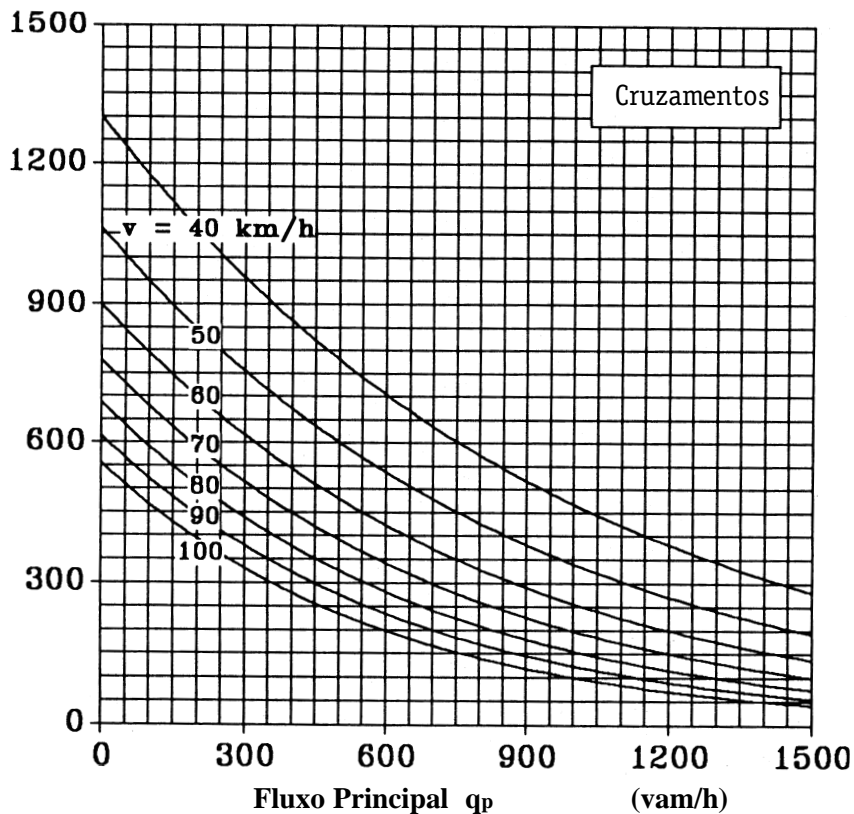
Quadro 2a : Capacidade Básica para o Movimento Saídas à Esquerda (fluxos 1, 7)
Manual para Cálculo da Capacidade de Interseções sem Semáforo - 02/2000

Capacidade Básica G (UCP/h)



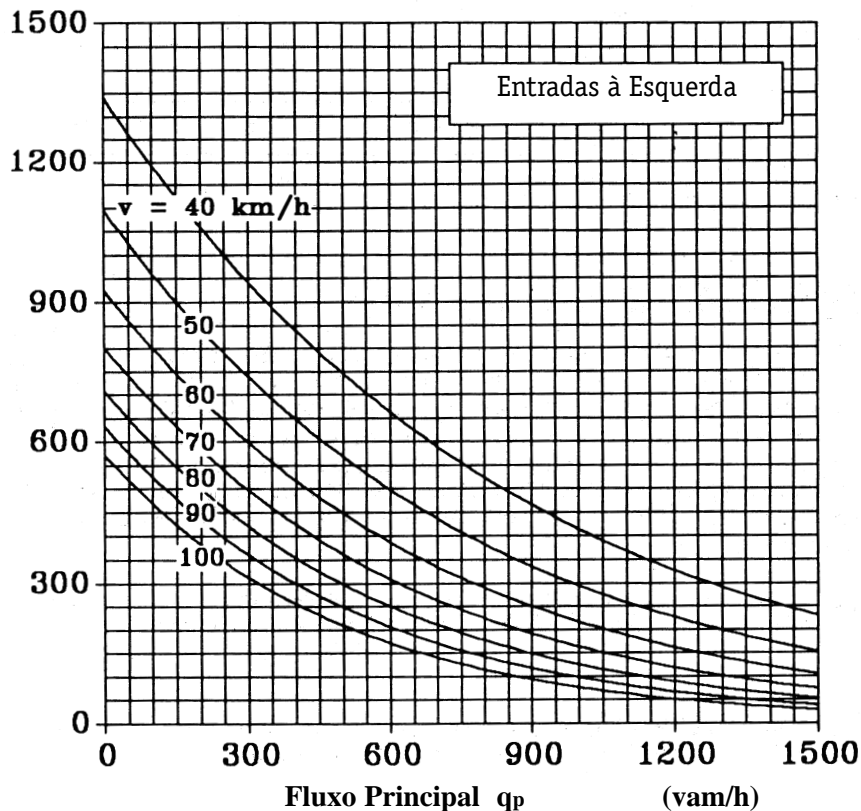
Quadro 2b : Capacidade Básica para o Movimento *Entradas à Direita* (fluxos 6, 12)

Capacidade Básica G (UCP/h)



Quadro 2c : Capacidade Básica para o Movimento *Cruzamentos* (fluxos 5, 11)

Capacidade Básica G (UCP/h)



Quadro 2d : Capacidade Básica para o Movimento Entradas à Esquerda (fluxos 4, 10)

Tabela 3: Acréscimo Fictício para a Velocidade Média V_m considerando Condições Limitadas de Visibilidade

δ	25° - 35°	35° - 45°	45° - 55°	55° - 65°	65° - 90°
dv_m	10,0	7,5	5,0	2,5	0

S	0 - 40 m	40 - 80 m	80 - 120 m	120 - ... m
dv_m	15,0	10,0	5,0	0

δ = ângulo de cruzamento em graus ($180^\circ = \pi$)

S = distância de visibilidade em (m)

dv_m = aumento fictício da V_m em km/h (nos quadros 2a até 2d)

4.2 Capacidade Máxima L

$$L_5 = p_x \cdot G_5 \quad (4)$$

4.2.1 Fluxos de Segunda Ordem

Para fluxos secundários de segunda ordem [saídas à esquerda (**1, 7**) e entradas à direita (**6, 12**)], a *Capacidade Máxima Real L* é igual à *Capacidade Básica G*.

$$L_i = G_i \quad (1)$$

para $i = 1, 6, 7, 12$

4.2.2 Fluxos de Terceira e Quarta Ordem

Nos fluxos subordinados com ordens $r = 3$ ou $r = 4$ [isto é, os fluxos secundários que cruzam ou que entram à esquerda (**4, 5, 10 e 11**)], deverá ser considerado que somente poderão realizar suas manobras quando nos correspondentes fluxos preferenciais não existirem mais represamentos. Para cada fluxo secundário i a probabilidade da não existência de represamento $p_{0,i}$ poderá ser calculada com:

$$p_{0,i} = 1 - a_i = 1 - \frac{q_i}{L_i} \quad (2)$$

com

$i = 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12$

$a_i =$ grau de saturação do fluxo secundário i [-]

$q_i =$ volume de tráfego existente no fluxo

secundário i (UCP/h)

$L_i =$ capacidade máxima do fluxo secundário i (UCP/h)

(desde que para i seja válida ordem $r \geq 3$, então L_i inicialmente deverá ser determinado conforme **equação 4**).

A real capacidade máxima L resultará então pela diminuição da capacidade básica G com o fator p_0 :

Caso 1: Acesso

Afim de verificar a capacidade máxima das entradas à esquerda (**fluxo 4** com ordem $r = 3$), a sua capacidade básica deverá ser diminuída com a probabilidade da não-existência de represamento no **Fluxo 7** (saídas à esquerda):

$$L_4 = p_{0,7} \cdot G_4 \quad (3)$$

Caso 2: Cruzamento

No caso de um cruzamento, inicialmente deverão ser calculados os valores p_0 para as saídas à esquerda **1** e **7**. Com isto, as fórmulas para o cálculo de diminuição nos fluxos de **terceira** ordem (fluxos de cruzamento **5** e **11**) são:

$$L_{11} = p_x \cdot G_{11}$$

com

$$p_x = p_{0,1} \cdot p_{0,7}$$

Somente agora os valores $p_{0,5}$ e $p_{0,11}$ serão calculados conforme **Equação 2**.

Afim de verificar em um cruzamento também as capacidades máximas para os fluxos de entrada **4** e **10** (**ordem $r = 4$**), primeiramente serão determinados outros fatores auxiliares $p_{z,5}$ e $p_{z,11}$:

$$p_{z,i} = f(p_{y,i}) \quad (5)$$

onde:

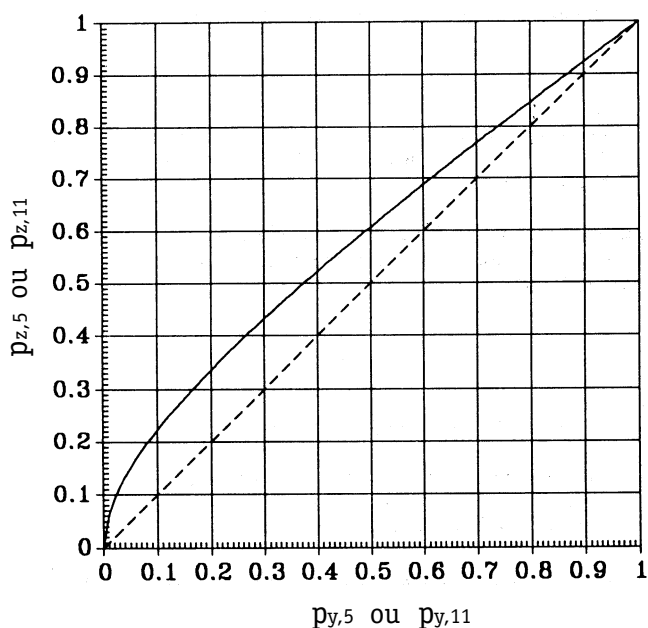
$i = 5, 11$

$$p_{y,i} = p_x \cdot p_{0,i}$$

$f =$ representação de utilização do **Quadro 3** [isto é, o produto $p_{y,i}$ é usado como grandeza de entrada (eixo horizontal) no quadro].

A relação representada no **Quadro 3** conforme a **Equação 5** considera a dependência estatística entre as condições de represamento nos fluxos de ordem **2** e **3**. A capacidade máxima L dos fluxos de entradas à esquerda resultará portanto de:

$$L_4 = p_{z,11} \cdot p_{0,12} \cdot G_4 \quad (6)$$



Quadro 3 : Fator Corretivo para o Decréscimo na consideração das Dependências Estatísticas entre Fluxos de Segunda e Terceira Ordem.

$$L_{10} = p_{z,5} \cdot p_{0,6} \cdot G_{10}$$

Quando o tráfego de entradas à direita (**fluxos 6 ou 12**) for separado por uma ilha triangular com a sinalização “Dê a Preferência”, então **p_{0,6}** ou **p_{0,12}** não precisam ser observados na **Equação (6)** (ver **tabela 1, observação 4**).

4.2.3 Faixas Compartilhadas

Caso 1: Via Secundária

Quando vários fluxos de tráfego da via secundária utilizam a mesma faixa de trânsito na imediata proximidade da interseção para realizarem cada uma sua manobra de conversão, teremos então uma *faixa compartilhada*. Em uma faixa compartilhada, os veículos dos respectivos fluxos parciais se perturbam mutuamente. A capacidade máxima geral da faixa compartilhada **L_m** é calculada da seguinte maneira:

$$\frac{1}{L_m} = \sum \frac{b_i}{L_i} \quad (7)$$

com

$$i = 4, 5, 6 \text{ ou } 10, 11, 12$$

L_m capacidade da faixa compartilhada (UCP/h)

b_i volume do fluxo de tráfego **i** no volume total da faixa compartilhada (--)

$$b_i = q_i / q_m$$

$$q_m = \sum q_i \quad (\text{UCP/h})$$

L_i capacidade para o fluxo de tráfego **i** (UCP/h)

Caso 2: Via Preferencial

No caso de faixas compartilhadas na estrada preferencial, a situação é a condução simultânea do tráfego de passagem direta junto com o de saídas à direita (**fluxos 2 e 3 ou 8 e 9**) em **uma única** faixa única de trânsito as considerações que surgem desta situação são contempladas suficientemente através da **Tabela 1**.

Quando não estão disponíveis faixas separadas para os veículos que saem à esquerda (**fluxos 1 e 7**), então os veículos seguintes dos fluxos de primeira ordem **2 e 3 ou 8 e 9** podem ser perturbados pelos veículos represados daqueles fluxos. Para uma estimativa grosseira dos prejuízos decorrentes deste caso, as probabilidades **p_{0,i*}** ou **p_{0,7*}** de que não haverá represamento nas correspondentes faixas compartilhadas poderão ser determinadas da seguinte maneira:

$$p_{0,i} = 1 - \frac{1 - p_{0,i}}{1 - \frac{q_j \cdot t_{Bj} + q_k \cdot t_{Bk}}{3600}} \quad (8)$$

com

$$i = 1 \text{ ou } 7$$

$$j = 2 \text{ ou } 8$$

$$k = 3 \text{ ou } 9$$

q_j = volume de tráfego do fluxo **j** (vam/h)

q_k = volume de tráfego do fluxo **k** (vam/h)

t_B = demanda de tempo de um veículo no fluxo **j** ou **k** (s)

$$(1,7 \text{ s} < t_B < 2,5 \text{ s, p. ex.: } t_B = 2 \text{ s})$$

Afim de considerar a influência do represamento nas vias preferenciais sobre a capacidade dos fluxos secundários subordinados **4, 5, 10 e 11**, nas equações **3, 4** ou **5** os valores **p_{0,i}** ou **p_{0,7}** conforme **Equação 2** deverão ser substituídos pelos valores **p_{0,1}** ou **p_{0,7}** conforme **Equação 8**.

4.3 Reserva de Capacidade R e Capacidade Prática P

O valor de *Capacidade Máxima L* representa uma situação de trânsito onde se encontram tempos de espera inaceitavelmente longos e grandes comprimentos de represamento. Isto significa que a capacidade máxima não poderá ser utilizada para um dimensionamento prático, mas que deverão ser observados valores limites inferiores. Quanto maior for a diferença entre a *Capacidade Máxima L_i* e o *Volume Existente de Tráfego q_i* nos fluxos **i** obrigados a dar a preferência, tanto menos os correspondentes fluxos serão perturbados isto é, tanto melhor será a qualidade do desenrolar do tráfego. A citada diferença é denominada como *Reserva de Capacidade R_i* (em **UCP/h**) do fluxo secundário **i**:

$$R_i = L_i - q_i \quad (9)$$

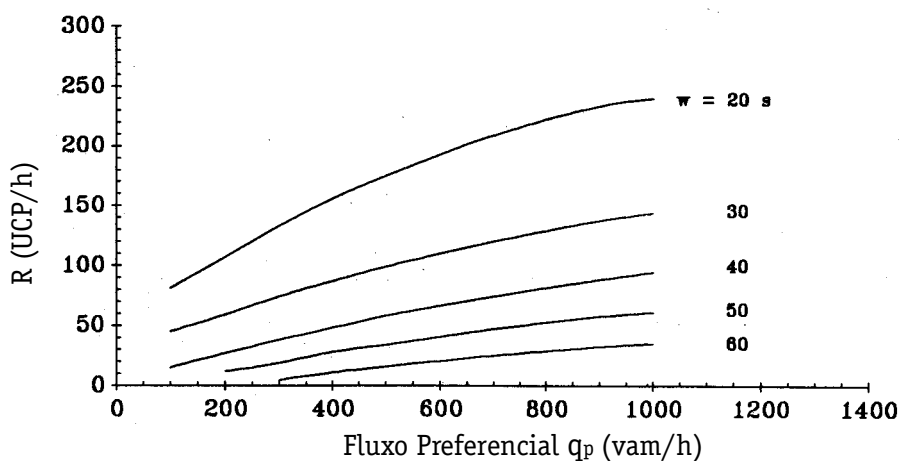
$$R_m = L_m - q_m \quad (\text{para uma faixa compartilhada})$$

onde:

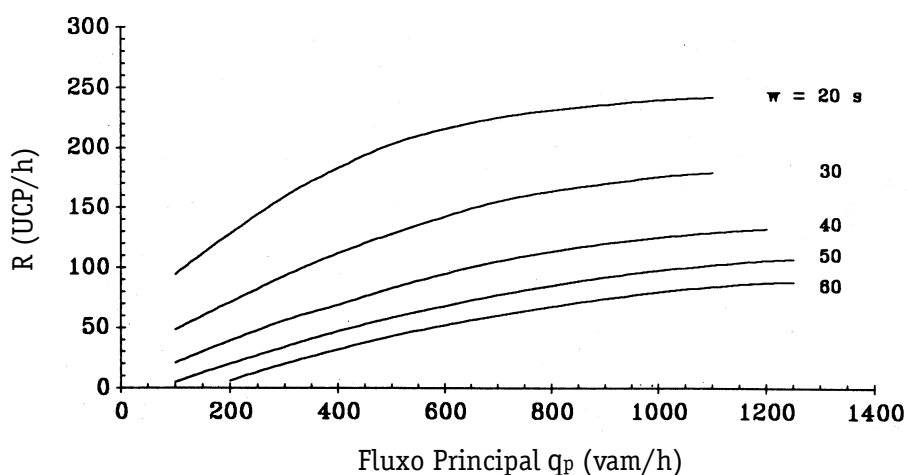
$$i = 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12$$

Existe uma estreita relação entre a *Reserva R* verificada e a qualidade de trânsito a ela relacionada, expressa pelo tempo médio de espera dos veículos nos fluxos secundários.

Esta relação é representada graficamente no **Quadro 4** para os fluxos de 2ª ordem **1, 6, 7 e 12**, e no **Quadro 5** para os fluxos posteriores **4, 5, 10 e 11** em função do respectivo volume de tráfego **q_p** do fluxo principal



Quadro 4 : Relação entre Reserva de Capacidade e Tempo Médio de Espera para Fluxos de Segunda Ordem.



Quadro 5 : Relação entre Reserva de Capacidade e Tempo Médio de Espera para Fluxos de Terceira e Quarta Ordens

determinante (em **vam/h** conforme **tabela 1**).

$$w_i = f(q_p, R_i) \quad (10)$$

onde:

w_i tempo médio de espera dos veículos no fluxo **i** (s)

Os tempos de espera mostrados poderão ser considerados como valores aproximados, oferecendo então um ponto de referência aproximado para a avaliação do nível da qualidade a ser esperado.

Uma inversão do modo de procedimento também poderá ser realizada por intermédio do **Quadro 4** (ou **quadro 5**). Após a indicação de um desejado nível de qualidade, isto é, de um valor limite superior para um tempo médio de espera ainda aceitável (recomenda-se por exemplo $w_i = 30$ a 40 s, ver **item 5**), a reserva de capacidade necessária para isto pode ser lida nos gráficos:

$$R_i = f(q_p, w_i) \quad (11)$$

Com isto, a Capacidade Prática P_i (em **UCP/h**) para cada fluxo secundário **i** pode ser verificada com:

$$P_i = L_i - R_i \quad (12)$$

compartilhada)

para

$$i = 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12$$

O valor da Capacidade Prática P_i representa o volume de tráfego permitido do fluxo **i** com um nível pré-determinado de qualidade de trânsito (expresso em w_i). A capacidade da interseção poderá ser considerada como suficiente quando em todos os fluxos **i** subordinados o volume existente de tráfego q_i permanece:

$$q_i \leq P_i \quad (13)$$

$$q_m \leq P_m \quad (\text{para uma faixa compartilhada})$$

para

$$i = 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12$$

5. Avaliação da Qualidade do Desenrolar do Tráfego

Uma qualidade suficiente do desenrolar do tráfego em uma interseção sem semáforo é garantida quando em todos os fluxos de tráfego i subordinados a reserva de capacidade é de:

$$R_i \geq 100 \text{ UCP/h} \quad (14)$$

Nestes casos, o tempo de espera dos veículos dos fluxos secundários localiza-se em média abaixo de **45 s** por veículo. Se esta interseção fosse operada por semáforo, dever-se-ia contar com maiores tempos médios de espera.

Desde que no mínimo um fluxo subordinado apresente uma reserva de capacidade

$$R_i \leq 0 \text{ (zero) UCP/h} \quad (15)$$

então a capacidade da interseção sem semáforo não é garantida. Para estes fluxos de tráfego, a ausência de semáforo resultaria em grandes tempos de espera e comprimentos relativamente grandes de represamento, ambos inaceitáveis nos considerados horários de projeto. Por isto, neste caso, motivado pelo volume de tráfego na interseção estudada, deverá ser verificada a instalação de um semáforo.

Com um semáforo normalmente obtém-se uma melhor qualidade de trânsito e uma melhor segurança contra congestionamentos.

Desde que haja pelo menos um fluxo de tráfego subordinado com uma reserva de capacidade no mínimo entre

$$0 \text{ (zero)} < R_i < 100 \text{ UCP/h} \quad (16)$$

no horário de projeto, então dever-se-á prever também tempos de espera mais longos sem semáforo do que com semáforo. Por isto, também neste caso a instalação de um semáforo é razoável por motivos de capacidade. Porém, nestes casos extremos, uma decisão segura somente pode ser tomada por meio de estudos profundos de técnicas de trânsito, utilizando-se o programa para simulações chamado KNOSIMO²⁾. Estes casos extremos apresentam-se principalmente quando o limite de **100 UCP/h** é quase atingido ou quando os

volumes de tráfego fora do horário de projeto situarem-se muito abaixo dos valores utilizados para aquele cálculo de simulação.

Quando a capacidade insuficiente ocorrer em uma faixa compartilhada, então uma capacidade suficiente poderá ser alcançada pela implantação de faixas de trânsito separadas para os respectivos fluxos de tráfego subordinados ou outras soluções. Porém, uma separação desta forma somente é razoável por motivos de segurança quando for garantido que os veículos que estão esperando nas suas respectivas faixas de trânsito não se perturbem mutuamente em termos de visibilidade relativamente ao tráfego preferencial.

Na prática da técnica de trânsito poderá ocorrer muitas vezes questionamentos, os quais não poderão ser respondidos por intermédio deste manual. A estes questionamentos pertencem:

- aumento da capacidade com a disponibilidade de vários locais para posicionamento dos veículos na via secundária na área imediatamente próxima à interseção.
- comprimento necessário das faixas para as saídas, principalmente da faixa para as saídas à esquerda (ver também *Diretrizes para Instalação de Semáforo DIS*).
- tempo de espera para cada veículo obrigado a dar a preferência conforme **DIS, Item 1.3.3** (utilizar **95 %** do tempo de espera)

No momento, estes questionamentos somente podem ser verificados pela utilização do programa de simulação KNOSIMO.

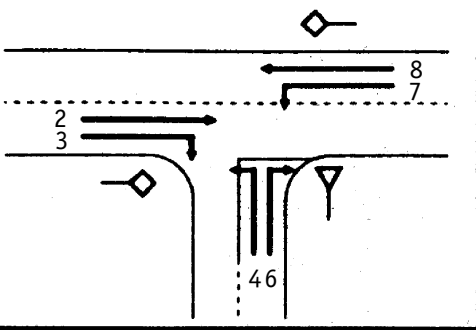
Desde que, baseado nesta avaliação, a instalação de um semáforo na interseção estudada mostra-se como sendo razoável, então deverá ser elaborado para o semáforo e para a respectiva forma de ampliação da interseção uma comprovação de capacidade, por exemplo conforme as **DIS**.

2) Nome original do programa

6. Folha de Cálculo

Como meios auxiliares para a realização dos cálculos da capacidade de interseções sem semáforo pode-se utilizar as *Folhas de Cálculo* das **Tabelas 4 e 5**. Exemplos de cálculo encontram-se nos **Quadros 6 e 7**.

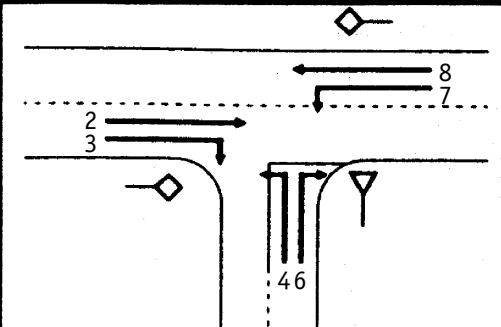



Quadro 4: Folha de Cálculo para o Cálculo de Capacidade de um Acesso

		Volumes de Tráfego		Interseção (Acessos)
		Fluxos de 1ª Ordem: $q_2 =$ $q_3 =$ vam/h $q_8 =$		_____ _____ $V_m =$ _____ km/h
1	Nº do fluxo secundários / ordem	7 / 2	6 / 2	4 / 3
2	Símbolo do Movimento	↓	↗	↖
3	Volumes de Tráfego	q_n	vam/h	
4			UCP/h	
5		fluxo principal determ. q_p (tab. 1) vam/h		
6	Capacidade Básica G_n (quadro 2a-d) UCP/h	=	=	
7	Capacidade Máxima L_n UCP/h			$P_{0,7} G_4 =$
8	Probabilidade da Condição sem Congestionamento	/		
9	Represamento	/		
10	Capacidade da Faixa Compartilhada	/		
11a	Reserva de Capacidade $R_n (=L_n - q_n)$ UCP/h $R_m (=L_m - q_m)$	/		
11b	Fator Prático de Capacidade $P_n (=L_n - R_n)$ UCP/h $P_m (=L_m - R_m)$	/		
12	Tempo de Espera ou Avaliação	/		
13	Avaliação Total	/		

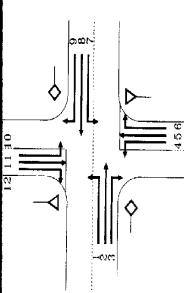
26 **Quadro 5: Folha de Cálculo para o Cálculo da Capacidade em Cruzamentos**

		Volume de Tráfego										Interseção (Cruzamento)																					
		Fluxos de 1ª Ordem		q2=		q3=		q4=		q5=		q6=		q7=		q8=		q9=		q10=		q11=		q12=		q13=		q14=		q15=		q16=	
		Fluxos com Obrigatoriedade de Dar a Preferência: Linhas 3 e 4		vam/h		vam/h		vam/h		vam/h		vam/h		vam/h		vam/h		vam/h		vam/h		vam/h		vam/h		vam/h		vam/h		vam/h		vam/h	
1	Nº do Fluxo Secundário / Ordem	1 / 2	2 / 2	3 / 2	4 / 2	5 / 2	6 / 2	7 / 2	8 / 2	9 / 2	10 / 2	11 / 2	12 / 2	13 / 2	14 / 2	15 / 2	16 / 2	17 / 2	18 / 2	19 / 2	20 / 2	21 / 2	22 / 2	23 / 2	24 / 2	25 / 2	26 / 2	27 / 2	28 / 2	29 / 2	30 / 2		
2	Símbolo do Movimento	↖	↗	↘	↙	↖	↗	↘	↙	↖	↗	↘	↙	↖	↗	↘	↙	↖	↗	↘	↙	↖	↗	↘	↙	↖	↗	↘	↙	↖	↗	↘	↙
3	Tráfego	q _n	q _m	q _p	q _r	q _s	q _t	q _u	q _v	q _w	q _x	q _y	q _z	q _{aa}	q _{ab}	q _{ac}	q _{ad}	q _{ae}	q _{af}	q _{ag}	q _{ah}	q _{ai}	q _{aj}	q _{ak}	q _{al}	q _{am}	q _{an}	q _{ao}	q _{ap}	q _{aq}	q _{ar}	q _{as}	q _{at}
4	Volumes de	vam/h	UCP/h																														
5	Fluxo Principal Determinante	q _p	q _r	q _s	q _t	q _u	q _v	q _w	q _x	q _y	q _z	q _{aa}	q _{ab}	q _{ac}	q _{ad}	q _{ae}	q _{af}	q _{ag}	q _{ah}	q _{ai}	q _{aj}	q _{ak}	q _{al}	q _{am}	q _{an}	q _{ao}	q _{ap}	q _{aq}	q _{ar}	q _{as}	q _{at}	q _{au}	q _{av}
6	Capacidade Básica	G _n	G _m	G _p	G _r	G _s	G _t	G _u	G _v	G _w	G _x	G _y	G _z	G _{aa}	G _{ab}	G _{ac}	G _{ad}	G _{ae}	G _{af}	G _{ag}	G _{ah}	G _{ai}	G _{aj}	G _{ak}	G _{al}	G _{am}	G _{an}	G _{ao}	G _{ap}	G _{aq}	G _{ar}	G _{as}	G _{at}
7	Capacidade Máxima	L _n	L _m	L _p	L _r	L _s	L _t	L _u	L _v	L _w	L _x	L _y	L _z	L _{aa}	L _{ab}	L _{ac}	L _{ad}	L _{ae}	L _{af}	L _{ag}	L _{ah}	L _{ai}	L _{aj}	L _{ak}	L _{al}	L _{am}	L _{an}	L _{ao}	L _{ap}	L _{aq}	L _{ar}	L _{as}	L _{at}
8	Probabilidade da	P _{o,n}	P _{o,m}	P _{o,p}	P _{o,r}	P _{o,s}	P _{o,t}	P _{o,u}	P _{o,v}	P _{o,w}	P _{o,x}	P _{o,y}	P _{o,z}	P _{o,aa}	P _{o,ab}	P _{o,ac}	P _{o,ad}	P _{o,ae}	P _{o,af}	P _{o,ag}	P _{o,ah}	P _{o,ai}	P _{o,aj}	P _{o,ak}	P _{o,al}	P _{o,am}	P _{o,an}	P _{o,ao}	P _{o,ap}	P _{o,aq}	P _{o,ar}	P _{o,as}	P _{o,at}
9	Reprezentamento	P _{o,n} *	P _{o,m} *	P _{o,p} *	P _{o,r} *	P _{o,s} *	P _{o,t} *	P _{o,u} *	P _{o,v} *	P _{o,w} *	P _{o,x} *	P _{o,y} *	P _{o,z} *	P _{o,aa} *	P _{o,ab} *	P _{o,ac} *	P _{o,ad} *	P _{o,ae} *	P _{o,af} *	P _{o,ag} *	P _{o,ah} *	P _{o,ai} *	P _{o,aj} *	P _{o,ak} *	P _{o,al} *	P _{o,am} *	P _{o,an} *	P _{o,ao} *	P _{o,ap} *	P _{o,aq} *	P _{o,ar} *	P _{o,as} *	P _{o,at} *
10	Condição sem	P _x	P _y	P _z	P _{aa}	P _{ab}	P _{ac}	P _{ad}	P _{ae}	P _{af}	P _{ag}	P _{ah}	P _{ai}	P _{aj}	P _{ak}	P _{al}	P _{am}	P _{an}	P _{ao}	P _{ap}	P _{aq}	P _{ar}	P _{as}	P _{at}	P _{au}	P _{av}	P _{aw}	P _{ax}	P _{ay}	P _{az}	P _{aa}	P _{ab}	
11	Probabilidade da	P _{y,n}	P _{y,m}	P _{y,p}	P _{y,r}	P _{y,s}	P _{y,t}	P _{y,u}	P _{y,v}	P _{y,w}	P _{y,x}	P _{y,y}	P _{y,z}	P _{y,aa}	P _{y,ab}	P _{y,ac}	P _{y,ad}	P _{y,ae}	P _{y,af}	P _{y,ag}	P _{y,ah}	P _{y,ai}	P _{y,aj}	P _{y,ak}	P _{y,al}	P _{y,am}	P _{y,an}	P _{y,ao}	P _{y,ap}	P _{y,aq}	P _{y,ar}	P _{y,as}	P _{y,at}
12	Probabilidade da	P _{z,n}	P _{z,m}	P _{z,p}	P _{z,r}	P _{z,s}	P _{z,t}	P _{z,u}	P _{z,v}	P _{z,w}	P _{z,x}	P _{z,y}	P _{z,z}	P _{z,aa}	P _{z,ab}	P _{z,ac}	P _{z,ad}	P _{z,ae}	P _{z,af}	P _{z,ag}	P _{z,ah}	P _{z,ai}	P _{z,aj}	P _{z,ak}	P _{z,al}	P _{z,am}	P _{z,an}	P _{z,ao}	P _{z,ap}	P _{z,aq}	P _{z,ar}	P _{z,as}	P _{z,at}
13	Capacidade da Faixa Compartilhada	b _n	b _m	b _p	b _r	b _s	b _t	b _u	b _v	b _w	b _x	b _y	b _z	b _{aa}	b _{ab}	b _{ac}	b _{ad}	b _{ae}	b _{af}	b _{ag}	b _{ah}	b _{ai}	b _{aj}	b _{ak}	b _{al}	b _{am}	b _{an}	b _{ao}	b _{ap}	b _{aq}	b _{ar}	b _{as}	b _{at}
14a	Reserva de Capacidade	R _n	R _m	R _p	R _r	R _s	R _t	R _u	R _v	R _w	R _x	R _y	R _z	R _{aa}	R _{ab}	R _{ac}	R _{ad}	R _{ae}	R _{af}	R _{ag}	R _{ah}	R _{ai}	R _{aj}	R _{ak}	R _{al}	R _{am}	R _{an}	R _{ao}	R _{ap}	R _{aq}	R _{ar}	R _{as}	R _{at}
14b	Fator Prático de Capacidade	p _n	p _m	p _p	p _r	p _s	p _t	p _u	p _v	p _w	p _x	p _y	p _z	p _{aa}	p _{ab}	p _{ac}	p _{ad}	p _{ae}	p _{af}	p _{ag}	p _{ah}	p _{ai}	p _{aj}	p _{ak}	p _{al}	p _{am}	p _{an}	p _{ao}	p _{ap}	p _{aq}	p _{ar}	p _{as}	p _{at}
15	Tempo de Espera ou Avaliação	E _n	E _m	E _p	E _r	E _s	E _t	E _u	E _v	E _w	E _x	E _y	E _z	E _{aa}	E _{ab}	E _{ac}	E _{ad}	E _{ae}	E _{af}	E _{ag}	E _{ah}	E _{ai}	E _{aj}	E _{ak}	E _{al}	E _{am}	E _{an}	E _{ao}	E _{ap}	E _{aq}	E _{ar}	E _{as}	E _{at}
16	Avaliação Total																																

Quadro 6: Exemplo de Cálculo para um Acesso

		Volumes de Tráfego		Interseção (Acesso)
		- Fluxos de 1ª Ordem $q_2 = 320$ $q_3 = 130$ vam/h $q_8 = 280$		Exemplo
		- Fluxos com Obrigatoriedade Dar a Preferência: Linhas 3 e 4		$V_m = 70$ km/h
1	Nº do fluxo secundários / ordem	7 / 2	6 / 2	4 / 3
2	Símbolo do Movimento			
3	Volumes de Tráfego	q_n	vam/h	
4			UCP/h	
5		fluxo principal determ. q_p (tab. 1) vam/h		
6	Capacidade Básica G_n (quadro 2a-d) UCP/h	679	561	214
7	Capacidade Máxima L_n UCP/h	679	561	$P_{0,7} G_4 = 157$
8	Probabilidade da Condição sem Congestionamento	$P_{0,n} (=1-q_n/L_n)$	0.7349	
9	Represamento	$P_{0,n}^*$ (eq.8)	/	
10	Capacidade da Faixa Compartilhada	$b_n (= q_n / q_m)$	/	0.74
		L_m (eq.7) UCP/h		0.26
11a	Reserva de Capacidade $R_n (=L_n - q_n)$ UCP/h	499	391	97
	$R_m (=L_m - q_m)$	/	106	
11b	Fator Prático de Capacidade $P_n (=L_n - R_n)$ UCP/h	/	/	/
	$P_m (=L_m - R_m)$	/	/	
12	Tempo de Espera ou Avaliação	bom	bom	aprox. 40s
			suficiente	
13	Avaliação Total	eficiente		

28 **Quadro 7: Exemplo de Cálculo para um Cruzamento**

		Volumes de Tráfego				Interseção (Cruzamento)				
		Fluxos de 1ª Ordem		Fluxos com Obrigatoriedade de Dar a Preferência: Linhas 3 e 4		Exemplo		vm = 50 km/h		
		q2= 173	q3= 191	q8= 4	q9= 4					
		Fluxos com Obrigatoriedade de Dar a Preferência: Linhas 3 e 4								
1	Nº do Fluxo Secundário / Ordem	1 / 2	7 / 2	4 / 4	5 / 3	6 / 2	12 / 2	11 / 3	10 / 4	
2	Símbolo do Movimento	↗	↘	↖	↗	↗	↘	↘	↗	
3	Tráfego									
4	q _n	120	24	134	62	14	96	110	3	
	vam/h									
	UCP/h	120	24	134	64	14	96	114	3	
5	Fluxo Principal Determinante (tab. 1)	153	364	768	566	269	151	659	544	
6	G _n (quadro 2a-d)	1437	1126	396	555	989	1146	499	532	
7	Capacidade Máxima	1437	1126	269	497	989	1146	447	436	
	UCP/h									
8	P _{o,n}	0.9165	0.9787	0.63	0.8712	0.07	0.9162	0.7450		
9	P _{o,n} *	/	/	/	/	/	/	/		
10	P _x	0.8970	/	/	/	/	/	/		
11	P _{y,n}	/	/	0.63	0.30	0.07	0.45	0.54	0.01	
12	P _{z,n}	/	/	/	/	/	/	/		
13	Capacidade da Faixa Compartilhada			0.63	0.30	0.07	0.45	0.54	0.01	
	b _n (=q _n / q _m)									
	L _m (eq.7) UCP/h			331	331			615		
14a	Reserva de Capacidade	1317	1102	135	433	975	1050	333	433	
	R _n (=L _n -q _n) UCP/h									
	R _m (=L _m -q _m)									
14b	Fator Prático de Capacidade	/	/	/	/	/	/	/	/	
	p _n (=L _n -R _n) UCP/h									
	p _m (=L _m -R _m)									
15	Tempo de Espera ou Avaliação	muito bom	muito bom	aprox.30s	bom	muito bom	muito bom	bom	bom	
					suficiente					
16	Avaliação Total	no total é capacitada suficientemente								

Observações:

Os valores numéricos dos exemplos dos quadros 6 e 7 foram obtidos do cálculo e os outros de acordo com as equações (A1), (2) e (A3).

Utilizando-se a equação (A1), obtém-se naturalmente valores mais precisos do que na utilização dos quadros 2a a 2d. De acordo com isto, os valores P_0 das linhas 8 e 9 (acesso) ou 8 a 12 (cruzamento) são dados com precisão de quatro casas decimais.

Seguramente, esta precisão não é obrigatoriamente necessária para uma comprovação aproximada da capacidade. Contrariamente, na utilização prática deste processo, podem também ser considerados suficientes os valores arredondados (como p. ex. G para cerca de 10 UCP/h, p_0 com duas casas decimais, etc).

Nos dois exemplos de cálculo, nas linhas 11 (acesso) ou 14 (cruzamento) foram dadas as reservas de capacidade, tanto para os respectivos fluxos bem como para as faixas de uso compartilhado. Na avaliação de uma condição de trânsito em um acesso secundário com uma faixa compartilhada, é determinante o valor mínimo das reservas dos fluxos envolvidos (p. ex. $R_4=97$ para o acesso ou $R_{4+5+6}=120$ e $R_{11}=344$ para o cruzamento).

Com relação a isto, deve ser alertado que o cálculo da capacidade de um cruzamento com faixas compartilhadas representa apenas uma aproximação. Existem influências estatísticas que não podem ser consideradas matematicamente. Isto diz respeito principalmente à ocorrência de represamentos nos dois acessos secundários: os fluxos 4, 5 e 6, por um lado, bem como os fluxos opostos 10, 11 e 12, por outro lado, se influenciam mutuamente.

Anexo

Este anexo contém comentários e observações sobre as hipóteses teóricas do método de cálculo.

Um veículo do fluxo secundário somente pode ingressar na interseção quando estiver disponível um intervalo de tempo suficientemente longo entre dois veículos seqüências do fluxo preferencial.

O intervalo de tempo, suficiente na média para a manobra do primeiro veículo do fluxo secundário, é denominado de **Intervalo de Limite t_g** . Entre duas manobras seqüenciais de dois veículos do fluxo secundário existe um intervalo de tempo, cujo valor médio é denominado **Intervalo de Seqüência t_f** . Para a simplificação do cálculo, é incluída uma outra grandeza

$$t_o = t_g - \frac{t_f}{2}$$

Intervalos de Limite e de Seqüência caracterizam o comportamento dos condutores de veículos em interseções sem semáforo. Para cada motorista são válidos diferentes Intervalos de Limite e de Seqüência. Por este motivo, para o cálculo são utilizados valores fixos para t_g e t_f , os quais podem ser considerados como representativos. Estes valores são mostrados na **Tabela A1**. Ambas as grandezas dependem da velocidade média V_m do tráfego na via preferencial.

É de se imaginar que, em determinadas localidades, os condutores de veículos comportam-se de modo divergente destes valores representativos. Se necessitarem em média valores menores para t_g e t_f , então isto causaria um aumento da capacidade em comparação com os resultados aqui calculados. Afim de quantificar divergências desta natureza, deveriam ser realizadas em casos individuais:

- observações da capacidade máxima (isto é, com represamento contínuo no fluxo secundário); e
- medições dos tempos de limite e de seqüência (o custo para estas medições é bastante elevado).

Para caminhões (**C**) e reboques (**R**) valem valores maiores para t_g e t_f . Estes são calculados a partir dos valores para automóveis (**A**) multiplicados pelos fatores da **Tabela A2**.

Com o auxílio destes valores, a **Tabela 2** foi confeccionada para uma inclinação longitudinal de **0,0 %**.

Sob a pressuposição de uma distribuição exponencial dos intervalos no fluxo preferencial para a quantidade máxima de veículos do fluxo secundário que pode entrar na área de conflito, vale:

Tabela A1 : Intervalos de Limite e de Seqüência em (s) dependentes do Tipo de Manobra e da Velocidade Média na Estrada Preferencial em (km/h)

Tipo de Manobra	Velocidade Média do Fluxo da Estrada Preferencial						
		40	50	60	70	80	90
Saída à Esquerda	t_g	4,5	5,2	5,8	6,5	7,1	7,8
	t_f	1,7	2,1	2,5	2,8	3,2	3,6
Entrada à Direita	t_g	5,0	5,8	6,5	7,2	7,9	8,7
	t_f	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,5
Cruzamento	t_g	5,1	5,8	6,5	7,3	8,0	8,7
	t_f	2,8	3,4	4,0	4,6	5,3	5,9
Entrada à Esquerda	t_g	5,6	6,4	7,2	8,0	8,8	9,6
	t_f	2,7	3,3	3,9	4,5	5,1	5,7

Tabela A2 : Fatores de Conversão para os Intervalos de Limite e de Seqüência para vários Tipos de Veículos

Tipo de Veículo	t_g	t_f
A	1,0	1,0
C	1,17	1,58
R	1,29	2,11

$$G = \frac{3.600}{t_f} \cdot e^{-p \cdot t_0} \quad (A1)$$

onde:

G capacidade básica do fluxo secundário (UCP/h)

q_p volume do fluxo preferencial determinante (vam/h)

$p = q_p / 3600$ volume do fluxo principal determinante (vam/s)

t_g intervalo de limite (s)

t_f intervalo de seqüência (s)

$t_0 = t_g - \frac{t_f}{2}$ (s)

As capacidades representadas nos **Quadros 2a** até **2d** para as diferentes manobras foram calculadas conforme esta equação com os valores **t_g** e **t_f** da **Tabela A2**.

O valor de **G** pode também ser calculado conforme a seguinte fórmula (Harders 1968):

$$G = q_p \cdot \frac{e^{-p \cdot (t_g - t_f)}}{e^{p \cdot t_f} - 1} \quad (A2)$$

As diferenças entre os resultados destas duas fórmulas são tão pequenas que não tem nenhuma importância para a utilização prática.

Siegloch (1973) mostrou que, nas divergências que normalmente ocorrem nas distribuições dos intervalos no fluxo preferencial pela distribuição exponencial, a **Equação (A1)** resulta em uma estimativa exata da capacidade máxima.

Brilon, Grossmam (1990) verificaram que, pela utilização da **Equação (A1)**, as influências de erros que resultam da:

- utilização de intervalos fixos de limite e de seqüência; e
- pressuposição simplificada da distribuição exponencial no fluxo preferencial,

compensam-se amplamente.

As deduções para a verificação dos fluxos preferenciais determinantes (**tabela 1**), para a consideração da condição sem represamento (**item 4.2**), como também para a avaliação das reservas de capacidade (parágrafo 4.3), baseou-se no trabalho de Brilon, Grossmam (1990), o qual por sua vez está baseado no pensamento idealizado por Harders (1968) e Siegloch (1973). As dependências recíprocas (estatísticas) das condições de represamento nos fluxos de segunda e terceira ordem são consideradas da seguinte maneira:

$$p_{z,1} = 0,65 \cdot p_{y,i} - \frac{p_{y,i}}{p_{y,i} + 3} + 0,6 \cdot \sqrt{p_{y,i}} \quad (A3)$$

onde:

$i = 5, 11$

$p_{y,i} = p_x \cdot p_{0,i}$

$p_x = p_{0,i} \cdot p_{0,7}$

Esta relação foi obtida por simulação e é baseada na representação gráfica do **Quadro 3**. Indica, por assim dizer, o índice de tempo no qual não haverá represamento nos fluxos nem de terceira nem de segunda ordem.

As fórmulas para o cálculo da capacidade de faixas compartilhadas [**equações (7)** e **(8)**] se baseiam nas deduções de Harders (1968). Novamente deverá ser alertado para o fato de que a **Equação (8)** representa somente uma fórmula de aproximação, cujos resultados no entanto localizam-se do "lado seguro", que dizer, pela utilização da **Equação (8)**, a capacidade real é na verdade subestimada.

A dependência do tempo de espera em relação a reserva de capacidade e ao volume do fluxo preferencial determinante (**equação 10**) é verificada por simulação. As linhas de tempo de espera apresentadas nos **Quadros 4** e **5** representam os correspondentes resultados de simulação baseados em curvas de compensação.

Ao método de cálculo aqui apresentado, somente pode

ser creditada uma validade aproximativa, tendo em vista as pré-suposições apresentadas. Para as situações que representam melhor a realidade através dos seguintes pontos:

- distribuição realística dos intervalos de tempos entre os veículos de todos os fluxos;
- distribuição realística dos intervalos de limite e de seqüência; e
- qualquer linha evolutiva dos volumes de tráfego

adaptada às condições locais,

não pode ser derivado nenhum método de solução por intermédio de um procedimento matemático-analítico. Uma comprovação da capacidade, a qual pode descrever de modo realístico as condições de tráfego em interseções sem semáforo, é possível com estas condições periféricas somente por meio de um modelo de simulação (por exemplo: o modelo KNOSIMO).

Glossário

Trânsito : é o movimento. O ato de se deslocar.

Tráfego : são os elementos participantes do trânsito.

Estradas de Pista Simples : sem quaisquer complementação do nome, são estradas com **duas** faixas de trânsito, numa única pista , sem separação construtiva entre as faixas, com dois sentidos de trânsito, podendo os veículos de um dos sentido ocupar temporariamente a faixa destinada aos veículos do outro sentido

Estradas de Pista Simples (2+1) : são estradas com **três** faixas de trânsito, numa única pista, com dois sentidos de trânsito, com alternância de uso das duas faixas para ambos os sentidos em segmentos regulares

Estradas de Pista Dupla : são estradas de **quatro** ou mais faixas de trânsito, divididas para atender os dois sentidos , com ou sem separação construtiva dos sentidos

Deslocamento Geométrico : é a movimentação curvilínea em baixa velocidade de um veículo automotor, isto é, a força centrífuga que aparece nestes casos é desprezível

Deslocamento Dinâmico : é a movimentação curvilínea de um veículo automotor numa velocidade considerável, isto é, a força centrífuga que aparece nestes casos já não é desprezível

INTERSEÇÃO : Situação de encontro de duas ou mais estradas (interligação) e também o nome do dispositivo disciplinador dos movimentos de interligação

Braço de uma Interseção : É toda embocadura de uma interseção

Interseção de Nível Único : Interseção onde as manobras de cruzamento são feitos num mesmo nível

Interseção a Níveis Diversos : Interseção onde as manobras de cruzamento são feitas em níveis diferentes

Acesso : Interseção com **três** braços. Uma estrada emboca numa outra estrada direta (interseção em forma de T)

Cruzamento : Interseção com **quatro** braços. Encontro de duas estradas, com ambas tendo continuidade após o ponto de encontro

Movimentos numa Interseção :

Conversão : É todo movimento de mudança de rota de um participante do trânsito

Tipos de Conversão :

a) Em Interseções de Mesmo Nível

Nestes casos a estrada de passagem direta (preferencial) é o referencial. Temos então :

Saida à Direita : manobra de conversão à direita, da preferencial para a secundária

Saida à Esquerda : manobra de conversão à esquerda, da preferencial para a secundária

Entrada à Esquerda : manobra de conversão à esquerda, da secundária para a preferencial

Entrada à Direita : manobra de conversão à direita, da secundária para a preferencial

Cruzamento : manobra de transpor a pista da estrada preferencial vindo da secundária

b) Em Interseções a Níveis Diversos

Nestes casos temos três situações a considerar:

1 - Acesso (em forma de T)

Entrada à Esquerda : Manobra *Braço Secundário - Braço Preferencial à Esquerda*

Entrada à Direita : Manobra *Braço Secundário - Braço Preferencial à Direita*

Saida à Esquerda : Manobra *Braço Preferencial - Braço Secundário à Esquerda*

Saida à Direita : Manobra *Braço Preferencial - Braço Secundário à Esquerda*

Obs. : para efeito de *Direita* ou *Esquerda* considera-se a posição relativa do condutor na interseção

2 – Cruzamento de Auto-Estradas: Neste tipo de interseção não se define uma preferencial com no tipo acesso. Portanto, as manobras de interligação serão nominadas simplesmente como *saidas* e a complementação *esquerda* ou *direita* dependerá somente se o movimento de ingresso na outra estrada for à esquerda ou à direita, relativamente a posição na interseção.

3 – Em algumas situações poderão aparecer as estradas referenciais dos movimentos. Na ausência destas referências, os movimentos são sempre referenciados a estrada principal.

Saidas e Entradas sem qualquer complementação referem-se somente a saidas e entradas relativamente à uma pista de trânsito

Faixa ou **Segmento para Acomodação** : Faixas ou Segmentos destinados para a adaptação dos veículos quando vão mudar sua situação de trânsito, isto é, vão parar, sair, entrar, etc..

Faixa ou **Segmento para Posicionamento ou Armazenamento:** Faixas ou Segmentos destinados para paradas e armazenamento de veículos obrigados a dar a preferência em suas manobras de conversão

Bibliografia

- Brilon, W.; Großmann, M.: Entwicklung eines Simulationsmodells für Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlagen. Forschungsbericht an den Bundesminister für Verkehr, Ruhr-Universität Bochum, 1988
- Brilon, W.; Großmann, M.: Aktualisiertes Berechnungsverfahren für Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlagen. Forschungsbericht an den Bundesminister für Verkehr, Ruhr-Universität Bochum, 1990
- FGSV: Berechnung der Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen. Anhang zum Merkblatt für Lichtsignalanlagen an Landstraßen, Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln, 1972
- FGSV: Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA). Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln, 1990 (Entwurf Mai 1990)
- FGSV: Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Querschnitte (RAS-Q). Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln, 1982
- Grabe, W.: Leistungsermittlung von nicht lichtsignalgeregelten Knotenpunkten des Straßenverkehrs. Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Neue Folge, Heft 11, Kirschbaum Verlag, Bielefeld (jetzt Bonn Bad Godesberg), 1954
- Harders, J.: Die Leistungsfähigkeit nicht signalgeregelter städtischer Verkehrsknoten. Schriftenreihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 76, Bonn, 1968
- Harders, J.: Grenz- und Folgezeitlücken als Grundlage für die Berechnung der Leistungsfähigkeit von Landstraßen. Schriftenreihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 216, Bonn, 1976
- Transportation Research Board (Hrsg.): Highway Capacity Manual (Chapter 10). TRB Special Report 209, Washington, 1985
- Jessen, G.-D.: Ein Richtlinienvorschlag für die Behandlung der Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten ohne Signalregelung. Straßenverkehrstechnik, Heft 7/8, 1968
- Siegloch, W.: Die Leistungsermittlung an Knotenpunkten ohne Lichtsignalsteuerung. Schriftenreihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 154, Bonn, 1973
- Siegloch, W.: Ein Richtlinienvorschlag zur Leistungsermittlung an Knotenpunkten ohne Lichtsignalsteuerung. Straßenverkehrstechnik, Heft 1, 1974
- StVO: Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) vom 15.5.1988 mit Allgemeiner Verwaltungsvorschrift. Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund, 1988

