

COMPATIBILIDADE DAS DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE DE INTERSEÇÕES EM NÍVEL PARA O TRÁFEGO DE VEÍCULOS LONGOS EM RODOVIAS BRASILEIRAS

Waldemiro de Aquino Pereira Neto

Universidade Federal do Ceará
Engenharia Civil – Campus do Cariri

João Alexandre Widmer

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Um importante aspecto considerado no projeto geométrico de interseções rodoviárias em nível é a distância de visibilidade adotada nestes dispositivos. Este parâmetro, determinado com base nas características de um veículo de projeto, é responsável pela realização de travessias seguras dos veículos. Neste artigo é investigada a compatibilidade do tráfego de veículos longos, especialmente as Combinações de Veículos de Carga – CVCs, com as interseções projetadas com base nas diretrizes do manual de interseções vigente no Brasil. Considerou-se também na análise a adequação das extensões de faixas adicionais propostas para estes dispositivos.

ABSTRACT

One important aspect that must be considered in geometric design of at grade intersections is the sight distance available in these facilities. This parameter, based on design vehicle characteristics, is responsible for the safe crossing of vehicles. This paper presents an investigation considering traffic compatibility of long vehicles, in particular LCVs- Long Combination Vehicles, with the directives established in the Brazilian intersection design manual. The analysis also considers the adequacy of acceleration lanes length proposed for these facilities.

1. INTRODUÇÃO

A tendência atual da frota comercial brasileira é a elevação da participação dos veículos com maior capacidade de carga no transporte rodoviário. Uma importante razão para este fato é a redução de custos de transporte que estes veículos possibilitam, aumentando a competitividade de seus operadores no mercado. Dentre as mudanças possíveis para elevar a capacidade de transporte, o aumento do comprimento é o caminho natural, tendo em vista que a altura do veículo está limitada por obstáculos físicos como o gabarito de pontes e viadutos e sua largura está condicionada à largura adotada nas faixas de tráfego. Assim, a pressão dos transportadores pela homologação de veículos de maior capacidade de carga resultou na fabricação de veículos mais longos, genericamente denominados Combinações de Veículos de Carga – CVCs em nosso país.

Enquanto a frota de veículos de carga apresentou esta dinâmica de transformações nos últimos anos, o projeto geométrico de rodovias se manteve inalterado desde 1999, com a última publicação do Manual de Projeto Geométrico (DNER, 1999), manual que teve forte influência do Manual da AASHTO publicado em 1994 (AASHTO, 1994). Para orientar o projeto de interseções rodoviárias, houve uma recente atualização no Manual de Interseções (DNIT, 2005) introduzindo algumas mudanças, que seguem, em linhas gerais, as determinações propostas no Manual da AASHTO de 2001 (AASHTO, 2001).

Estas transformações ocorridas na frota de veículos não trouxeram apenas benefícios, como é o caso da redução dos custos de transporte. A utilização destes veículos, apesar das inovações tecnológicas alcançadas nas últimas décadas, demanda vias com padrão técnico mais elevado

que os veículos de menor porte. Neste contexto, a função do veículo de projeto utilizado na concepção geométrica da via assume elevada importância. Uma das maiores implicações da utilização de veículos mais extensos nas rodovias é sua influência no tempo de travessia destes veículos nas interseções em nível. Este aspecto tem importância fundamental para o projeto destes dispositivos, onde devem existir distâncias de visibilidade adequadas para garantir a segurança viária.

Este trabalho tem como objetivo investigar as condições de compatibilidade existentes nas rodovias brasileiras para acolher veículos longos, especialmente as Combinações de Veículos de Carga – CVCs, considerando os tempos de travessia destes veículos em interseções em nível, dados os parâmetros de projetos de interseções constantes no Manual de Projeto de Interseções vigente (DNIT, 2005). Desta forma, espera-se identificar as restrições existentes à operação destes veículos, indicando-se as mudanças necessárias para adequar o projeto das interseções para permitir a operação segura destes veículos.

2. DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE EM INTERSEÇÕES EM NÍVEL

Uma interseção em nível deve ser projetada de forma que a mesma proporcione ao motorista uma distância de visibilidade suficiente para que os veículos que chegam às aproximações possam ajustar sua velocidade ou parar, quando preciso. É necessário também garantir uma distância de visibilidade para que um veículo posicionado na via secundária possa identificar uma brecha na via principal e transpor esta via ou nela se inserir com segurança. A AASHTO estabelece que, para cada aproximação da via secundária, deve existir um triângulo de visibilidade que proporcione estas distâncias, determinadas em função do tipo de controle de tráfego no cruzamento (AASHTO, 2004). O método utilizado para estabelecer as distâncias de visibilidade em interseções foi atualizado no Manual da AASHTO de 2001, sendo esta orientação utilizada também no Brasil na publicação do Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005). A situação abordada neste trabalho consiste no caso de interseções controladas pela sinalização tipo “Parada Obrigatória” na via secundária, onde o veículo da via secundária precisa ter uma distância de visibilidade da via principal compatível com o tempo que será necessário para transpor a via principal ou nela se inserir. O triângulo de visibilidade da AASHTO é ilustrado na Figura 1.

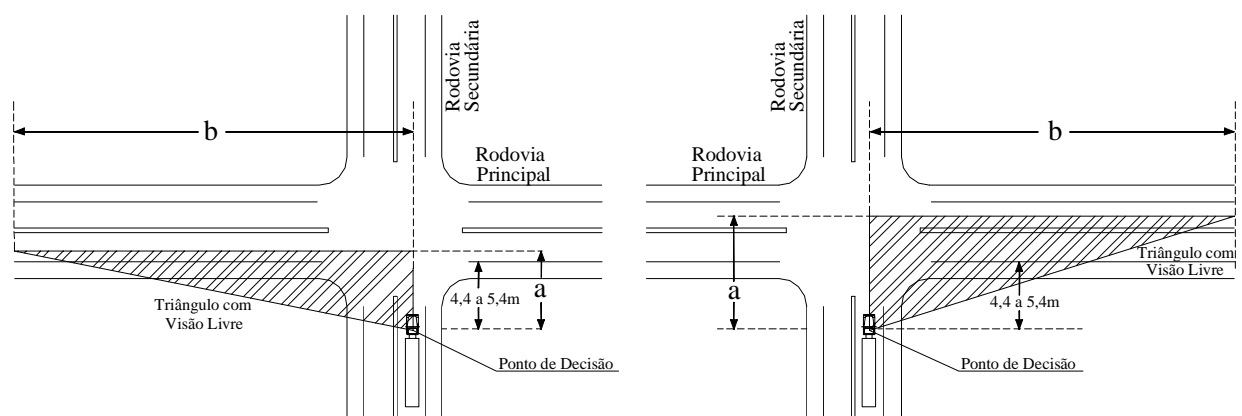


Figura 1: Triângulo de Visibilidade Recomendado para Interseções Controladas pela Sinalização “Parada Obrigatória” na Via Secundária.

A distância “a” corresponde à distância percorrida pelo veículo da via secundária entre o ponto de decisão e o ponto de cruzamento de uma das ou de ambas as correntes de tráfego da via principal. O ponto de decisão consiste no ponto de partida do veículo na rodovia secundária, partindo do repouso para realizar a manobra. Este ponto deve estar localizado a uma distância de 4,4 m a 5,4 m do bordo da faixa de tráfego da via principal (DNIT, 2005). A distância “b” corresponde à trajetória percorrida pelo veículo da rodovia principal entre o instante em que o veículo da via secundária parte do ponto de decisão e o instante que ele transpõe a via principal ou nela se insere. Para o cálculo da distância “b”, a AASHTO utiliza dados coletados em campo, cujo intervalo de tempo considerado corresponde às brechas aceitas na corrente de tráfego para que os veículos parados na via secundária realizem a manobra de travessia ou conversão. Estes tempos são estabelecidos para grupos de veículos, classificados em função de seus comprimentos, não sendo feita menção às suas capacidades de aceleração. A Tabela 1 mostra os valores destas brechas adotadas pela AASHTO e DNIT, onde são considerados greides ascendentes de até 3%, e pistas com duas faixas de tráfego.

Tabela 1: Intervalo de tempo na via principal aceito para manobras de veículos parados na via secundária (t_g).

| VEÍCULO DE PROJETO | | | INTERVALO DE TEMPO ACEITO PARA TRAVESSIA |
|--------------------|------------------------|----------------------|--|
| AASHTO | DNIT | COMPRIMENTO (metros) | |
| Veículo de Passeio | Veículo de Passeio | 5,8 | 6,5 s |
| Caminhão Unitário | Caminhão e Ônibus | 9,1 a 12,2 | 8,5 s |
| CVCs | Semi-Reboque e Reboque | 16,8 a 19,8 | 10,5 s |

Fontes: (AASHTO, 2004) e (DNIT, 2005).

Com base nestes valores de brecha, a distância de visibilidade, correspondente à distância “b” da Figura 1, é calculada pela equação 1 (AASHTO, 2004):

$$DVI = 0,278 \cdot V_p \cdot t_g \quad (1)$$

onde:

DVI = distância de visibilidade necessária ao longo da via principal (m)

V_p = velocidade de projeto da via principal (km/h)

t_g = intervalo de tempo entre veículos da via principal aceitos por veículos procedentes da rodovia secundária (s).

Widmer e Setti (1998) apresentaram tempos de travessia para veículos de passeio e alguns caminhões, correspondentes ao 75º percentil de amostras de dados coletados em interseções em rodovias de pista simples. Os resultados apontaram para intervalos de 4,6 s para veículos de passeio, 9 s para caminhões unitários de 13,2 m, 10,5 s para semi-reboques de 18,15 m e 12,8 s para CVCs de 19,8 m, compatíveis com os valores apresentados na Tabela 1. A pesquisa encontrou ainda o valor de 15,6 s para CVCs com extensão de 30 m. As brechas consideradas pelo DNIT abrangem três classes de veículos, definidas em função de seus comprimentos. A proposta deste trabalho é investigar a influência da relação potência/massa do veículo sobre as distâncias requeridas, uma vez que a mesma será responsável pela sua capacidade de aceleração, e, como será mostrado, tem influência significativa nas distâncias de visibilidade requerida pelos veículos.

2.1 Interseções Providas de Faixas de Mudança de Velocidade

Nas rodovias de velocidade de projeto elevada, e especialmente naquelas com volumes de tráfego mais elevados, os manuais de projeto geométrico recomendam, além do atendimento às distâncias de visibilidade de parada, a adoção de faixas de mudança de velocidade. Estes dispositivos consistem em faixas auxiliares de tráfego, que têm por objetivo proporcionar espaço suficiente para os veículos que irão se inserir na via principal poderem elevar suas velocidades a valores próximos ao observado na corrente de tráfego desta via (faixas de aceleração). Outra finalidade é permitir os veículos que irão deixar a via principal reduzirem suas velocidades para um valor compatível com as características do ramo ou da via de conexão onde o veículo adentrará (faixas de desaceleração). Desta forma, são reduzidos os conflitos e interferências destes veículos com fluxo de tráfego direto da via principal, elevando a fluidez e a segurança viária.

O *Manual* do DNIT estabelece as extensões das faixas de aceleração com base em veículos de passeio e reconhece que esta prática resulta em menor velocidade desenvolvida pelos caminhões no final da faixa auxiliar, dada sua menor capacidade de aceleração. O *Manual* argumenta que os caminhões, em razão do seu maior porte, intimidam os veículos de passeio, que tendem a ceder espaço, diminuindo sua velocidade e dando oportunidade para que estes veículos se insiram na via principal. Este argumento, todavia, não é consistente, uma vez que o comportamento dos motoristas não é único, não devendo ser generalizado, de forma que situações como estas podem resultar em acidentes de colisão entre os veículos. Para os casos em que existe uma importante participação de veículos pesados no tráfego, o *Manual* recomenda que sejam consideradas maiores extensões para as faixas de aceleração, apesar de não especificar que valores seriam estes.

A Tabela 2 apresenta os comprimentos necessários para as faixas de aceleração, recomendadas pelo DNIT (2005), incluindo a extensão do *taper*, os quais são determinados em função da velocidade do veículo no início da faixa auxiliar admitindo que este atinja a velocidade média da via no final dessa faixa.

Tabela 2: Comprimento das faixas de aceleração em interseções adotado pelo DNIT para greides inferiores a 2%, incluindo *Taper*.

| VELOCIDADE DIRETRIZ (km/h) | VELOCIDADE NO FIM DA FAIXA DE ACELERAÇÃO (km/h) | COMPRIMENTO DA FAIXA DE ACELERAÇÃO (m) | | | | | | | |
|----------------------------|---|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | Velocidade no Início da Faixa de Aceleração (km/h) | | | | | | | |
| | | 0 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 40 | 38 | 60 | 50 | 40 | – | – | – | – | – |
| 50 | 46 | 90 | 70 | 60 | 45 | – | – | – | – |
| 60 | 54 | 130 | 110 | 100 | 70 | 55 | – | – | – |
| 70 | 62 | 180 | 150 | 140 | 120 | 90 | 60 | – | – |
| 80 | 71 | 230 | 210 | 200 | 180 | 140 | 100 | 70 | – |
| 90 | 79 | 280 | 250 | 240 | 220 | 190 | 140 | 100 | 80 |
| 100 | 86 | 340 | 310 | 290 | 280 | 240 | 200 | 170 | 110 |
| 110 | 92 | 390 | 360 | 350 | 320 | 290 | 250 | 200 | 160 |
| 120 | 98 | 430 | 400 | 390 | 360 | 330 | 290 | 240 | 200 |

Fonte: (DNIT, 2005).

Essas distâncias correspondem aos mesmos valores recomendados pela versão anterior do Manual de Projeto Geométrico do DNER (DNER, 1974) e são recomendados para greides

variando entre 0 e 2%. A AASHTO (2004) considera taxas de aceleração mais conservadoras para os veículos, de forma que, mesmo adotando uma velocidade no final da faixa de aceleração em torno de 10 km/h inferior às velocidades consideradas pelo DNIT, propõe maiores comprimentos para as faixas de aceleração que o observado no Manual do DNIT (ver Tabela 3). A justificativa do Manual brasileiro para adoção de comprimentos inferiores aos determinados pela AASHTO é sustentada em razões econômicas, sendo assumida ainda a idéia de que os valores propostos pelo DNIT são satisfatórios para as condições de tráfego do país (DNIT, 2005).

Tabela 3: Comprimento das faixas de aceleração em interseções adotado pela AASHTO para greides inferiores a 2%, incluindo *Taper*.

| VELOCIDADE DIRETRIZ (km/h) | VELOCIDADE NO FIM DA FAIXA DE ACELERAÇÃO (km/h) | COMPRIMENTO DA FAIXA DE ACELERAÇÃO (m) | | | | | | | |
|-------------------------------|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| | | Velocidade no Início da Faixa de Aceleração (km/h) | | | | | | | |
| | | 0 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 50 | 37 | 150 | 140 | 120 | – | – | – | – | – |
| 60 | 45 | 185 | 170 | 155 | 135 | 135 | – | – | – |
| 70 | 53 | 240 | 220 | 200 | 180 | 155 | – | – | – |
| 80 | 60 | 290 | 270 | 255 | 235 | 205 | 155 | – | – |
| 90 | 67 | 350 | 335 | 315 | 295 | 265 | 215 | 125 | – |
| 100 | 74 | 435 | 415 | 395 | 375 | 345 | 295 | 200 | 13 |
| 110 | 81 | 520 | 500 | 480 | 460 | 430 | 380 | 290 | 21 |
| 120 | 88 | 635 | 620 | 605 | 580 | 550 | 500 | 415 | 33 |

Fonte: (AASHTO, 2004).

Para o caso de rampas ascendentes superiores a 2%, bem como nas rampas descendentes, ambos os manuais estabelecem fatores de ajustamento de mesma grandeza, sendo observado também para estes casos a existência de comprimentos para as faixas de aceleração no Manual do DNIT inferiores aos valores recomendados pela AASHTO.

3. MÉTODO

Para investigar a compatibilidade de interseções em nível projetadas de acordo com as recomendações do *Manual do DNIT*(2005) com o tráfego de caminhões longos e CVCs (ver Tabela 4), foi utilizado o simulador TRUPER (DEMARCHI, 2004). Esta ferramenta consiste em um simulador de desempenho veicular, que utiliza como dados de entrada as especificações técnicas do veículo, como potência nominal do motor, relações de engrenagens do câmbio e diferencial, eficiência de transmissão, peso total do veículo e do(s) eixo(s) trator(es), além de outros parâmetros. Foram considerados nesta análise veículos com relações potência/massa de caminhões típicos brasileiros (MELO, 2002), cujas características estão apresentadas na Tabela 5. Estes dados dos veículos, juntamente com o perfil longitudinal (extensão e declividade das rampas), são utilizados no TRUPER em equações de desempenho para modelar o comportamento do veículo em termos de sua velocidade e aceleração. Estas equações são baseadas principalmente no método J2188 da SAE (1996), sendo que alguns dos coeficientes utilizados nestas equações foram adaptados para as condições brasileiras.

Tabela 4: Veículos considerados, segundo nomenclatura proposta por Widmer (2004).




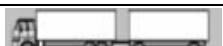

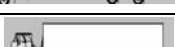

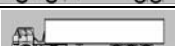
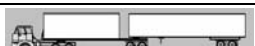

| VEÍCULO | NOMENCLATURA | PICTOGRAMA |
|---|--------------------|---|
| Caminhão Unitário de 2 eixos | CO(DNER) e U2 |  |
| Caminhão Unitário de 3 eixos | O(DNER) e U3 |  |
| Semi-reboque de 5 eixos (veículo de projeto-DNER) | SR(DNER) e 3S2 |  |
| Romeu e Julieta | U3A1S1 |  |
| Rodotrem de 5 eixos (veículo de projeto-DNIT) | RE(DNIT) e 2S1A1S1 |  |
| Semi-reboque de 3 eixos | 2S1 |  |
| Semi reboque de 4 eixos | 2S2 |  |
| Semi-reboque de 5 eixos | 2S3(18,2m) |  |
| Bitrem de 7 eixos | 3S2B2 |  |
| Treminhão | U3A1S1A1S1 |  |

Tabela 5: Características dos veículos simulados no TRUPER.

| ÍTEM | VEÍCULO 1 | VEÍCULO 2 | VEÍCULO 3 | VEÍCULO 4 | VEÍCULO 5 | VEÍCULO 6 |
|--------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| Tipo | U3A1S1 | U3A1S1A1S1 | 2S2 | 3S3 | 2S2 | 2S2 |
| Configuração | 4x2 | 6x4 | 4x2 | 6x2 | 4x2 | 4x2 |
| Unidade Tratora | MB L/LK 1414 | VW 35.300 | P230 (4x2) | Scania - Carga Geral | P230 | Volvo - NH12 (4x2) |
| Motor | MB OM366 | Cummins 6CTAA-294 | Scania - DC9 19 230 | Scania - DSC12 02 | Scania - DC11 07 | Volvo - D12D 420 |
| Caixa de Mudança | EATON FS 6306 A | EATON RT 8609 A | Scania - GR 801 | Scania - GRS 900 | Scania - GRS 900 | Volvo - VT2214 |
| Diferencial | HL-4, para L/LK1414 | Redução 4,1 | Scania - R780 | Scania - RBP835+RP835 | Scania - R780 | Volvo - RAN 471 |
| Potência Nominal (cv) | 136 | 294 | 230 | 360 | 322 | 420 |
| PBTC (kg) | 43000 | 63000 | 33000 | 48500 | 33000 | 31950 |
| Relação pot/massa (cv/t) | 3,16 | 4,67 | 6,97 | 7,42 | 9,76 | 13,13 |

Quanto à extensão da travessia considerada, foi tomado o esquema simplificado ilustrado na Figura 2, sendo admitidas as seguintes hipóteses para as condições de travessia:

- para o comprimento dos veículos, foram considerados vários valores, desde 9,1 m, que corresponde ao comprimento do veículo de projeto CO do DNER até 30 m, valor referente ao comprimento máximo de CVC estabelecido pelo CONTRAN;
- o ponto inicial da travessia considerado correspondeu ao ponto de decisão definido pela AASHTO, e sua localização foi definida a uma distância de 4,4 m da borda da pista da rodovia principal;
- o ponto final da travessia adotado correspondeu à posição em que o caminhão desobstrui completamente a via principal, incluindo seu acostamento;
- a largura da plataforma considerada, isto é, a largura das faixas de tráfego e acostamentos utilizados, correspondeu aos valores mínimos estabelecidos para as classes técnicas do DNER;

- (e) quanto às declividades das plataformas, foram simuladas três situações: 1%, 2% e 3%, sendo considerada a primeira metade da distância de travessia em aclive e a segunda metade em declive; e
- (f) foi acrescentado aos tempos obtidos na simulação um valor correspondente ao tempo de percepção e reação, sendo adotados 2,5 s, valor de referência utilizado nos manuais de projeto para representar o comportamento dos motoristas.

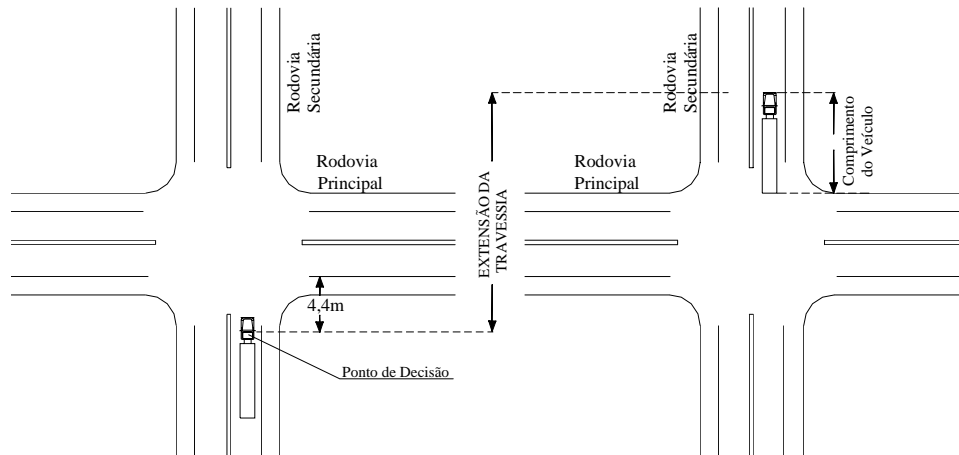


Figura 2: Extensão de Travessia Considerada na Simulação para Cálculo da Distância de Visibilidade em Interseções. Fonte: Elaboração Própria.

Os projetos de rodovias brasileiras de pista simples utilizam dispositivos como, por exemplo, trevos vazados simples ou providos de faixas de aceleração e desaceleração para a interseção da rodovia principal com vias secundárias. Este tipo de dispositivo faz uso de ilhas de canalização, sendo o controle de tráfego realizado mediante placas de sinalização “PARE” na via secundária. Sua utilização apresenta algumas vantagens em virtude da desobstrução da via principal, quando os veículos pretendem realizar conversões à esquerda, que são canalizadas para a aproximação da via secundária. Outra vantagem observada neste dispositivo é o melhor posicionamento do veículo procedente da via secundária para se inserir na via principal, permitindo que ele fique parado no acostamento, aguardando uma brecha no fluxo de tráfego.

Este tipo de interseção, porém, apresenta desvantagens, como a presença de interferências entre as correntes de tráfego, potencializadas em função do elevado diferencial de velocidade entre os veículos que trafegam na via principal e aqueles que pretendem cruzá-la, ou nela se inserir. Além deste fato, existe a necessidade de o motorista estar atento às duas correntes de tráfego da via principal para realizar a manobra de travessia (XEREZ, 2002). A existência de faixas de aceleração e desaceleração nestes dispositivos eleva o nível de segurança da interseção, uma vez que permite aos veículos que irão se inserir na faixa de tráfego da via principal um menor diferencial de velocidade com relação à corrente de tráfego.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos na simulação do TRUPER para o tempo de travessia das interseções foram comparados com os valores admitidos pelos manuais de projeto geométrico apresentados na Tabela 1. A análise das situações envolvendo a realização de conversões pelo veículo da via secundária e sua inserção na via principal será tratada mais adiante, quando

será considerada a utilização de faixas de aceleração. Considerando inicialmente a extensão total de travessia direta, dadas as hipóteses assumidas para as condições de travessia, foram obtidas extensões que variaram entre 20,4 e 44,6 m. Em função da grande quantidade de valores obtidos, foram simulados os valores entre 20 e 45 m, com incrementos a cada 1 m. Os resultados obtidos para greides de 1 a 3% não apresentaram diferenças significativas, apresentando diferenças na maioria das vezes da ordem de 0,5 s. Estes tempos se mostraram coerentes com resultados de coletas de campo realizadas no trabalho de Demarchi, Setti e Widmer (1994), sendo considerados nas análises os valores obtidos na simulação de travessias no greide de 3%, apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Intervalo de tempo na via principal aceito para manobra de travessia de veículos parados na via secundária – greide de 3% (s)

| EXTENSÃO DE TRAVESSIA (m) | Veículo 1 3,16 cv/t | Veículo 2 4,67 cv/t | Veículo 3 6,97 cv/t | Veículo 4 7,42 cv/t | Veículo 5 9,76 cv/t | Veículo 6 13,13 cv/t |
|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 20 | 11,5 | 10,5 | 8,5 | 8,0 | 8,0 | 7,5 |
| 21 | 11,5 | 10,5 | 8,5 | 8,5 | 8,0 | 8,0 |
| 22 | 12,0 | 11,0 | 9,0 | 8,5 | 8,0 | 8,0 |
| 23 | 12,0 | 11,0 | 9,0 | 8,5 | 8,5 | 8,0 |
| 24 | 12,5 | 11,5 | 9,0 | 9,0 | 8,5 | 8,0 |
| 25 | 12,5 | 11,5 | 9,5 | 9,0 | 8,5 | 8,5 |
| 26 | 13,0 | 11,5 | 9,5 | 9,0 | 8,5 | 8,5 |
| 27 | 13,5 | 12,0 | 9,5 | 9,5 | 9,0 | 8,5 |
| 28 | 13,5 | 12,0 | 10,0 | 9,5 | 9,0 | 8,5 |
| 29 | 13,5 | 12,5 | 10,0 | 9,5 | 9,0 | 9,0 |
| 30 | 14,0 | 12,5 | 10,0 | 9,5 | 9,0 | 9,0 |
| 31 | 14,0 | 12,5 | 10,5 | 10,0 | 9,5 | 9,0 |
| 32 | 14,5 | 13,0 | 10,5 | 10,0 | 9,5 | 9,0 |
| 33 | 14,5 | 13,0 | 10,5 | 10,0 | 9,5 | 9,5 |
| 34 | 15,0 | 13,5 | 10,5 | 10,5 | 10,0 | 9,5 |
| 35 | 15,0 | 13,5 | 11,0 | 10,5 | 10,0 | 9,5 |
| 36 | 15,5 | 13,5 | 11,0 | 10,5 | 10,0 | 9,5 |
| 37 | 15,5 | 14,0 | 11,0 | 10,5 | 10,0 | 9,5 |
| 38 | 16,0 | 14,0 | 11,5 | 11,0 | 10,5 | 10,0 |
| 39 | 16,0 | 14,5 | 11,5 | 11,0 | 10,5 | 10,0 |
| 40 | 16,5 | 14,5 | 11,5 | 11,0 | 10,5 | 10,0 |
| 41 | 16,5 | 14,5 | 11,5 | 11,0 | 10,5 | 10,0 |
| 42 | 17,0 | 15,0 | 12,0 | 11,5 | 10,5 | 10,5 |
| 43 | 17,0 | 15,0 | 12,0 | 11,5 | 11,0 | 10,5 |
| 44 | 17,5 | 15,0 | 12,0 | 11,5 | 11,0 | 10,5 |
| 45 | 17,5 | 15,5 | 12,5 | 11,5 | 11,0 | 10,5 |

Como conclusão geral da simulação, observa-se que veículos com maior relação potência/massa podem compensar seus maiores comprimentos e, portanto, suas maiores extensões de travessia, demandando brechas semelhantes ou até inferiores às brechas de veículos de menor comprimento. Tomando como exemplo os resultados da Tabela 5, observa-se que os veículos com relação potência/massa de 9,76 e 13,15 cv/t nas extensões de travessia entre 30 e 45 m apresentam brechas iguais ou inferiores aos valores demandados por veículos de 3,16 e 4,67 cv/t para as extensões de travessia entre 20 e 30 m. Para a determinação das distâncias de visibilidade em interseções (DVI), foram considerados os tempos apresentados na Tabela 6, utilizando a equação 1. A Tabela 7 mostra os resultados obtidos para veículos com diferentes relações potência/massa e comprimento de 12,2 m, em comparação à distância de visibilidade proposta pelo DNIT para o veículo de projeto O(DNER).

Tabela 7: Distância de visibilidade em interseções, segundo o veículo de projeto O(DNER) e veículos simulados com comprimento de 12,2 m (metros)

| CLASSE | TERRENO | VEÍCULO SIMULADO | | | | | | |
|--------|---------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| | | O (DNER) | 3,16 cv/t | 4,67 cv/t | 6,97 cv/t | 7,42 cv/t | 9,76 cv/t | 13,15 cv/t |
| I | P | 236 | 375 | 334 | 264 | 264 | 250 | 236 |
| | O | 189 | 289 | 256 | 211 | 200 | 189 | 189 |
| | M | 142 | 217 | 192 | 158 | 150 | 142 | 142 |
| II | P | 236 | 361 | 320 | 264 | 250 | 236 | 236 |
| | O | 165 | 253 | 224 | 185 | 175 | 165 | 165 |
| | M | 118 | 174 | 160 | 132 | 125 | 118 | 118 |
| III | P | 189 | 289 | 256 | 211 | 200 | 189 | 189 |
| | O | 142 | 209 | 192 | 158 | 150 | 142 | 142 |
| | M | 95 | 139 | 128 | 106 | 100 | 95 | 95 |
| IV | P | 142 | 209 | 192 | 150 | 150 | 142 | 133 |
| | O | 95 | 139 | 128 | 100 | 100 | 95 | 89 |
| | M | 71 | 100 | 92 | 75 | 71 | 71 | 67 |

Como observado, a distância de visibilidade demandada pelo veículo O(DNER) é semelhante aos valores encontrados para o veículo de 9,76 cv/t. Os veículos de menor relação potência/massa, em função de seus maiores tempos de travessia, exigiram maiores distâncias de visibilidade. Este déficit é mais acentuado nas rodovias de mais elevado padrão, uma vez que estas possuem velocidades de projeto mais elevadas e também plataformas de maior extensão. A situação mais crítica é verificada no veículo de 3,16 cv/t para a Classe I-Plano, cujo déficit é de aproximadamente 140 m. A Tabela 8 mostra a comparação entre as DVIs do veículo de projeto RE(DNIT) e os demais veículos simulados, com 19,8 m de comprimento.

Tabela 8: Distância de visibilidade em interseções, segundo o veículo de projeto RE (DNIT) e veículos simulados com comprimento de 19,8 m (metros)

| CLASSE | TERRENO | RE | VEÍCULO SIMULADO | | | | | |
|--------|---------|------------|------------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| | | | 3,16 cv/t | 4,67 cv/t | 6,97 cv/t | 7,42 cv/t | 9,76 cv/t | 13,15 cv/t |
| I | P | 292 | 417 | 375 | 292 | 292 | 278 | 264 |
| | O | 234 | 334 | 300 | 234 | 234 | 222 | 211 |
| | M | 175 | 250 | 225 | 175 | 175 | 167 | 158 |
| II | P | 292 | 417 | 375 | 292 | 292 | 278 | 264 |
| | O | 204 | 292 | 263 | 204 | 204 | 195 | 185 |
| | M | 146 | 202 | 181 | 146 | 139 | 132 | 132 |
| III | P | 234 | 334 | 300 | 234 | 234 | 222 | 211 |
| | O | 175 | 242 | 217 | 175 | 167 | 158 | 158 |
| | M | 117 | 161 | 145 | 117 | 111 | 106 | 100 |
| IV | P | 175 | 242 | 217 | 175 | 167 | 158 | 150 |
| | O | 117 | 161 | 145 | 117 | 111 | 106 | 100 |
| | M | 88 | 117 | 104 | 88 | 83 | 79 | 75 |

Neste caso os resultados das brechas propostas para o veículo RE(DNIT) se mostraram adequados para a maioria das relações potência/massa simuladas, havendo necessidade de maiores distâncias de visibilidade apenas para os veículos de 3,16 cv/t e 4,67 cv/t. As Tabelas 9 e 10 mostram as DVIs obtidas para o veículo de projeto RE(DNIT), representando o maior veículo considerado pelo Manual do DNIT, em comparação a veículos com comprimento de 25 e 30 m, respectivamente. Para o veículo com comprimento de 25 m, as distâncias máximas de visibilidade propostas no Manual do DNIT, referentes à travessia de um veículo de 19,8

m, se mostraram compatíveis apenas para a operação de veículos com relação potência/massa de 9,76 e 13,15 cv/t. Para o veículo de 30 m, esta condição é atendida apenas pelo veículo de 13,15 cv/t.

Tabela 9: Distância de visibilidade em interseções segundo o veículo de projeto RE (DNIT) e veículos simulados com comprimento de 25 m (metros)

| CLASSE | TERRENO | VEÍCULO SIMULADO | | | | | | |
|--------|---------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| | | RE (DNIT) | 3,16 cv/t | 4,67 cv/t | 6,97 cv/t | 7,42 cv/t | 9,76 cv/t | 13,15 cv/t |
| I | P | 292 | 459 | 403 | 320 | 306 | 292 | 278 |
| | O | 234 | 356 | 322 | 256 | 245 | 234 | 222 |
| | M | 175 | 267 | 242 | 192 | 183 | 175 | 167 |
| II | P | 292 | 445 | 403 | 320 | 306 | 292 | 278 |
| | O | 204 | 311 | 282 | 224 | 214 | 204 | 195 |
| | M | 146 | 222 | 195 | 160 | 153 | 146 | 139 |
| III | P | 234 | 356 | 322 | 256 | 245 | 234 | 222 |
| | O | 175 | 267 | 234 | 192 | 183 | 175 | 167 |
| | M | 117 | 178 | 156 | 128 | 122 | 117 | 111 |
| IV | P | 175 | 259 | 234 | 183 | 175 | 167 | 158 |
| | O | 117 | 172 | 156 | 122 | 117 | 111 | 106 |
| | M | 88 | 129 | 113 | 92 | 88 | 83 | 79 |

Tabela 10: Distância de visibilidade em interseções segundo o veículo de projeto RE (DNIT) e veículos simulados com comprimento de 30 m (metros)

| CLASSE | TERRENO | VEÍCULO SIMULADO | | | | | | |
|--------|---------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | | RE(DNIT) | 3,16 cv/t | 4,67 cv/t | 6,97 cv/t | 7,42 cv/t | 9,76 cv/t | 13,15 cv/t |
| I | P | 292 | 487 | 431 | 348 | 320 | 306 | 292 |
| | O | 234 | 389 | 334 | 267 | 256 | 245 | 234 |
| | M | 175 | 292 | 250 | 200 | 192 | 183 | 175 |
| II | P | 292 | 487 | 417 | 334 | 320 | 306 | 292 |
| | O | 204 | 341 | 292 | 234 | 224 | 214 | 204 |
| | M | 146 | 236 | 209 | 167 | 160 | 153 | 146 |
| III | P | 234 | 389 | 334 | 267 | 256 | 245 | 234 |
| | O | 175 | 284 | 250 | 200 | 192 | 183 | 175 |
| | M | 117 | 189 | 167 | 133 | 128 | 122 | 117 |
| IV | P | 175 | 284 | 250 | 200 | 192 | 175 | 175 |
| | O | 117 | 189 | 167 | 133 | 128 | 117 | 117 |
| | M | 88 | 138 | 121 | 96 | 92 | 88 | 83 |

Para analisar a adequação dos comprimentos das faixas de aceleração nas interseções, foram calculadas as extensões necessárias para que os veículos atinjam uma velocidade adequada ao final destas faixas. Foi admitido como velocidade mínima compatível um valor 20 km/h abaixo da velocidade de projeto da via, conforme estudo realizado por Melo(2002). Os resultados da simulação foram comparados aos valores propostos pelo DNIT e pela AASHTO, sendo observados os seguintes resultados:

- (a) Quando consideradas rampas ascendentes de 2%, as extensões das faixas de aceleração propostas pelo DNIT se mostraram insuficientes para todos os veículos simulados em rodovias com velocidade diretriz de 80 km/h. A adoção de comprimentos mais elevados, como propõe a AASHTO, mostrou-se compatível com os veículos de 7,42 cv/t, 9,76 cv/t e 13,15 cv/t. Para rodovias com velocidade entre 90

- km/h e 120 km/h, os veículos simulados não conseguem atingir as velocidades propostas, uma vez que suas velocidades de equilíbrio estão abaixo de 70 km/h.
- (b) Se consideradas as rampas ascendentes de 4%, apenas os veículos de 9,76 e 13,15 cv/t conseguiram vencer esta declividade e atingir a velocidade compatível com a velocidade diretriz de 60 km/h. Nestes casos a extensão das faixas adicionais propostas pela AASHTO e DNIT se mostraram compatíveis. Se considerada uma via com velocidade diretriz de 70 km/h, apenas o veículo de 13,15 cv/t atinge a velocidade de 50 km/h, e mesmo assim requer maiores comprimentos para as faixas de aceleração do que o proposto pelo DNIT e pela AASHTO.
 - (c) Para as rampas ascendentes de 6%, apenas os veículos de 9,76 e 13,15 cv/t atingiram velocidades consideradas compatíveis com vias de velocidade igual a 50 km/h, onde nestes casos a extensão das faixas adicionais propostas pela AASHTO e DNIT se mostraram compatíveis.

5. CONCLUSÕES

Os resultados das simulações mostraram que no processo de definição de um veículo de projeto para o cálculo de distâncias de visibilidade em interseções em nível não se deve atentar apenas para o comprimento total do veículo. Outros parâmetros como a extensão total de travessia e principalmente o parâmetro relação potência/massa têm uma importância significativa nos tempos de travessia dos veículos. A compatibilidade operacional de veículos mais longos nas interseções projetadas com distâncias de visibilidade para veículos menores pode ocorrer em alguns casos, quando estes veículos apresentam relações potência/massa mais elevada. Desta forma, a maior capacidade de aceleração e ganho de velocidade desempenhada por estes veículos pode reduzir seus tempos de travessia, compensando déficits existentes nas distâncias de visibilidade.

Tomando como referência a pesquisa de caracterização da frota de caminhões brasileiros desenvolvida por Cunha et al. (2005) em rodovias do Estado de São Paulo e os resultados obtidos nas simulações, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- (a) Considere-se inicialmente os veículos unitários do tipo U2 e U3, cujo 85º percentil das relações potência/massa observadas foi respectivamente 14 e 8,6 cv/t. Neste caso, assumindo o comprimento total destes veículos de 14 m, conforme autorizado pela Resolução nº 210 do CONTRAN, as interseções projetadas com distâncias de visibilidade com base no veículo O(DNER) resultariam em incompatibilidade para o veículo U3, sendo adequada apenas para o veículo U2.
- (b) Para os veículos do tipo semi-reboque, onde a pesquisa revelou relações potência/massa variando entre 8 e 12,6 cv/t, assumindo-se um comprimento total de 18,6 m como permite a Resolução nº 210, as distâncias de visibilidade propostas pelo DNIT se mostram compatíveis.
- (c) Se analisados os veículos extra-pesados, a pesquisa de caracterização da frota revelou o 85º percentil das relações potência/massa igual a 6 cv/t e que mais de 50% destes veículos apresentavam uma relação potência/massa inferior a 7,6 cv/t. Desta forma, considerando que estes veículos apresentam comprimentos de 25 m ou superior, o veículo RE(DNIT) não permite o projeto de interseções com distâncias de visibilidade compatíveis.

Considerando que parte da indústria de caminhões brasileiros produz motores com limites de potência nominal média em torno de 420 cv, conclui-se que muitos veículos extra-pesados, cujo PBTC é superior à 45 t, só apresentariam tempos de travessia compatíveis com distâncias de visibilidades propostas com base no veículo RE(DNIT), caso tivessem PBT inferior aos limites máximos admitidos na legislação. Recomenda-se por esta razão considerar o emprego de maiores distâncias de visibilidade para estes veículos no projeto de interseções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1994) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials. 3th Edition, Washington, D.C., EUA.
- AASHTO (2001) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials. 4th Edition, Washington, D.C., EUA.
- AASHTO (2004) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials. 5th Edition, Washington, D.C., EUA.
- CUNHA, A.L. B. N.; MON-MA, M. L.; ARAÚJO, J. J.; EGAMI, C. Y.; SETTI, J. R. A. (2005) Caracterização da frota de caminhões no sistema Anhanguera-Bandeirantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE, 19., 2005, Recife. Anais... Recife: ANPET.
- DEMARCHI, S.R. (2004) Truper: Simulador de Desempenho de Veículos Rodoviários e Ferroviários. Versão 2.5d. Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil. Maringá.
- DEMARCHI, S.H; SETTI, J. R. A.; WIDMER, J.A. (1994) Comportamento de caminhões em interseções em nível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE, 8., 1994, Recife. Anais... Recife: ANPET, v.1, p. 269–274.
- DNER (1999) *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, IPR, Rio de Janeiro, RJ.
- DNER (1974) *Manual de Projeto de Engenharia Rodoviária: Projeto de Interseções*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, IPR, Rio de Janeiro.
- DNIT (2005) *Manual de Projeto de Interseções*. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, IPR, Rio de Janeiro, RJ.
- MELO, R.A. (2002) Faixas adicionais para aclives de rodovias brasileiras. 2002. 178f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- SAE (1996) Commercial Truck and Bus SAE Recommended Procedure for Vehicle Performance Prediction and Charting: Procedure J2188. Warrendale: Society of Automotive Engineers.
- WIDMER, J. A (2004) Proposta de nomenclatura para caminhões, ônibus, CVCs – Combinações de Veículos de Carga e CVPs – Combinações de Veículos de Passageiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE, 18., 2004, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANPET, v.1, p. 624–635.
- WIDMER, J. A.; SETTI, J. R. (1998) Impacts Expected from the Operation of Long Combination Vehicles on Brazilian Two Lane Highways. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HEAVY VEHICLES WEIGHTS AND DIMENSIONS, 5., 1998, Twin–Waters. Anais... Twin–Waters.
- XEREZ, R.S. (2002) Método comparativo de desempenho para interseções em nível de rodovias de pista simples. 2002.100. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.