

DIRETRIZES PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AVANÇADO PARA ESTUDOS E PROJETOS VIÁRIOS: ANÁLISE DA VISIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM HORIZONTAL EM CURVAS À DIREITA

Daniel Sergio Presta García

Christine Tessele Nodari

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Marcelo André Wandscheer

Fernando Fraga de Freitas dos Santos

CIENGE – Consultoria em Informática e Engenharia Ltda.

Zélia Silveira d'Azevedo

STE – Serviços Técnicos de Engenharia S.A.

Gustavo Rubén Di Rado

Universidad Nacional del Nordeste, Argentina

RESUMO

Rodovias de pista simples são predominantes na malha viária pavimentada brasileira. A configuração de duas faixas de rolamento em sentidos contrários sobre uma única pista, sem elemento de segregação do tráfego, favorece a ocorrência do sinistro por colisão frontal. É no processo de ultrapassagem que os veículos estão mais expostos a este tipo de sinistro. A norma corrente possui método para estabelecer a distância necessária para a ultrapassagem em vista planimétrica e altimétrica. No entanto, a análise planimétrica não considera a restrição de visibilidade imposta pelo veículo a ser ultrapassado. Esta falha resulta em atribuir condições de visibilidade em curvas à direita, quando esta não ocorre na prática. Este artigo apresenta a falha mencionada e identifica a repercussão deste subdimensionamento.

ABSTRACT

Rural two-lane highways are prevalent in Brazil's paved road network. The configuration of two lanes in opposite directions on a single track, with no traffic segregation element favors the occurrence of the accident by frontal collision. It is in the process of overtaking vehicles are more exposed to this accident type. The current standard indicate a method to establish the minimum visibility distance based on planimetric and altimetry views. However, the planimetric analysis does not consider the visibility restriction imposed by the vehicle being overtaken. This failure results in assigning visibility in right bends when this does not occur in practice. This article presents the mentioned failure and identifies the impact of this undersizing.

1. INTRODUÇÃO

As rodovias de pista simples são predominantes na malha viária pavimentada brasileira. Dos 65.319,6 km da rede federal pavimentada, 58.709,4 km são de pista simples, equivalente a 90% do total (DNIT, 2013). No processo de ultrapassagem de veículos mais lentos, nas rodovias de pista simples, é necessário utilizar a faixa destinada aos veículos que trafegam no sentido contrário, elevando o risco de colisões frontais.

A colisão frontal é tida como o sinistro de maior potencial para gerar vítimas em rodovias de pista simples. Segundo o IPEA (2006), as colisões frontais são a principal causa de morte nas estradas federais, com 33 vítimas para cada 100 colisões. Outro aspecto que corrobora com a relevância do sinistro por colisão frontal, refere-se a sua pequena participação nos acidentes registrados (inferior a 3%) e sua expressiva participação nos óbitos (superior a 21%), segundo dados do DNIT, 2010. Estes valores contribuem, de forma significativa, para que os acidentes viários sejam considerados um problema de saúde pública, pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2007).

Para tomar a decisão sobre a realização de uma ultrapassagem, o condutor leva em consideração uma série de fatores. Entre estes fatores, a demarcação da sinalização horizontal,

com restrição, ou não, da ultrapassagem é o mais relevante, devendo ser respeitado (DENATRAN, 2008).

O projeto de sinalização horizontal, com a demarcação dos locais com restrição para a ultrapassagem, decorre, principalmente, da análise da distância de visibilidade de ultrapassagem, presente nas normas de projeto nacionais (DNER, 1999a – DNER, 1999b – DNIT, 2010) e no documento referência utilizado por estas, o *Green Book* da AASHTO (2001). Nestas normas, são apresentados os critérios para a definição de valores mínimos de visibilidade e os métodos de análise nas curvas verticais e horizontais.

O projeto Diretrizes para o Desenvolvimento de um Sistema Avançado para Estudos e Projetos Viários – SAEPRO caracteriza-se pelo estudo de normas e métodos relacionados a projetos viários, com a finalidade de desenvolver tecnologia nacional no conceito BIM (*Building Information Model*). A análise da visibilidade de ultrapassagem vertical, com os problemas decorrentes do emprego do método gráfico sobre escala deformada, já foi tratada por Santos et al. (2014), para implantação no projeto SAEPRO (García et al., 2014). No presente artigo é observada uma falha na norma quanto à análise da distância de visibilidade em curvas horizontais. O problema decorre da não incorporação, no método de análise, do veículo que está sendo ultrapassado. Esta limitação torna-se mais significativa nas rodovias brasileiras, com elevada taxa de veículos de carga (com maior restrição à visibilidade). No estudo, será possível observar que a inclusão do veículo ultrapassado na análise de visibilidade de ultrapassagem horizontal irá diferenciar situações de curvas horizontais à esquerda e à direita e delimitar raios, para esta última.

2. ANÁLISE DA VISIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM HORIZONTAL

A análise da visibilidade de ultrapassagem é realizada em duas etapas distintas, mas complementares: (i) a análise altimétrica, também conhecida como análise do perfil ou das curvas verticais e, (ii) a análise planimétrica, do eixo, das curvas horizontais ou, simplesmente, horizontal. Em ambos os casos, os valores mínimos para a distância de visibilidade de ultrapassagem – DVU são definidos por norma (CONTRAN, 2007 e DNIT, 2010), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: distância mínima de visibilidade de ultrapassagem x velocidade regulamentada

Velocidade regulamentada (km/h)	Distância mínima de visibilidade de ultrapassagem (m)
40	140
50	160
60	180
70	210
80	245
90	280
100	320
110	355

Os procedimentos necessários para a análise da distância de visibilidade de ultrapassagem são descritos pelo CONTRAN (2007) da seguinte forma:

Curvas horizontais:

Para determinar a zona de proibição de ultrapassagem numa curva horizontal, considera-se a rodovia em planta, os obstáculos laterais e a sua velocidade regulamentada, procedendo-se

conforme descrito a seguir:

1. *Elabora-se, em escala, o desenho da rodovia em planta;*
2. *Considera-se a velocidade regulamentada na rodovia;*
3. *Pela Tabela 1, identifica-se a distância mínima de visibilidade;*
4. *Constrói-se uma “régua”, em escala gráfica, com o comprimento da distância de visibilidade;*
5. *Aplica-se a “régua” deslizando-a de tal forma a manter suas extremidades sobre a linha divisória de fluxos.*
 - *Enquanto a “régua” não interceptar algum obstáculo, a visibilidade está garantida.*
 - *Quando a “régua” interceptar algum obstáculo, não haverá visibilidade mínima garantida, determinando no início da “régua” (Ponto 1), o início da proibição de ultrapassagem para o sentido do caminhamento.*
 - *Quando a “régua” voltar a ficar livre de obstáculo, determina-se no final da “régua” (Ponto 2) o final da proibição de ultrapassagem.*

Em DNIT (2010) tem-se como recomendação para a análise:

b) Curvas horizontais

Desenha-se uma régua, em papel transparente, na mesma escala do projeto geométrico em planta, com o comprimento da distância de visibilidade;

Aplica-se a régua sobre a planta, fazendo-a deslizar sobre o eixo da rodovia, ao longo do estaqueamento;

Enquanto a barra horizontal, referente à distância mínima de visibilidade, não encontrar obstáculo físico nas margens da rodovia, a visibilidade está garantida;

Onde a barra horizontal tangenciar um obstáculo físico, caracteriza a ausência das condições de visibilidade, com o início do trecho de proibição de ultrapassagem, no sentido do estaqueamento, e o fim do trecho de proibição de ultrapassagem, no sentido oposto;

Prossegue-se deslizando a régua sobre o eixo, até que volte a tangenciar o obstáculo físico, definindo o fim do trecho de proibição de ultrapassagem, no sentido do estaqueamento, e o início do trecho de proibição de ultrapassagem, no sentido oposto.

Nos dois procedimentos descritos, é apresentada a mesma figura (Figura 1). A opção por posicionar os extremos da régua (gabarito) sobre a linha de eixo é plausível. Nesta condição, avalia-se que o condutor do veículo que deseja efetuar a ultrapassagem (neste estudo denominado veículo rápido – VR) já está, parcialmente, na faixa de sentido contrário, com o condutor posicionado sobre o eixo. No outro extremo da régua, pressupõe-se que o veículo que trafega no sentido contrário (VC) está com sua lateral esquerda rente ao eixo.

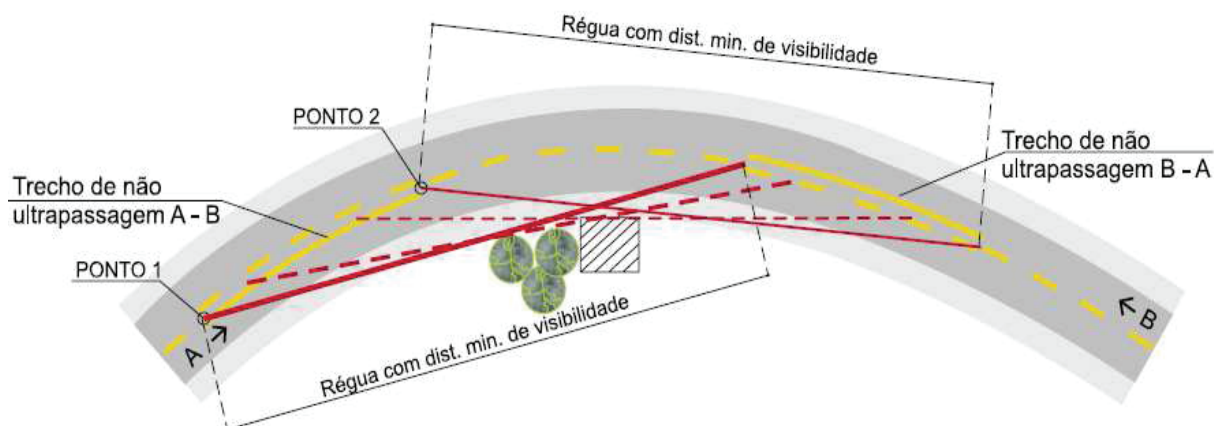


Figura 1: distância de visibilidade horizontal (fonte: CONTRAN, 2007 e DNIT, 2010)

Na ausência da informação de obstáculos físicos reais é usual adotar-se, em favor da segurança, o limite da plataforma de terraplenagem como indicativo dos extremos de visibilidade. Os longos trechos em tangente e as curvas com elevados raios resultam, na aplicação do método, em segmentos sem restrição à ultrapassagem. Curvas com raios menores são classificadas como segmentos com restrição à ultrapassagem.

Uma análise mais apurada do método identifica uma falha conceitual bastante grave: a inexistência de qualquer referência ao veículo ultrapassado (denominado, neste estudo, de veículo lento – VL). Este veículo, inicialmente a frente do veículo rápido (VR), restringe a visão deste último. No processo de ultrapassagem também ocorre uma obstrução parcial, que deve ser considerada. Em curvas com raios amplos e deflexão à direita, a situação torna-se crítica. Nesta circunstância, pelo método recomendado na norma, há visibilidade e, portanto, a sinalização adotada permite a ultrapassagem, autorizando o condutor do veículo a praticar uma verdadeira ‘roleta-russa’.

Segundo Yan et al., 2008, a obstrução de visibilidade gerada pelo VL é significativa e deve ser considerada na análise. Na Figura 2 é possível observar que a restrição de visibilidade pelo VL é dinâmica, alterando-se em função da posição assumida pelo VR.

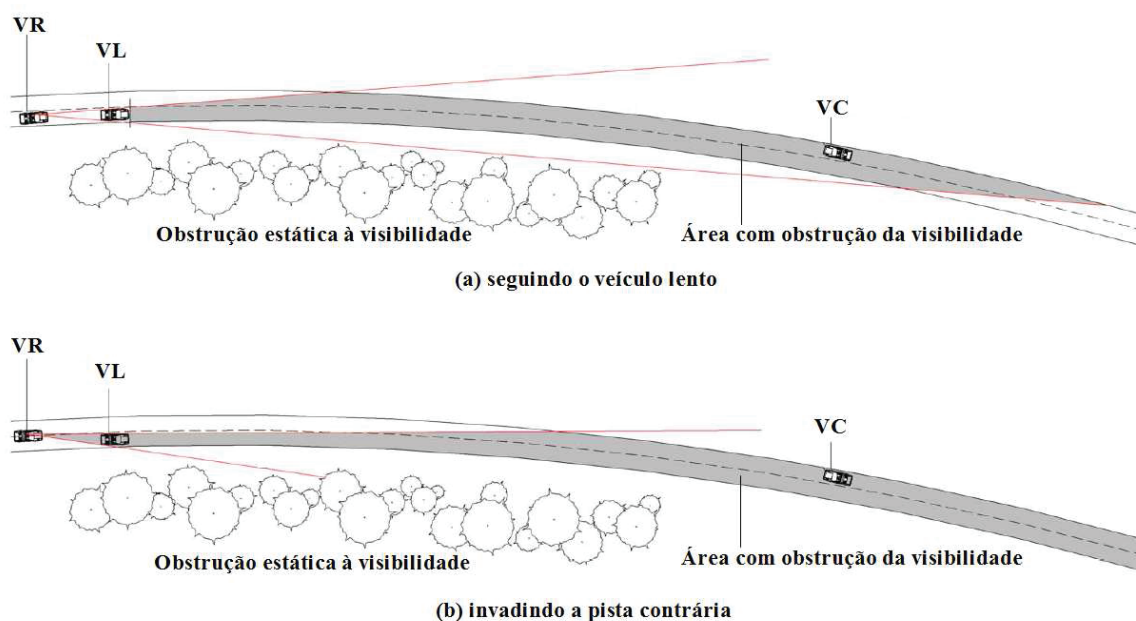


Figura 2: avaliação dinâmica da distância de visibilidade em curvas horizontais
(fonte: adaptado de Yan et al., 2008)

A situação torna-se mais grave no Brasil em função da grande quantidade de veículos de carga nas rodovias, com dimensões superiores aos dos veículos de passeio, e potencial de restrição de visibilidade maior. Embora com percentual inferior a 5% da frota nacional (DENATRAN, 2015), muitas rodovias brasileiras caracterizam-se por registrar percentuais elevados de veículos pesados.

Além do percentual elevado de veículos de carga nas rodovias brasileiras, quando comparado com o de outros países, a baixa potência e o excesso de peso destes são características que reduzem a velocidade, aumentando a ocorrência de ultrapassagens (Demarchi, 2000).

A importância e atualidade do tema suscita o desenvolvimento de alternativas para melhorar as condições de visibilidade como, por exemplo, o apresentado pela empresa Samsung no transporte de seus produtos em rodovias da Argentina, intitulada “*The Safety Truck*”. Conforme mostra a Figura 3, os veículos de carga experimentais foram equipados com telas LED que reproduzem a via a sua frente. As implicações positivas e negativas do uso desta tecnologia ainda não puderam ser aferidas, não devendo ser considerada como uma panaceia para a resolução dos problemas de visibilidade e, conseqüentemente, de segurança viária.



Figura 3: projeto “*The Safety Truck*” da empresa Samsung (fonte: YouTube, 2015)

3. DIRETRIZES DA PESQUISA

O presente trabalho parte da premissa de que o método de análise da visibilidade horizontal apresenta falha ao não considerar o veículo ultrapassado (veículo lento – VL) na análise. Esta restrição de visibilidade, imposta pela presença do VL, é dinâmica, visto que se altera, conforme a posição do VR, sobre a faixa de rolamento e segundo a distância que mantém do VL. A norma (CONTRAN, 2007 e DNIT, 2010) não faz qualquer diferenciação quanto à deflexão da curva horizontal (esquerda ou direita), situação que contradiz o senso comum. Na situação de análise são avaliadas apenas curvas com deflexão à direita.

3.1. Objetivos

O objetivo principal é apresentar a falha no método de análise da distância de visibilidade de ultrapassagem pelas normas correntes no Brasil, ao não considerar a restrição da visibilidade imposta pelos VL em curvas à direita, avaliando o subdimensionamento da restrição de visibilidade na sinalização viária. Como objetivos secundários têm-se: (i) identificar valores de raios mínimos de curvas horizontais para os quais o método da norma indica visibilidade em situações onde esta não existe e, (ii) identificar raios de curvas à direita a partir dos quais é possível, efetivamente, ter visibilidade.

3.2. Delimitações

Para avaliar a repercussão da falha do método foram consideradas algumas delimitações no estudo. Em primeiro lugar, foram analisadas rodovias da Classe II e III, conforme DNER (1999a). Esta opção decorre do perfeito enquadramento de rodovias de pista simples nestas classes, visto que as Classes 0 e I contemplam vias expressas, duplicadas e até de pista simples de elevado padrão, e a Classe IV é recomendada para estradas vicinais, geralmente não pavimentadas. O estudo prevê rodovias implantadas em região plana, ondulada e montanhosa, não existindo limitação quanto ao relevo. A Tabela 2 apresenta parâmetros de projeto referentes à velocidade de projeto, largura da faixa de rolamento e dos acostamentos.

Tabela 2: parâmetros de projeto (fonte: DNER, 1999a)

Tabela 1.1 - parâmetros de projeto (Fonte: DNIT, 1995a)									
Classe de projeto	Parâmetro								
	Velocidade de projeto (km/h)			Largura das faixas de rolamento (m)			Largura dos acostamentos (m)		
	Relevo								
	Pla.	Ond.	Mon.	Pla.	Ond.	Mon.	Pla.	Ond.	Mon.
II	100	70	50	3,60	3,50	3,30	2,50	2,50	2,00
III	80	60	40	3,50	3,30	3,30	2,50	2,00	1,50

4. MÉTODO PROPOSTO

O método de análise proposto contempla quatro etapas distintas: (i) definição do intervalo de estudo, (ii) análise dos raios mínimos por geometria plana, (iii) avaliação da necessidade de superlargura na semiplataforma e, (iv) análise da visibilidade considerando a obstrução provocada pelo VL.

4.1. Definição do intervalo de estudo

A definição do intervalo do estudo decorre das delimitações da pesquisa. A Tabela 3 indica os cenários a serem avaliados, conforme as condicionantes de relevo e classe da rodovia extraídas da Tabela 2.

Tabela 3: valores adotados no estudo (fonte: autor)

Cenários	Vd (km/h)	DVU (m)	Faixa de rolamento (m)	Acostamento (m)	Folga (m)	Semiplataforma (m)
Cenário 1	100	320	3,60	2,50	0,50	6,60+SL
Cenário 2	80	245	3,50	2,50	0,50	6,50+SL
Cenário 3	70	210	3,50	2,50	0,50	6,50+SL
Cenário 4	60	180	3,30	2,00	0,50	5,80+SL
Cenário 5	50	160	3,30	2,00	0,50	5,80+SL
Cenário 6	40	140	3,30	1,50	0,50	5,30+SL

O resultado da largura da semiplataforma, fundamental para a análise de restrição da visibilidade pelo método indicado em norma, embora apresente alguns valores semelhantes para os seis cenários propostos (o que poderia restringir o número de testes), deve ser confrontado com a distância mínima de visibilidade de ultrapassagem (DVU), que é diferente para cada um dos cenários propostos.

Os valores da velocidade de projeto, da largura da faixa de rolamento e do acostamento foram extraídos da Tabela 2 e reposicionados para os cenários de 1 a 6 apresentados na Tabela 3. A

norma prevê, ainda, uma folga, de forma a garantir uma distância mínima de 0,50 metros entre qualquer obstáculo e o limite da plataforma pavimentada (faixa de rolamento + acostamento). A soma destes elementos resulta na semiplataforma considerada no estudo, em tangente (segmento retilíneo da via). O termo SL refere-se à superlargura, a ser avaliada em segmentos curvos, em função do raio, conforme será tratado mais adiante.

4.2. Análise dos raios mínimos por geometria plana

Os raios mínimos com visibilidade (r), para os cenários do intervalo de estudo, foram obtidos a partir da adoção da distância mínima de visibilidade de ultrapassagem como corda de um arco de circunferência (c) e da semiplataforma como flecha (f) do mesmo arco, conforme apresentado na Figura 4.

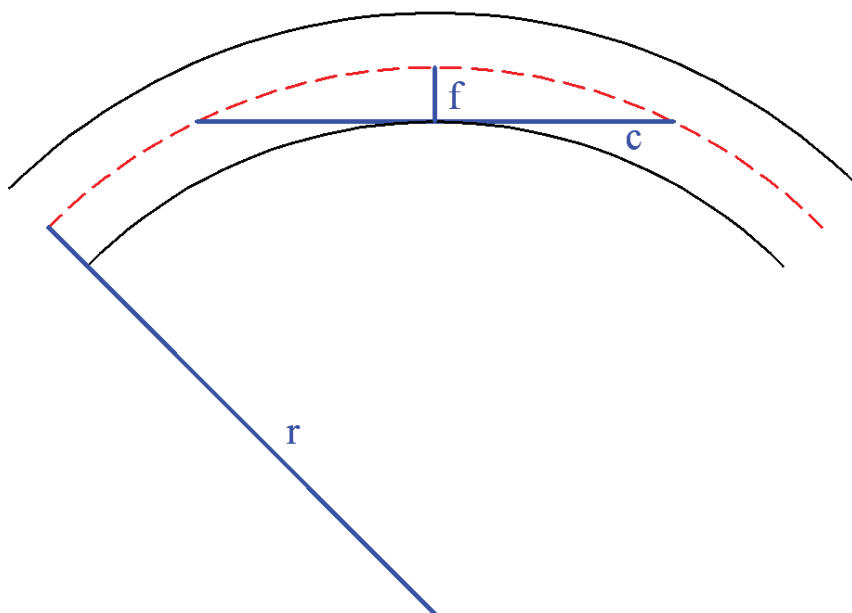


Figura 4: elementos geométricos utilizados na análise (fonte: autor)

No presente estudo não foram considerados os segmentos em transição (clotóide) das curvas compostas, fator que não prejudica a análise, visto que o ponto crítico se dá no local de menor raio nestas curvas, ou seja, na sua porção circular. A relação geométrica entre as propriedades raio, corda e flecha de um arco de circunferência é apresentada na Equação 1.

$$r = \frac{4 \cdot f^2 + c^2}{8 \cdot f} \quad (1)$$

em que r : raio [m];
 f : flecha [m], no estudo em questão equivalente à largura da semiplataforma; e
 c : corda [m], equivalente à distância mínima de visibilidade de ultrapassagem.

Aplicada a Equação 1, nos cenários de 1 a 6, foi possível determinar o raio mínimo da curva horizontal, que garante a distância de visibilidade para ultrapassagem, segundo o método (simplificado) estabelecido em norma. A Tabela 4 apresenta estes valores.

Tabela 4: raios mínimos com visibilidade, não considerada a obstrução do VL
(fonte: autor)

Cenários	Vd (km/h)	DVU (m)	Faixa de rolamento (m)	Semi- plataforma (m)	Raio mínimo da curva (m)	Superlargura necessária (m)
Cenário 1	100	320	3,60	6,60	1942,69	0,00
Cenário 2	80	245	3,50	6,50	1157,58	0,00
Cenário 3	70	210	3,50	6,50	851,33	0,00
Cenário 4	60	180	3,30	5,80	701,18	0,00
Cenário 5	50	160	3,30	5,80	554,62	0,00
Cenário 6	40	140	3,30	5,30	464,91	0,00

4.3. Avaliação da necessidade de superlargura na semiplataforma

A determinação do raio mínimo da curva horizontal com visibilidade decorre dos parâmetros previamente definidos na Tabela 3. Um destes, a largura da semiplataforma considerada (utilizada como corda na Equação 1) foi dimensionada para segmentos retilíneos. Em segmentos curvos deve-se proceder à análise e dimensionamento da superlargura a ser acrescida à semiplataforma. Caso ocorra a necessidade de acrescentar a superlargura à semiplataforma, deve-se proceder à análise dos novos raios mínimos, obtidos pela Equação 1, e reavaliar estes, novamente, quanto a possíveis novas superlarguras, em um processo de análise iterativo.

O Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (DNER, 1999a), nas páginas 77 a 81, apresenta uma série de tabelas com a superlargura a ser adotada em curvas horizontais, em função da largura das duas faixas de rolamento, da velocidade de projeto e do raio da curva. O método indica, ainda, que valores de superlargura inferiores a 0,40 metros devem ser desprezados.

Utilizando os valores da Tabela 4 nas tabelas de dimensionamento da superlargura de DNER (1999a), tem-se como resultado a inexistência de superlargura para todos os raios adotados. Neste contexto, a semiplataforma dimensionada para segmentos retilíneos é adequada para segmentos curvos com raios iguais ou superiores aos valores definidos na Tabela 4, não sendo necessário o recálculo dos raios pelo processo iterativo. Desta forma, os valores obtidos na Tabela 4 são considerados com visibilidade de ultrapassagem, pela norma corrente.

4.4. Análise da visibilidade considerando a obstrução provocada pelo VL

O objetivo desta etapa foi identificar o raio para o qual curvas à direita oferecem visibilidade, considerando a obstrução provocada pelo VL. Para tanto, foi necessário: (i) determinar dimensões dos veículos envolvidos, (ii) determinar as posições dos veículos na tomada de decisão da ultrapassagem e, (iii) analisar concepção geométrica.

4.4.1. Determinação das dimensões dos veículos envolvidos

As dimensões atribuídas aos veículos, apresentadas na Tabela 5, foram extraídas de DNER (1999a). De forma a avaliar a situação mais desfavorável, considerando também o expressivo número de veículos de carga nas rodovias nacionais, adotou-se como veículo lento (VL) um veículo de carga do tipo semi-reboque (SR). Os demais veículos foram considerados de passeio (VP).

Tabela 5: dimensões dos veículos utilizados no estudo (fonte: autor)

Veículo tipo	Dimensões (m)		
	Altura	Largura	Comprimento
Passeio (VP)	1,30	2,10	5,80
Carga (SR)	4,10	2,60	16,80

4.4.2. Determinação das posições dos veículos na tomada de decisão da ultrapassagem

Os veículos utilizados na análise foram dispostos sobre um segmento de curva circular, com raio definido, na configuração indicada a seguir (Figura 5):

- **VR:** posicionado parcialmente sobre a faixa de sentido contrário, ficando o condutor do VR sobre o eixo da via. É nesta condição que o condutor do VR toma a decisão de efetuar, ou não, a ultrapassagem.
- **VL:** posicionado à frente do VR, com espaçamento de 16 metros entre ambos (valor adotado até hoje pelo *Green Book* a partir dos estudos realizados no final da década de 30 e início de 40 – Pellegrini, 2006). Quanto à posição transversal, foi considerado o veículo centrado sobre a faixa de rolamento da direita, de forma que sua lateral esquerda esteja distanciada do eixo 0,50m no cenário 1, 0,45m nos cenários 2 e 3 e 0,35m nos cenários 4, 5 e 6.
- **VC:** posicionado centralizado sobre faixa de rolamento esquerda – sentido contrário (com sua lateral esquerda a 0,75m do eixo no cenário 1, 0,70m nos cenários 2 e 3 e 0,60m nos cenários 4, 5 e 6). Sua posição longitudinal decorre da aplicação da distância mínima de visibilidade, para cada um dos cenários, em relação ao VR. Esta distância é considerada em linha reta e não em desenvolvimento circular, em favor da segurança.

4.4.3. Análise da concepção geométrica

Uma vez definidas as dimensões dos veículos e seu posicionamento sobre a via, para cada um dos cenários, foi estabelecido o intervalo de raios e os critérios de classificação dos mesmos. Quanto ao intervalo de raios, estabeleceu-se, como valor mínimo, 500 metros (valor próximo ao menor obtido na Tabela 4). Para restringir o tamanho da matriz de testes, optou-se por avaliar a visibilidade para raios com intervalo de 500 metros entre si. Os testes deveriam ser conduzidos até encontrar-se o raio que permitisse a visibilidade total. Esta situação foi obtida para o raio 5000 (cenário 1), o que gerou nove intervalos de raio para cada um dos cenários inicialmente propostos, perfazendo 54 testes na matriz.

O critério de classificação da avaliação da visibilidade pode ser observado na Figura 5. O setor circular de restrição da visibilidade (sombreado), com foco no condutor do VR (no momento da tomada de decisão), que tangencia o VL e com raio equivalente à distância mínima de visibilidade de ultrapassagem, pode ocultar o VC completamente (Figura 5a), parcialmente (Figura 5b), ou permitir uma visibilidade total (Figura 5c). A classificação foi obtida através da representação gráfica dos elementos (curva à direita com faixa de rolamento, VR, VL e VC e setor circular de restrição de visibilidade) em ambiente CAD (*Computer Aided Design*) para cada um dos 54 testes da matriz. É importante ressaltar que a Figura 5 é meramente ilustrativa, não representando as grandezas envolvidas na análise.

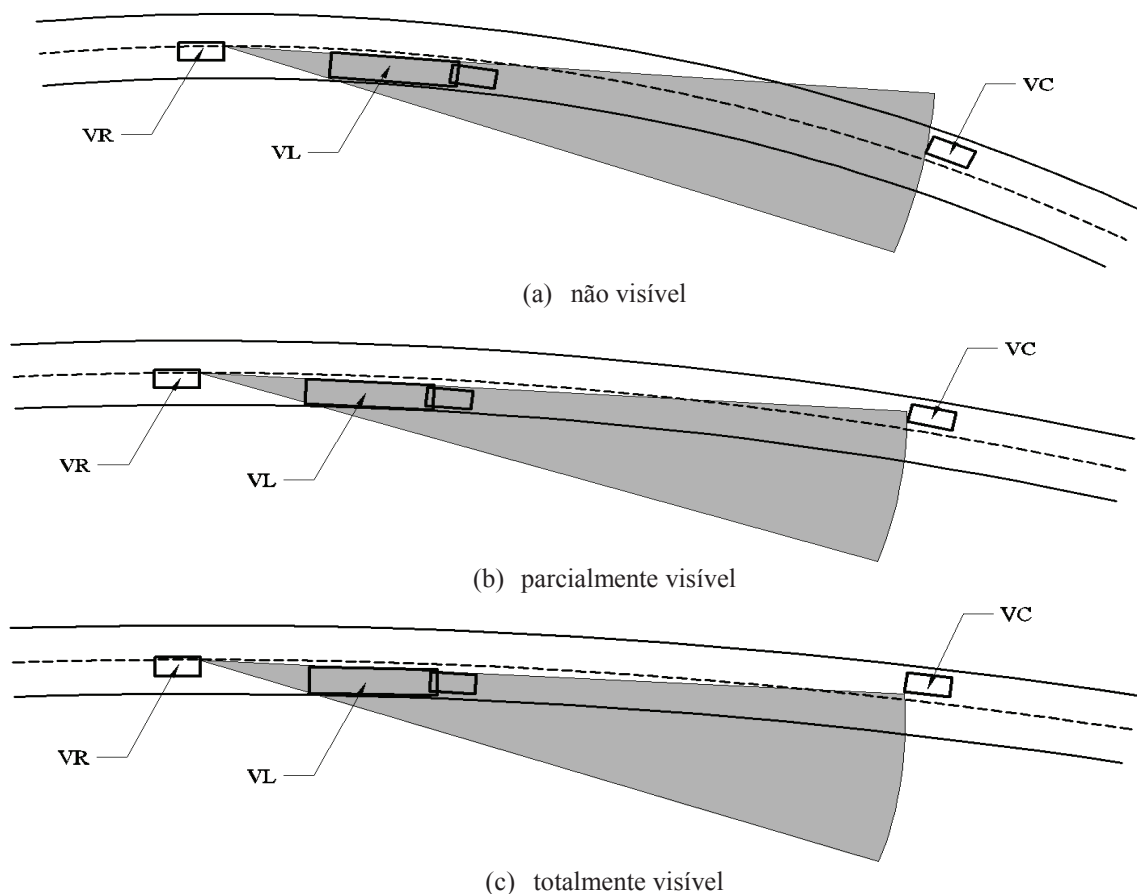


Figura 5: critério de classificação da visibilidade (fonte: autor)

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos para a matriz de testes considerada, apresentados na Tabela 6, indicam as situações de não visível (não), parcialmente visível (parcial) e totalmente visível (sim). É possível observar nesta, por exemplo, que para o Cenário 4 (com distância mínima de visibilidade de ultrapassagem de 180 metros) o raio mínimo para se ter uma visão parcial do VC é de 2500m e para a visão total, 3500m. Conforme visto na Tabela 4, o valor do raio mínimo que oferece visibilidade, pela norma corrente, para o exemplo em questão, é de, aproximadamente, 700m (uma diferença de 1800m para visibilidade parcial e 2800m para a total). No exemplo, é possível verificar quão relevante é o subdimensionamento pelo método constante na norma, ao não considerar na análise a obstrução causada pelo VL.

Tabela 6: visibilidade de ultrapassagem considerando obstrução (fonte: autor)

Cenários	DVU (m)	Raios avaliados (m) – visibilidade								
		500	1000	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
Cenário 1	320	não	não	não	não	não	não	parcial	parcial	sim
Cenário 2	245	não	não	não	não	parcial	parcial	sim	sim	sim
Cenário 3	210	não	não	não	parcial	parcial	sim	sim	sim	sim
Cenário 4	180	não	não	não	parcial	parcial	sim	sim	sim	sim
Cenário 5	160	não	não	parcial	parcial	sim	sim	sim	sim	sim
Cenário 6	140	não	não	parcial	sim	sim	sim	sim	sim	sim

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente artigo avaliou o método de análise horizontal da visibilidade de ultrapassagem da norma corrente e identificou:

1. o método é falho ao não considerar a obstrução de visibilidade gerada pelo veículo lento (VL), no momento da tomada de decisão pelo condutor do VR.
2. a falha causa problemas de subdimensionamento na sinalização horizontal em curvas com deflexão à direita.
3. os raios de curvas horizontais, com visibilidade pelo método da norma, variam de, aproximadamente, 460 a 1940 metros. Nas curvas à direita é provável que a visibilidade não se confirme na prática.
4. a restrição de visibilidade, considerando-se o veículo lento (VL), é real e ocorre para raios inferiores aos dos intervalos entre 2000 e 4000 metros (visibilidade parcial), e 2500 e 5000 metros (visibilidade total).

Observado o problema de dimensionamento, o grupo que participou do estudo recomenda a adoção da Tabela 7, na avaliação da visibilidade horizontal. Sugere-se proceder a uma análise de visibilidade mais criteriosa para raios inferiores aos da Tabela 7, alertando que curvas à esquerda devem ser analisadas como curvas à direita para o sentido contrário.

Tabela 7: raios mínimos para curvas à direita com visibilidade (fonte: autor)

Classe de projeto	Raio da curva (m)	Região		
		Plana	Ondulada	Montanhosa
Classe II	Mínimo	4000	2500	2000
	Desejável	5000	3500	3000
Classe III	Mínimo	3000	2500	2000
	Desejável	4000	3500	2500

Uma oportunidade de avanço a esta análise está na avaliação conjunta dos efeitos planimétricos e altimétricos, com a obstrução da visibilidade por elementos dinâmicos. Estes estudos vêm sendo oportunizados pelo grupo de pesquisa do Projeto SAEPRO, em parceria com o GISVI (*Grupo de Investigacion en Seguridad Vial*, da *Universidad Nacional del Nordeste*, Argentina). A Figura 6 foi extraída do simulador em desenvolvimento para avaliação dinâmica da visibilidade em ambiente 3D (tridimensional). Através deste, é possível percorrer virtualmente a via em análise, com VR, VL e VC devidamente posicionados, e observar diferentes problemas de visibilidade, a serem reportados em artigos futuros.



Figura 6: análise da visibilidade através de simulador (fonte: Di Rado, 2012)

Agradecimentos

Os autores agradecem às empresas STE – Serviços Técnicos de Engenharia S.A. e CIENGE – Consultoria em Informática e Engenharia Ltda. pelo apoio financeiro no desenvolvimento deste projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (2001) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets "Green Book"*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington DC.
- BRASIL. Ministério da Saúde (2007) *Portal da Saúde: Mortes no trânsito aumentam 9% em três anos*. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/portal/aplicacoes/noticias/noticias_detalhe.cfm?co_seq_noticia=29276>. Acesso em: maio de 2007.
- CONTRAN (2007) *Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Volume IV – Sinalização Horizontal*. Ministério das Cidades. Brasília. DF.
- Demarchi, S. H. (2000) *Influência dos Veículos Pesados na Capacidade e Nível de Serviço de Rodovias de Pista Dupla*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. Brasil.
- DENATRAN (2008) *Código de Trânsito Brasileiro*. Ministério das Cidades. Brasília. DF.
- DETRAN (2015) Frota de veículos no Brasil de <http://www.denatran.gov.br/frota2015.htm> dados de maio de 2015.
- Di Rado, G. R.; D. S. P. García, G. H. Devincenzi, F. G. Teixeira. (2012) *Modelado virtual de ejes de carreteras rurales en 3D utilizando datos georreferenciados para la verificación de la consistencia geométrica*. Convención Panamericana de Ingenierías. La Habana. Cuba). [Anales...]
- DNER (1999a) *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro.
- DNER (1999b) *Manual de Sinalização Rodoviária*. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro.
- DNIT (2010) *Manual de Sinalização Rodoviária*. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro.
- DNIT (2013) *Relatório dos Levantamentos Funcionais das Rodovias Federais*. Brasília. DF.
- IPEA (2006) *Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Rodovias Brasileiras – Relatório Executivo*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília. DF.
- García, D. S. P.; Wandscheer, M. A.; Santos, F. F. F.; Fraga, P. G. R.; Teixeira, F. G.; d'Azevedo, Z. S. e Di Rado, G. R. (2014) *Diretrizes para o desenvolvimento de um sistema avançado para estudos e projetos viários: o conceito BIM no projeto de obras de infraestrutura*. PANAM 2014. Santander. Espanha. Anales.
- Pellegrini, P. T. (2006) *Contribuição para o estudo das distâncias de visibilidade de ultrapassagem para rodovias bidirecionais com duas faixas de tráfego*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo. SP.
- Santos, F. F. F., D. S. P. García, M.A. Wandscheer (2014) *Diretrizes para o desenvolvimento de um sistema avançado para estudos e projetos viários : análise da visibilidade de ultrapassagem vertical*. Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Curitiba. PR. Anais [recurso eletrônico].
- Yan, X., E. Radwan, J. C. Parker (2008) *Evaluation of Dynamic Passing Sight Distance Problem Using a Finite-Element Model*. Journal of Transportation Engineering. Junho de 2008.
- YouTube (2015) Samsung "The Safety Truck" de <https://www.youtube.com/watch?t=45&v=ZetSRWchM4w> dados de junho de 2015.

Daniel Sergio Presta García (daniel.garcia@ufrgs.br)
Christine Tessele Nodari (piti@producao.ufrgs.br)
Marcelo André Wandscheer (marcelo@cienge.com.br)
Fernando Fraga de Freitas dos Santos (fragadefreitas@gmail.com)
Zélia Silveira d'Azevedo (zelia@stesa.com.br)
Gustavo R. Di Rado (gdirado@ing.unne.edu.ar)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Osvaldo Aranha, 99 – Porto Alegre. RS. Brasil