

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO TEÓRICA DE PARÂMETROS DE
ULTRAPASSAGEM EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES
COM CIRCULAÇÃO DE VEÍCULOS DE CARGA**

MONIQUE CRUVINEL FRANÇA

ORIENTADORA: MICHELLE ANDRADE

PROJETO FINAL I EM ENGENHARIA CIVIL

BRASÍLIA – DF, JULHO DE 2016.

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO TEÓRICA DE PARÂMETROS DE
ULTRAPASSAGEM EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES
COM CIRCULAÇÃO DE VEÍCULOS DE CARGA**

MONIQUE CRUVINEL FRANÇA

**TRABALHO DE PROJETO FINAL SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.
APROVADA POR:**

**MICHELLE ANDRADE, DSc. (UnB)
(ORIENTADORA)**

**JOSÉ MATSUO SHIMOISHI, DSc. (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**PASTOR WILLY GONZALES TACO, DSc. (UnB)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 8 de julho de 2016.

FICHA CATALOGRÁFICA

FRANÇA, MONIQUE CRUVINEL

Avaliação Teórica de Parâmetros de Ultrapassagem em Rodovias de Pista Simples com Circulação de Veículos de Carga.

[Distrito Federal] 2016.

x, - 53 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2016)

Trabalho de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Segurança Viária

2. Veículos de grande porte

3. Distância de visibilidade de ultrapassagem

4. Revisão normativa

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FRANÇA, M.C. (2016). **Avaliação Teórica de Parâmetros de Ultrapassagem em Rodovias de Pista Simples com Circulação de Veículos de Carga.** Trabalho de Projeto Final, Publicação, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, **53 p.**

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: **MONIQUE CRUVINEL FRANÇA**

TÍTULO DO TRABALHO DE PROJETO FINAL: **Avaliação Teórica de Parâmetros de Ultrapassagem em Rodovias de Pista Simples com Circulação de Veículos de Carga.**

GRAU / ANO: **Bacharel em Engenharia Civil/2016**

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Monique Cruvinel França
71680357 – Brasília/DF – Brasil

RESUMO

Em face da utilização extensiva das rodovias brasileiras desde o começo do contexto de urbanização do Brasil, projetos de rodovias que sejam consistentes com as condições de uso, a intensidade e o tipo de fluxo dos veículos circulantes, a fim de proporcionar não só conforto e praticidade dos usuários, mas também, e, principalmente, garantir a segurança dos mesmos. Torna-se contraditório falar em projetos adequados sem se considerar o contexto atual do fluxo de tais rodovias, o que não acontece quando se considera algumas normas de projeto brasileiras, que definem, por exemplo, o parâmetro da Distância de Visibilidade de Ultrapassagem (DVU), fundamental na prevenção de acidentes, como ultrapassado e baseado em estudos e hipóteses que não se aplicam à atualidade, nem sequer ao Brasil. Considerando-se a evolução nos diversos modelos de veículos de transporte de carga que circulam pelas rodovias brasileiras, o presente trabalho aborda a questão da necessidade de uma revisão destas normas, propondo, se necessário, uma mudança nos critérios de projeto geométrico de rodovias brasileiras de pistas simples com circulação de veículos de carga.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Justificativa.....	2
1.2	Definição do Problema.....	3
1.3	Objetivos.....	3
1.4	Metodologia de Pesquisa.....	4
1.4.1	Revisão Bibliográfica.....	4
1.4.2	Coleta de dados e estatísticas.....	4
1.4.3	Escolha do modelo de cálculo.....	5
1.4.4	Aplicação dos dados.....	5
2.	VEÍCULOS DE CARGA NO BRASIL.....	6
2.1	Caracterização.....	6
2.2	Nomenclatura.....	11
2.3	Dados coletados.....	13
2.4	Tópico conclusivo.....	14
3.	TEORIAS DE CÁLCULO DA DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM... ..	15
3.1	Manual de Projeto Geométrico brasileiro (1999) e Green Book (2001).....	15
3.2	Modelo de Kenny (2000).....	23
3.3	Modelo de Glennon (1988).....	24
3.4	Modelo de Hassan, Easa e Halim (1998).....	29
3.5	Modelo de Wang e Cartmell (1998).....	32
3.6	Análise Comparativa das Teorias.....	36
3.7	Tópico Conclusivo.....	38
4.	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE SEGUNDO O MODELO DE WANG E CARTMELL.....	40
4.1	Veículo de passeio ultrapassando outro veículo de passeio.....	43
4.2	Veículo de passeio ultrapassa veículo de carga tipo CVC.....	44
4.3	Veículo de carga tipo CVC ultrapassa veículo de passeio.....	45
4.4	Veículo de carga tipo CVC ultrapassa veículo de carga tipo CVC.....	46
4.5	Conclusão do tópico.....	47
5.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	49
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Classificação de composições veiculares de carga.....	7
Tabela 2.2. Agrupamento das configurações e seus respectivos valores de peso/potência	13
Tabela 2.3. Configurações de eixos observados nas balanças nas rodovias de pista simples.	13
Tabela 3.1. Elementos do projeto seguro da distância de visibilidade de ultrapassagem para uma rodovia simples.....	19
Tabela 3.2. Valores da DVU em função da velocidade de projeto segundo a AASHTO	20
Tabela 3.3. Distâncias de visibilidade de ultrapassagem no Brasil.....	20
Tabela 3.4. Principais dimensões básicas dos veículos de projeto (em metros)	22
Tabela 3.5. DVUs para veículos de comprimento máximo 19,8 m (cenários A e B)	24
Tabela 3.6. DVUs para veículos de comprimento máximo 32 m (cenários C e D)	24
Tabela 3.7. Distância de Visibilidade de Ultrapassagem para os modelos estudados	36
Tabela 4.1. Resultados dos valores do modelo de Wang (1998)	41
Tabela 4.2. Comparação entre DVUs segundo o modelo de Wang e o modelo da AASHTO para o cenário em que um veículo de passeio ultrapassa um veículo de passeio.....	44
Tabela 4.3. Comparação entre DVUs segundo o modelo de Wang e o Manual Brasileiro para o cenário em que um veículo de passeio ultrapassa um veículo de carga tipo CVC	45
Tabela 4.4. Comparação entre DVUs segundo o modelo de Wang e o Manual Brasileiro para o cenário em que um veículo de carga tipo CVC ultrapassa um veículo de passeio	46
Tabela 4.5. Comparação entre DVUs segundo o modelo de Wang e o Manual Brasileiro para o cenário em que um veículo de carga tipo CVC ultrapassa um veículo de carga tipo CVC..	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Elementos presentes na determinação das distâncias de visibilidade de ultrapassagem	17
Figura 3.2. Elementos da distância de visibilidade de ultrapassagem em função da velocidade média do veículo que ultrapassa em rodovias de mão dupla	19
Figura 3.3. Utilização do gabarito de visibilidade (Brasil, 1999)	21
Figura 3.4. Fases da DVU segundo o modelo de Glennon	25
Figura 3.5. Diagramas tempo-espaço nas manobras de ultrapassagem	27
Figura 3.6. Fases da ultrapassagem para o modelo de Wang e Cartmell (1998)	33
Figura 3.7. Curva em S usada para o modelo de Wand and Cartmell (1998).....	34

LISTA DE EQUAÇÕES

Eq. 3.1	17
Eq. 3.2	17
Eq. 3.3	18
Eq. 3.4	18
Eq. 3.5	28
Eq. 3.6	28
Eq. 3.7	30
Eq. 3.8	30
Eq. 3.9	30
Eq. 3.10	31
Eq. 3.11	31
Eq. 3.12	31
Eq. 3.13	31
Eq. 3.14	31
Eq. 3.15	34
Eq. 3.16	34
Eq. 3.17	34
Eq. 3.18	34
Eq. 3.19	35
Eq. 3.20	35

LISTA DE ABREVIACÕES

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*

AET – Autorização Especial de Trânsito

ANFIR – Associação Nacional dos Fabricantes de Implementos Rodoviários

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito

CTB – Código de Trânsito Brasileiro

CNT – Confederação Nacional de Trânsito

CVC – Combinação de Veículos de Carga

CMT – Capacidade Máxima de Tração

DAER – Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

DVU – Distância de Visibilidade de Ultrapassagem

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

MUTCD – *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*

NCHRP – *National Cooperative Highway Research Program*

PBT – Peso Bruto Total

PBTC – Peso Bruto Total Combinado

1. INTRODUÇÃO

Ao se avaliar o contexto brasileiro de transporte de cargas e passageiros, percebe-se uma parcela expressiva do modal rodoviário, que, por sua vez, contribui com 5,9% do total do PIB brasileiro e representa 61% de toda a movimentação deste tipo de transporte no país (CNT, 2016). Esse setor sofre com problemas relacionados a diversos tipos de acidentes em rodovias de pista simples, normalmente decorrentes de manobras de ultrapassagem. O principal parâmetro de projeto relacionado às manobras de ultrapassagem é a Distância de Visibilidade de Ultrapassagem (DVU). Tal parâmetro pode ser calculado por dois critérios: o geométrico e o da sinalização. Os dois critérios podem fornecer valores bastante distintos entre si e consideram diferentes variáveis de análise, dentre os quais deve-se considerar, em especial, para este estudo, as dimensões máximas dos veículos de grande porte que circulam nas rodovias (PELLEGRINI, 2006).

No Brasil, as referências para os valores estabelecidos são o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais e o Manual de Sinalização Rodoviária, ambos publicados em 1999 pelo extinto DNER (atual DNIT) (BRASIL, 1999). Ao estabelecerem os valores mínimos da DVU, tais manuais baseiam-se em metodologias fundamentadas em estudos e pesquisas de campo realizados nos Estados Unidos na primeira metade do século passado, onde características técnicas das rodovias e dos veículos em circulação diferem muito da época e do local em que estão sendo aplicados no contexto brasileiro (PELEGRINI, 2006). Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas sobre a realização de manobras de ultrapassagens em rodovias brasileiras, com o objetivo de verificar se as dimensões máximas dos veículos de grande porte em trânsito no Brasil estão de acordo com os valores da DVU vigentes.

Neste contexto, este trabalho apresenta uma análise crítica com base em pesquisa bibliográfica e levantamento dos principais modelos e critérios hoje aplicados no país e no exterior com relação à ultrapassagem e dimensões veiculares máximas em rodovias de pistas simples, assim como a proposição de uma nova adequação dos valores definidos na atual norma brasileira.

1.1 Justificativa

A partir de 2004, vem-se observando uma mudança na utilização dos padrões dos veículos de carga brasileiros. Muitas empresas transportadoras e associações de pequenos e médios empresários que buscam melhores resultados têm voltado a operação de suas frotas para o uso de combinações de veículos de carga (CVCs), particularmente veículos com maior capacidade de carga, maior potência, motores mais duráveis e com menor consumo de combustível (ALBANO, 2005).

A introdução dos CVCs na frota de carga é uma das novidades de grande importância no contexto das rodovias brasileiras. Estes veículos têm maior comprimento do que o caminhão semi-reboque, normalmente adotado como referência para o projeto da geometria das estradas. Possuem sete ou até oito eixos isolados e maior capacidade de carga, variável de 57 a 74 t, bem acima do limite de 48,5 t que é considerado como o máximo permitido (ALBANO & MATTOS, 2007).

“No Brasil, a pressão por CVCs de maior porte partiu dos segmentos de transporte de cargas a granel líquido e sólido, que pretendem reduzir seus custos de transporte em que o transporte agrega uma importante parcela nos custos de produção e distribuição dados o valor relativamente baixo por tonelada dos produtos transportados. Nos EUA, Canadá e Austrália, onde ocorreu um avanço muito mais significativo na certificação de tráfego de CVCs de maior comprimento e maior PBTC, a pressão maior veio do segmento de transporte de cargas fracionadas, ou seja, buscava-se CVCs com maior capacidade volumétrica” (WIDMER, 2002).

O aumento do número de CVCs na frota dos veículos que circulam nas rodovias brasileiras faz surgir a necessidade de revisão da adaptação da geometria das estradas existentes. As normas utilizadas para projeto de rodovias no Brasil (BRASIL, 1999) não consideram estes veículos mais longos e pesados, logo a grande maioria das rodovias existentes podem não estar adequadas ao uso crescente dos CVCs. Torna-se de essencial importância a análise da influência de tais veículos, principalmente na distância de visibilidade de ultrapassagem.

Observa-se, no Brasil, uma carência muito grande de estudos voltados para o assunto, principalmente no meio acadêmico, como uma análise nacional do número de veículos CVC e métodos alternativos de cálculo das distâncias de visibilidade de ultrapassagem. A operação de

veículos que atendam apenas a alguns requisitos associados à segurança viária é, normalmente, permitida, o que resulta na existência de veículos de elevada complexidade utilizando as rodovias sob condições operacionais adversas.

Segundo Pereira Neto (2007), as mudanças ocorridas na frota de veículos pesados não se restringem a um aumento de capacidade de carga, sendo observadas também inovações na tecnologia destes veículos, que contribuiriam principalmente para um ganho de potência, elevando seu desempenho em termos de velocidade e aceleração. A adoção de parâmetros de geometria com base em veículos de passeio pode, portanto, representar sérios riscos à operação de veículos pesados, devendo ser substituída pela utilização de um veículo de carga para permitir a concepção de vias seguras.

1.2 Definição do Problema

Os valores definidos em norma para as distâncias de visibilidade de ultrapassagem em rodovias rurais de pista simples estão de acordo com os padrões dimensionais e as características dos veículos de carga atuais?

1.3 Objetivos

a) Objetivo geral:

- Avaliar se os valores de distância de visibilidade de ultrapassagem (DVU) definidos pela norma brasileira de projeto geométrico de rodovias estão coerentes com os valores calculados para os veículos de carga em operação no Brasil.

b) Objetivos específicos:

- Resumir dados relevantes para a caracterização de CVCs no Brasil;
- Pesquisar diferentes teorias de cálculo de DVU;
- Selecionar a teoria mais relevante e adaptá-la a situações de ultrapassagem em que estão presentes os CVCs em utilização nas rodovias brasileiras.

1.4 Metodologia de Pesquisa

O método usado para o desenvolvimento desta pesquisa consistiu das seguintes atividades:

- a) Revisão Bibliográfica;
- b) Revisão de estatísticas e características dos veículos de carga em trânsito no Brasil;
- c) Escolha do modelo alternativo de cálculo da DVU;
- d) Aplicação do modelo aos dados brasileiros.

1.4.1 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica foi realizada fundamentalmente através de consultas a bibliotecas digitais e artigos em periódicos especializados sobre os seguintes tópicos: distâncias de visibilidade de ultrapassagem, utilização de CVCs no transporte brasileiro, DVUs para veículos de transporte de carga.

1.4.2 Coleta de dados e estatísticas

O levantamento de dados referentes à representatividade dos veículos de transporte de carga em estudo foi realizado a partir de consultas a anuários, boletins informativos e trabalhos acadêmicos como o de Cunha (2007) e Araújo (2007). Foram ainda consultadas normas e regulamentações relevantes sobre a utilização das combinações de veículos de carga no transporte brasileiro.

Selecionou-se a pesquisa de Araújo (2007) para a obtenção de dados de veículos de carga, tais como peso bruto total, peso por eixo e distância entre eixos. Esses dados foram obtidos em balanças do estado de São Paulo, com a utilização de câmeras de vídeo e pesquisadores.

1.4.3 Escolha do modelo de cálculo

Foram levantados os principais modelos de cálculo de DVU desenvolvidos por diversos autores (GLENNON, 1988; HASSAN, *et. al.*, 1998; WANG & CARTMELL, 1998). De acordo com as suposições, variáveis e adequabilidade de cada modelo, um foi selecionado para que se simulassem cenários envolvendo veículos de carga tipo CVC no contexto brasileiro.

1.4.4 Aplicação dos dados

De posse das características dos veículos CVC mais representativos nas rodovias brasileiras, foram ajustados os dados de cálculo do modelo selecionado para a análise dos cenários. Quatro situações foram analisadas para que se pudesse alcançar uma análise e comparação válida dos valores obtidos com os valores sugeridos no Brasil.

2. VEÍCULOS DE CARGA NO BRASIL

O presente capítulo tem como intuito a caracterização da frota dos veículos de carga que trafegam no Brasil, segundo características como dimensões, pesos, eixos e frequência.

Primeiramente, aborda-se a norma relativa à necessidade de Autorização Especial de Trânsito (AET) para combinações veiculares de carga, que limita as dimensões e pesos brutos totais destes veículos. Conforme o Quadro de Fabricantes publicado pelo DNIT (BRASIL, 2012), ilustra-se os diversos tipos de CVC presentes no Brasil.

Para a obtenção da frequência dos CVCs e informações como marca, modelo, configuração de eixos e potência nominal, foram consultadas as pesquisas de Araújo (2007) e Cunha (2007), que realizaram pesagens dinâmicas em balanças rodoviárias localizadas em diferentes rodovias do estado de São Paulo, região tomada como representativa.

2.1 Caracterização

A Resolução Nº 211 de 13/11/2006 (BRASIL, 2006) determina que veículos com PBTC superior a 57t e inferior a 74t, comprimento superior a 19,80m e inferior a 30,00m, categoria onde se enquadram as combinações veiculares de carga, necessitam de AET para circular, documento emitido por órgãos executivos rodoviários. Acima desse limite de peso, os veículos deverão ter escolta credenciada. Dispõe, ainda, sobre sistemas de freios, sobre acoplamento de unidades e estabelece requisitos técnicos mínimos para o tráfego de veículos com AET, assim como medidas complementares, horários de circulação, velocidade máxima, projeto do veículo e laudo técnico da capacidade de desempenho do veículo.

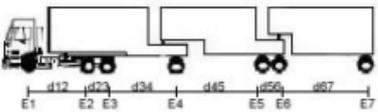
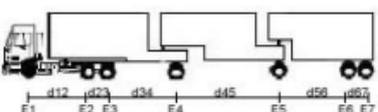
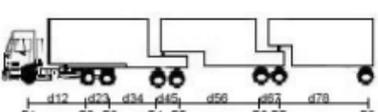
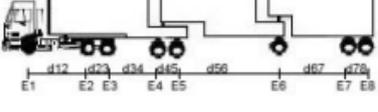
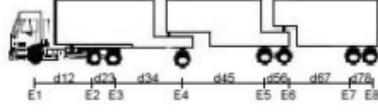
Segundo o Quadro dos Fabricantes publicado pelo DNIT (BRASIL, 2012), os veículos representados na Tabela 2.1 necessitam de AET.

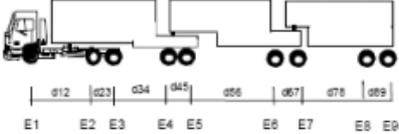
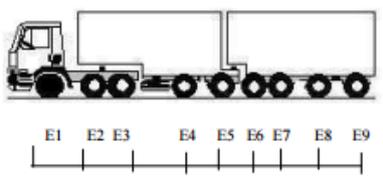
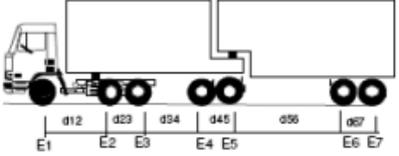
Tabela 2.1. Classificação de composições veiculares de carga

SILHUETA	GRUPO/ NºEIXOS	PBT ou PBTC / (5%)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
	5 / 7	60 / (63) comprimento entre 25m e 30m	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI-REBOQUE + REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6 = eixo duplo; carga máxima 10,0 ton. E7 = eixo duplo; carga máxima 10,0 ton. d12, d34, d45, d67 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45 < 2,40 m	3N4	113
	5 / 8	67 (70,35) comprimento entre 25m e 30m	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI-REBOQUE + REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6 = eixo duplo; carga máxima 10,0 ton. E7E8 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d56, d67 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d78 < 2,40 m	3J5	114
	5 / 9	74 / (77,7) comprimento entre 25m e 30m	RODOTREM (caminhão trator trucado + semi-reboques + reboque com dolly) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6E7 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E8E9 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d56, d78 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d67, d89 < 2,40 m	3T6	93
	5 / 8	66 (69,3) comprimento entre 25m e 30m	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI-REBOQUE + REBOQUE E1E2 = conjunto de eixos direcionais; carga máxima 12 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E5E6 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E7 = eixo duplo; carga máxima 10,0 ton. E8 = eixo duplo; carga máxima 10,0 ton. d23, d45, d67, d78 > 2,40 m 1,20 m < d12, d34, d56 < 2,40 m	4D4	149

	5 / 9	73 (76,65) comprimento entre 25m e 30m	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI-REBOQUE + REBOQUE E1E2 = conjunto de eixos direcionais; carga máxima 12 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E5E6 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E7 = eixo duplo; carga máxima 10,0 ton. E8E9 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d23, d45, d67, d78 > 2,40 m 1,20 m < d12, d34, d56, d89 ≤ 2,40 m	4D5	150
	4 / 8	65,5 / (68,775) comprimento entre 25m e 30m	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + DOIS SEMI-REBOQUES E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5E6 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. E7E8 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d67 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d56, d78 ≤ 2,40 m	3V5	110
	4 / 8	65,5 / (68,775) comprimento entre 25m e 30m	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + DOIS SEMI-REBOQUES E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6E7E8 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5ton. d12, d34, d56 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d67, d78 < 2,40 m	3P5	111
	4 / 9	74 / (77,7) comprimento entre 25m e 30m	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + DOIS SEMI-REBOQUES E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5E6 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5ton. E7E8E9 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5ton. d12, d34, d67 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d56, d78, d89 < 2,40 m	3M6	112
	4 / 8	63 / (66,15) comprimento entre 25m e 30m	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + DOIS SEMI-REBOQUES E1E2 = conjunto de eixos direcionais; carga máxima 12 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E5E6 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E7E8 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d23, d45, d67, > 2,40 m 1,20 m < d12, d34, d56, d78 ≤ 2,40 m	44D	151

	6 / 7	63 / (66,15) comprimento entre 25m e 30m	TREMINHÃO (caminhão trucado + dois reboques) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E6 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E7 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d34, d56, d67 > 2,40 m $1,20\text{ m} < d23 \leq 2,40\text{ m}$	3Q4	92
	6 / 8	70 / (73,5) comprimento entre 25m e 30m	TREMINHÃO DE OITO EIXOS E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5E6 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E7 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E8 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d34, d45, d67, d78 > 2,40 m $1,20\text{ m} < d23, d56 \leq 2,40\text{ m}$	3M5	115
	6 / 8	69 / (72,45) comprimento entre 25m e 30m	TREMINHÃO DE OITO EIXOS E1E2 = conjunto de eixos direcionais; carga máxima 12 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E5 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E6 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E7 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E8 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d23, d45, d56, d67, d78 > 2,40 m $1,20\text{ m} < d12, d34 \leq 2,40\text{ m}$	4R4	174
	4 / 9	74 / (77,7) comprimento entre 25m e 30m	TREMINHÃO DE NOVE EIXOS (caminhão trucado + dois reboques) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5E6 = eixo triplo; carga máxima 25,5 ton. E7E8E9 = eixo triplo; carga máxima 25,5 ton. d12, d34, d67 > 2,40 m $1,20\text{ m} < d23, d45, d56, d78, d89 \leq 2,40\text{ m}$	3Q6	117
	5 / 7	60 / (63) comprimento entre 25m e 30m	TRI TREM (caminhão trator trucado + três semi-reboques) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E7 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d34, d56, d67 > 2,40 m $1,20\text{ m} < d23, d45 \leq 2,40\text{ m}$	3QD	175

	5 / 7	60 / (63) comprimento entre 25m e 30m	TRI TREM (caminhão trator trucado + três semi-reboques) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5E6 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E7 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d34, d45, d67 > 2,40 m 1,20 m < d23, d56 ≤ 2,40 m	3DQ	176
	5 / 7	60 / (63) comprimento entre 25m e 30m	TRI TREM (caminhão trator trucado + três semi-reboques) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E6E7 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d45, d56 > 2,40 m 1,20 m < d23, d67 ≤ 2,40 m	3SD	177
	5 / 8	67 / (70,35) comprimento entre 25m e 30m	TRI TREM (caminhão trator trucado + três semi-reboques) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6E7 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E8 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d34, d56, d78 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d67 < 2,40 m	3D5	178
	5 / 8	67 / (70,35) comprimento entre 25m e 30m	TRI TREM (caminhão trator trucado + três semi-reboques) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E7E8 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d56, d67 > 2,40 m	3DS	179
	5 / 8	67 / (70,35) comprimento entre 25m e 30m	TRI TREM (caminhão trator trucado + três semi-reboques) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5E6 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E7E8 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d45, d67 > 2,40 m 1,20 m < d23, d56, d78 ≤ 2,40 m	35D	180

	5 / 9	74 / (77,7) comprimento entre 25m e 30m	TRI TREM (caminhão trator trucado + três semi-reboques) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6E7 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E8E9 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d56, d78 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40 m	3R6	119
	7 / 9	80 / (84) comprimento entre 25m e 30m	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + DOIS SEMI-REBOQUES E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo simples; carga máxima 10 ton. E5 = eixo simples; carga máxima 10 ton. E6E7 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E8 = eixo simples; carga máxima 10 ton. E9 = eixo simples; carga máxima 10 ton. d12, d34, d45, d56, d78, d89 > 2,40 m 1,20 m < d23, d67 < 2,40 m	3D6	94
	4 / 7	57 / (59,85) Res. Contran 210/06. Caso tenha comprimento total igual ou superior a 17,50m (comp. Máx. = 19,80m)	BI TREM ARTICULADO (caminhão trator trucado + dois semi-reboques) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6E7 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d56 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d67 ≤ 2,40 m Para comprimento entre 19,80m e 30m o veículo deve portar AET.	3T4	118

Fonte: BRASIL (2012)

2.2 Nomenclatura

Para caracterizar a composição da frota de caminhões e CVCs, Cunha (2007) propôs uma classificação para veículos de carga baseada no número de eixos dos veículos, dividindo-os em quatro categorias: leves (2 eixos), médios (3 e 4 eixos), pesados (5 eixos) e extrapesados (7 ou mais eixos). Os veículos CVCs, objeto de estudo do presente trabalho, estão enquadrados na categoria extrapesados. Segundo citado por Malinovski (2010), veículos extrapesados são do tipo rodotrem, treminhão, bitrem e tritrem, com capacidade de carga acima de 40 toneladas.

Existe, ainda, uma denominação segundo a configuração básica de cada veículo. Araújo (2007) utiliza de uma identificação por um código de até dois algarismos, intercalados por uma letra, onde o primeiro indica a quantidade de eixos da unidade tratora e o segundo, caso exista,

a quantidade de eixos da (s) unidade (s) rebocada (s). As principais letras e seus seguintes significados são:

- C: caminhão-plataforma ou caminhão-plataforma + reboque;
- S: cavalo mecânico + semirreboque;
- I: cavalo mecânico + semirreboque com distância entre eixos $> 2,40$ m (eixos isolados);
- J: cavalo mecânico + semi-reboque com um eixo isolado e um eixo em tandem; e
- T: cavalo mecânico + dois ou três semirreboques.

Desta forma, o código fica assim estabelecido:

- nCm : caminhão-plataforma com n eixos transporta um reboque acoplado de m eixos. Se m for omitido, o caminhão-plataforma não possui unidade rebocada.
- nSm : cavalo mecânico com n eixos transporta um semirreboque (S) de m eixos, sendo o total de eixos da composição dado por $n + m$.
- nIm : cavalo mecânico com n eixos transporta um semirreboque (I) de m eixos, espaçados de pelo menos $2,40$ m, sendo o total de eixos da composição dado por $n + m$.
- nJm : cavalo mecânico com n eixos transporta um semirreboque (J) de m eixos, com um deles isolado e outro em tandem, sendo o total de eixos da composição dado por $n + m$.
- nTm : cavalo mecânico com n eixos transporta duas ou três unidades rebocadas do tipo semirreboque (T), que junta totalizam m eixos, sendo o total de eixos da composição dado por $n + m$.

Exemplificando a nomenclatura, tem-se que o veículo 2S3 é um cavalo mecânico com dois eixos tracionando um semirreboque com três eixos e que o veículo 3T4 é um cavalo mecânico com três eixos tracionando dois semirreboques com dois eixos cada.

Segundo o trabalho de Araújo (2007), foram coletados dados de 6.253 caminhões, distribuídos em 22 configurações de eixos. Informações adicionais sobre as pesagens também estão presentes no trabalho de Cunha (2007). Deste trabalho, foram retiradas informações importantes acerca da frequência e característica dos veículos observados.

2.3 Dados coletados

Na Tabela 2.2 estão resumidas algumas características de cada categoria dos veículos encontrados na amostra da pesquisa realizada por Cunha (2007), com configurações, veículos tipo e relação peso/potência.

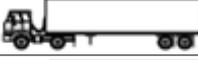
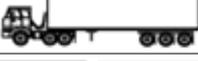
Tabela 2.2. Agrupamento das configurações e seus respectivos valores de peso/potência

Categoria	Eixos	Configurações	Veículo Típico	Peso/Potência (kg/kW)	
				Média	Mediana
Leves	2	2C	Ford F-4000	67	64
Médios	3 e 4	3C, 2S1 e 2S2	Mercedes-Benz L1620	110	98
Pesados	5 e 6	2S3, 2I3 e 3S3	Scania 113H	126	144
Extra-pesados	7 +	3T4	Volvo FH12	173	200

Fonte: CUNHA (2007)

A Tabela 2.3 apresenta os resultados das frequências das principais configurações da amostra, segundo Cunha (2007), e suas respectivas ilustrações e potências nominais médias.

Tabela 2.3. Configurações de eixos observados nas balanças nas rodovias de pista simples

Eixos	Configuração	Nomenclatura	Amostra	Frequência relativa	Potência nominal média
2		2C	88	11,30%	142 cv (104 kW)
3		3C	185	23,80%	164 cv (121 kW)
4		2S2	15	1,90%	324 cv (238 kW)
5		2S3	316	40,70%	351 cv (259 kW)
		2I3	14	1,80%	362 cv (266 kW)
6		3S3	64	8,20%	371 cv (273 kW)
7		3T4	77	9,90%	385 cv (283 kW)
		Outros	18	2,30%	
		TOTAL	777	100,00%	

Fonte: CUNHA (2007)

É importante destacar que pesquisas mais recentes às de 2007 não foram encontradas para a caracterização da circulação de veículos de carga no Brasil. Assim, é possível supor que

os percentuais de veículos CVC nas rodovias de pista simples brasileiras, principalmente do tipo 3T4, em 2016, seja maior que 10%.

2.4 Tópico conclusivo

Neste capítulo, definiu-se combinação veicular de carga (CVC) em termos de legislação e nomenclatura no Brasil. Além disso, foram explicitados os principais tipos de CVC em circulação nas rodovias de pista simples brasileiras, por meio de pesquisas realizadas principalmente por Cunha (2007), com dados sobre frequência relativa, configuração, potência nominal e relação peso/potência. Estes dados são essenciais não somente para uma visão mais abrangente da participação dos CVCs na frota brasileira, mas também para a revisão de características operacionais que serão importantes nas análises dos modelos de cálculo da distância de visibilidade de ultrapassagem (DVU) a serem feitas.

3. TEORIAS DE CÁLCULO DA DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM

Nas rodovias de pista simples, a realização de ultrapassagens é condicionada, entre outros aspectos, à existência de distâncias de visibilidade que permitam ao veículo que trafega em maior velocidade visualizar, na faixa de tráfego oposta, um trecho da via com espaço suficiente para ultrapassar veículos mais lentos com segurança, sem interferir na velocidade de veículos da faixa de fluxo oposto. Esta extensão de via é chamada de distância de visibilidade de ultrapassagem e depende essencialmente da velocidade de projeto da via, da velocidade relativa entre os veículos e seus comprimentos (PEREIRA NETO, 2007).

A norma americana da AASHTO (1994), publicada no “*Green Book*”, norteia o cálculo das distâncias de visibilidade de ultrapassagem no Manual de Projeto Geométrico (BRASIL, 1999). Para se ter uma compreensão melhor de como este cálculo é feito, primeiramente são resumidos os pressupostos e as fórmulas utilizadas segundo este modelo.

Levando em consideração o fato de as DVUs serem calculadas apenas supondo a situação em que um veículo de passeio ultrapassa outro veículo de passeio, aborda-se uma análise realizada por Kenny *et.al.* (2000), que emprega as mesmas fórmulas e hipóteses propostas pela AASHTO (1994), mas com a consideração da participação de um CVC.

Tendo em vista as limitações do modelo proposto pela AASHTO (1994), que serão abordadas no tópico conclusivo deste capítulo, outras teorias de cálculo da DVU são resumidas para que, após uma análise geral do capítulo, se decida pela melhor teoria a ser aplicada em rodovias rurais brasileiras de pista simples com circulação de CVCs.

Para a padronização da nomenclatura de veículos envolvidos na manobra de ultrapassagem, utiliza-se a denominação veículo a ultrapassar, veículo que ultrapassa e veículo oposto.

3.1 Manual de Projeto Geométrico brasileiro (1999) e Green Book (2001)

As normas brasileiras do cálculo da DVU, apresentadas no Manual de Projeto Geométrico (BRASIL, 1999), se baseiam na norma norte-americana segundo o “*Green Book*”, publicado pela AASHTO em 1994 e revisado em 2001, apenas com algumas modificações pelas conversões das unidades adotadas. Assim, neste tópico, serão explicitados os cálculos e as

hipóteses que ambos apresentam e os valores calculados para cada um, com algumas considerações acerca deste modelo.

No cálculo das distâncias mínimas de ultrapassagem admitem-se as seguintes condições, razoáveis para uma elevada percentagem de motoristas:

- a) O veículo mais lento VL (veículo a ultrapassar) viaja com velocidade uniforme;
- b) O veículo mais rápido VR (veículo que ultrapassa) está logo atrás do veículo a ultrapassar e com mesma velocidade no momento em que atinge o ponto inicial PI do intervalo de ultrapassagem;
- c) Após atingir PI, o motorista do veículo que ultrapassa precisa de um certo período de tempo para perceber a possibilidade de ultrapassar e iniciar a manobra: Tempo de Percepção e Reação;
- d) O veículo que ultrapassa acelera durante a manobra e sua velocidade média durante o período em que está na faixa esquerda é 15 km/h maior que a do veículo a ultrapassar;
- e) Quando o veículo que ultrapassa volta para a faixa direita, há uma distância de segurança razoável do veículo que vem em sentido contrário (veículo oposto).

A Figura 3.1, feita com base em esquema da *AASHTO* e retirada do Manual de Projeto Geométrico do DNER (BRASIL, 1999), apresenta os diversos elementos presentes na determinação das distâncias de visibilidade de ultrapassagem.

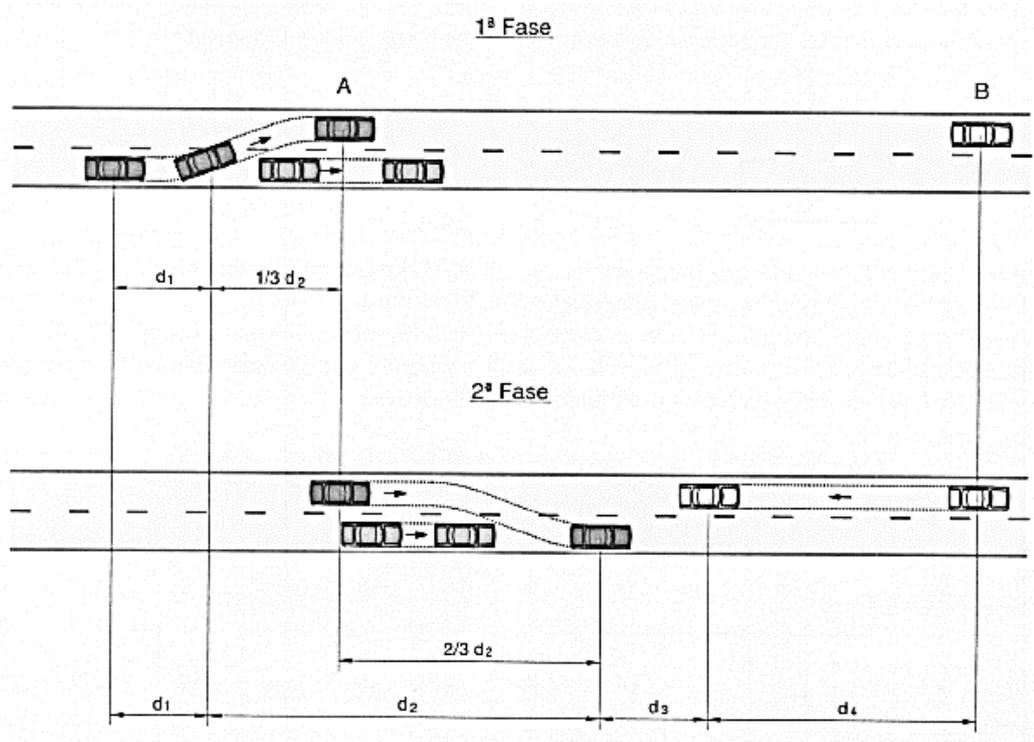


Figura 3.1. Elementos presentes na determinação das distâncias de visibilidade de ultrapassagem

Fonte: BRASIL (1999)

A distância de visibilidade de ultrapassagem (DVU) é dada pela Eq. 3.1.

$$DVU = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Onde

- a) d_1 = distância percorrida durante o período de percepção e reação acrescido do tempo gasto no posicionamento para ultrapassar:

$$d_1 = 0,278t_1 \left(V - M + at \frac{1}{2} \right) \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Onde: V = velocidade média do veículo rápido VR, em km/h

M = diferença entre as velocidades de VR e VL, em km/h

a = aceleração média do veículo mais rápido na passagem de VL para VR, em km/h/s

t₁ = tempo decorrido entre o momento em que o veículo VR atinge o ponto inicial PI do intervalo de ultrapassagem e inicia a manobra de ultrapassagem, em s.

b) d₂ = distância percorrida pelo VR na faixa esquerda:

$$d_2 = 0,278V t_2 \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Onde: V = velocidade média do veículo rápido VR, em km/h

t₂ = tempo de VR na faixa esquerda da rodovia, em seg.

c) d₃ = Distância de segurança entre VR e o veículo que vem em sentido oposto VO:

Valor fixado experimentalmente, variando de 30 a 90m conforme a velocidade de passagem.

d) d₄ = distância percorrida por VO.

$$d_4 = 0,667d_2 \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Uma vez que as fórmulas e hipóteses feitas são baseadas no “*Green Book*” (AASHTO, 1994), a Tabela 3.1 traz, deste manual, os valores dos parâmetros utilizados no cálculo da DVU, enquanto a Figura 3.2 (NCHRP, 2008) ilustra estes fatores influenciadores no cálculo da distância de visibilidade de ultrapassagem.

Tabela 3.1. Elementos do projeto seguro da distância de visibilidade de ultrapassagem para uma rodovia simples

Componente da manobra de ultrapassagem	Velocidade média (km/h)			
	50-65	66-80	81-95	96-110
	Velocidade média de ultrapassagem (km/h)			
	56,2	70,0	84,5	99,8
Manobra inicial				
a = aceleração média (km/h/s)*	2,25	2,30	2,37	2,41
t1 = tempo (s)*	3,6	4,0	4,3	4,5
d1 = distância percorrida (m)	45	66	89	113
VR na faixa esquerda				
t2 = tempo (s)*	9,3	10,0	10,7	11,3
d2 = distância percorrida (m)	145	195	251	314
Distância de segurança				
d3 (m)*	30	55	75	90
Veículo Oposto				
d4 = distância percorrida (m)	97	130	168	209
Distância total, d1 + d2 + d3 + d4 (m)	317	446	583	726

* Para relação de velocidade consistente, os valores observados foram ajustados

Fonte: AASHTO (1994)

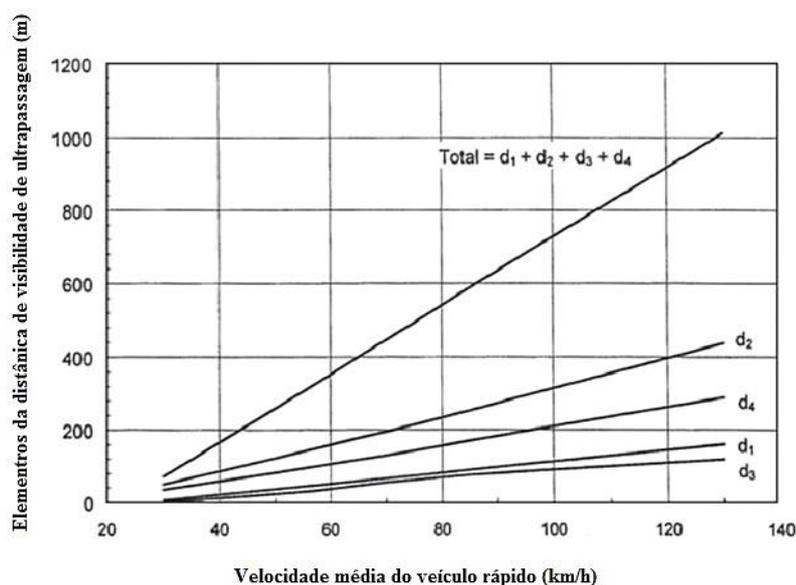


Figura 3.2. Elementos da distância de visibilidade de ultrapassagem em função da velocidade média do veículo que ultrapassa em rodovias de mão dupla

Fonte: NCHRP (2008)

Convertendo-se os valores de “mph” para “km/h” e de “feet” para “m”, a Tabela 3.2 resume as DVU para cada velocidade de projeto, segundo o “*Green Book*” (AASHTO, 1994).

Tabela 3.2. Valores da DVU em função da velocidade de projeto segundo a AASHTO

Velocidade de design (km/h)	Velocidades Assumidas (km/h)		Distância de visibilidade de Ultrapassagem (m)	
	VL	VR	Calculada	Arredondada
30	29	44	200	200
40	36	51	266	270
50	44	59	341	345
60	51	66	407	410
70	59	74	482	485
80	65	80	538	540
90	73	88	613	615
100	79	94	670	670
110	85	100	730	730
120	90	105	775	775

Fonte: AASHTO (2001)

Brasil (1999) adotou as mesmas velocidades de 30 km/h a 120 km/h, com correções apenas nos valores arredondados dos valores de DVU encontrados. Os resultados são resumidos na Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Distâncias de visibilidade de ultrapassagem no Brasil

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Distância de visibilidade de ultrapassagem (m)	180	270	350	420	490	560	620	680	730	800

Fonte: BRASIL (1999)

Mais uma vez, deve-se ressaltar que as hipóteses consideradas e os métodos de cálculo são baseados em estudos realizados há mais de 50 anos nos Estados Unidos (PELLEGRINI, 2006), e não condizem com a realidade das rodovias brasileiras. Brasil (1999) acrescenta que adoção de outros critérios e hipóteses de cálculo podem redundar em valores diferentes no que tange às distâncias de visibilidade necessárias. Serão estes critérios e hipóteses que serão

modificados no caso da análise pertinente a este trabalho. A Figura 3.3 ilustra o processo de utilização do gabarito de visibilidade (BRASIL, 1999).

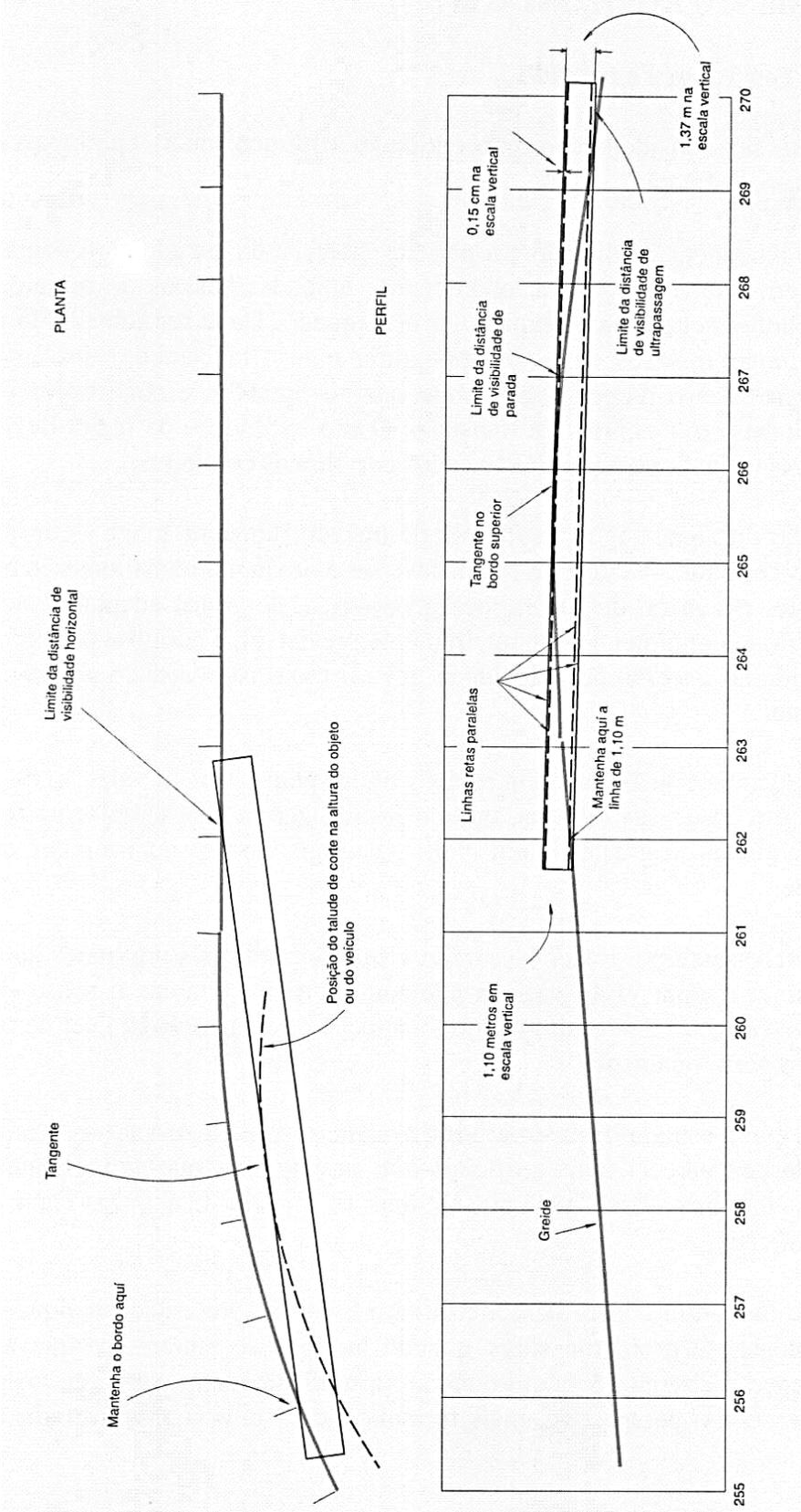


Figura 3.3. Utilização do gabarito de visibilidade (Brasil, 1999)
Fonte: BRASIL (1999)

É importante ressaltar que as normas segundo Brasil (1999) consideram uma situação em que ambos os veículos de projeto (ou seja, veículos representativos) envolvidos na manobra são veículos de passeio, ou segundo a denominação do DNER (BRASIL, 1999), veículos leves (VP). Tal denominação compreende os 4 seguintes tipos básicos de veículos, que correspondem aos utilizados pela *AASHTO*, apenas com as denominações modificadas:

- VP - Representa os veículos leves;
- CO - Representa os veículos comerciais rígidos (não articulados);
- O - Representa os veículos comerciais rígidos de maiores dimensões;
- SR - Representa os veículos comerciais articulados.

As dimensões básicas dos veículos representativos dos diferentes tipos considerados para fins de projeto estão discriminadas na Tabela 3.4 (BRASIL, 1999).

Tabela 3.4. Principais dimensões básicas dos veículos de projeto (em metros)

Características	Veículos leves (VP)	Caminhões e Ônibus convencionais (CO)	Caminhões e Ônibus Longos (O)	Semirreboques (SR)
Largura total	2,1	2,6	2,6	2,6
Comprimento total	5,8	9,1	12,2	16,8
Raio min. da roda externa dianteira	7,3	12,8	12,8	13,7
Raio min. da roda interna traseira	4,7	8,7	7,1	6

* Os tipos básicos fixados pelas Normas do DNER – VP, CO, O e SR – correspondem, respectivamente, aos veículos tipo P (*Passenger car*), SU (*Single Unit Bus*) e WB-15 (*Semi-trailer Combination Large*) fixados pela *AASHTO*, que considera, ainda, outros tipos de veículos.

Fonte: BRASIL (1999)

Assim, observa-se que as dimensões adotadas como as características dos veículos de projeto da via são bem inferiores aos caminhões e CVCs abordados anteriormente, cujo comprimento é ainda maior que a categoria semirreboque (SR). Brasil (1999) indica que “caberá empregar o veículo SR onde a participação de semirreboques, existentes ou prevista, for perceptível ou se situar acima da média, bem como nos casos de vias e interseções cujo objetivo for o de servir terminais de cargas, centros de abastecimento, depósitos de materiais de construção, veículos de transporte de automóveis e outros”. O *Green Book* (AASHTO, 1994) também não providencia recomendações para assistência a projetistas no selecionamento de caminhões como veículos de design em outras instâncias.

3.2 Modelo de Kenny (2000)

Os valores de cálculo da *AASHTO* são baseados em requerimentos para veículos de passeio que passam veículos de passeio. Segundo Kenny *et al.* (2000), uma vez que é prática comum para os carros ultrapassar caminhões, comprimentos adicionais serão necessários, ou manobras abortivas aumentarão enquanto o comprimento do caminhão continuar aumentando. O aumento dos movimentos abortivos pode ter um efeito prejudicial para a segurança.

No trabalho apresentado por Kenny *et al.* (2000) no *7th International Symposium on Heavy Vehicle Weights & Dimensions*, o autor considera dois cenários diferentes para a comparação do resultado das DVUs obtidas pelo método de cálculo empregado pela *AASHTO*. Tal fato se deve à consideração de que, enquanto um aumento de peso e largura do veículo não terá qualquer efeito sobre os elementos considerados no cálculo da DVU, um aumento no comprimento do veículo terá um pronunciado efeito sobre a d_2 e d_4 (KENNY *et al.*, 2000). Assim, são considerados os cenários A e B, em que o comprimento máximo do veículo permanece 19,80 m, enquanto para os cenários C e D é aumentado para 32 m.

As seguintes premissas foram feitas ao calcular as distâncias de visibilidade de ultrapassagem adicionais necessárias por conta do aumento do comprimento do caminhão:

- (1) O comprimento do carro é igual a 5,8 m.
- (2) O comprimento do caminhão é igual a 19,8 m para cenários A e B.
- (3) O comprimento do caminhão é igual a 32 m para cenários C e D.
- (4) A diferença de velocidade entre os dois veículos é de 16 km/h.
- (5) Os valores de t e a são consideradas de acordo com os valores observados pela *AASHTO*.
- (6) O veículo ultrapassado viaja a uma velocidade uniforme em toda a manobra.
- (7) O veículo que ultrapassa diminui a velocidade e se emparelha ao veículo ultrapassado ao entrar na zona de passagem.
- (8) Os valores de d_3 estão na faixa sugerida de 30,5 a 91,45 m.
- (9) $d_4 = 0,666 * d_2$.

Os valores obtidos foram tabulados e os resultados comparativos são mostrados nas Tabelas 3.5 e 3.6 (KENNY *et al.*, 2000). A partir destes, pode-se observar que a distância de visibilidade de ultrapassagem vai aumentando consideravelmente de acordo com o aumento no comprimento do veículo.

Tabela 3.5. DVUs para veículos de comprimento máximo 19,8 m (cenários A e B)

Velocidade de projeto (km/h)	Velocidades assumidas (km/h)		a média (m/s ²)	t (seg)	DVU calculada (m)	DVU segundo AASHTO (m)	Comprimento extra requerido (m)
	Veículo a ultrapassar	Veículo que ultrapassa					
45	40	55	0,62	3,6	518,5	335,5	183
65	55	70	0,63	3,8	640,5	457,5	183
80	65	80	0,64	4,1	762,5	549	213,5
95	75	90	0,66	4,4	854	640,5	213,5
105	80	95	0,67	4,5	915	701,5	213,5
110	85	100	0,67	4,5	976	762,5	213,5
120	90	105	0,67	4,5	1006,5	793	213,5

Fonte: KENNY *et. al.* (2000)

Tabela 3.6. DVUs para veículos de comprimento máximo 32 m (cenários C e D)

Velocidade de projeto (km/h)	Velocidades assumidas (km/h)		a média (m/s ²)	t (seg)	DVU calculada (m)	DVU segundo AASHTO (m)	Comprimento extra requerido (m)
	Veículo a ultrapassar	Veículo que ultrapassa					
45	40	55	0,62	3,6	579,5	335,5	244
65	55	70	0,63	3,8	732	457,5	274,5
80	65	80	0,64	4,1	854	549	305
95	75	90	0,66	4,4	976	640,5	335,5
105	80	95	0,67	4,5	1037	701,5	335,5
110	85	100	0,67	4,5	1098	762,5	335,5
120	90	105	0,67	4,5	1128,5	793	335,5

Fonte: KENNY *et. al.* (2000)

Conforme se observa nas Tabelas 3.5 e 3.6, quando um carro ultrapassa um caminhão ou veículo de carga é considerado em qualquer um dos cenários A, B, C ou D, uma revisão considerável dos padrões da *AASHTO* da DVU entre veículos pode ser esperado.

3.3 Modelo de Glennon (1988)

Glennon (1988) desenvolveu um modelo matemático com base em um novo conceito. O autor baseia-se na hipótese de que durante uma ultrapassagem existe um ponto crítico, onde a distância de ultrapassagem necessária para completar a manobra é a mesma distância necessária para a abortar. Até então, os modelos usados tanto para marcação como para projeto de estradas da *AASHTO* e da *MUTCD (Manual on Uniform Traffic Control Devices)* assumiam que uma vez iniciada a manobra de ultrapassagem, a mesma teria de ser concluída, ou seja, o condutor não teria hipótese de abortar a manobra. Devido ao teor irrealista da hipótese, este

novo modelo pode ser considerado para aplicar nas novas estradas, quer no que diz respeito ao projeto da estrada, quer na marcação de zonas de ultrapassagem (MOREIRA, 2015). A Figura 3.4 representa as diferentes fases da manobra de ultrapassagem segundo Glennon.

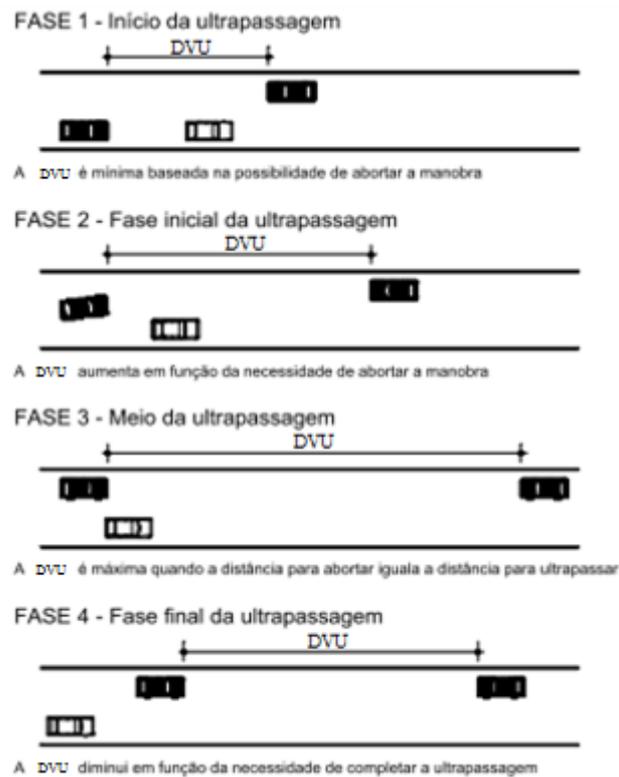


Figura 3.4. Fases da DVU segundo o modelo de Glennon
Fonte: MOREIRA (2015)

Glennon (1988) concluiu que a segurança das manobras de ultrapassagem não requer apenas variação linear com a DVU, mas também com a posição relativa entre os veículos que ultrapassa e a ultrapassar, onde a possibilidade de completar ou abortar a manobra é a mesma, designada por “posição crítica”. Sua definição é o ponto onde a DVU necessária para completar a ultrapassem é igual à DVU necessária para abortar a ultrapassagem. No início da manobra de ultrapassagem, a distância para abortar é substancialmente menor do que a necessária para a completar. Com o desenrolar da manobra de ultrapassagem, a primeira aumenta enquanto a segunda diminui, até se igualarem, na posição crítica. Após esse ponto, torna-se mais seguro completar a manobra. Determina-se a posição crítica como sendo o ponto em que a frente do veículo que ultrapassa está ao mesmo nível que a traseira do veículo a ultrapassar. Em síntese, o modelo de Glennon (1988) apresenta os seguintes pressupostos:

- O veículo oposto circula à velocidade de projeto, v ;
- O veículo que ultrapassa acelera até à velocidade de projeto até atingir a posição crítica e mantém essa velocidade a não ser que aborte a ultrapassagem;
- O veículo a ultrapassar circula a uma velocidade constante e inferior à velocidade de projeto;

Caso a manobra se complete:

- Todos os veículos manterão uma velocidade constante;
- Existirá, no fim da ultrapassagem, uma distância entre as frentes dos veículos que ultrapassa e oposto, C ;
- Existirá, no fim da ultrapassagem, uma distância entre a frente do veículo ultrapassado e a traseira do que ultrapassa, G ;

Caso a manobra seja abortada:

- O veículo a ultrapassar e o veículo oposto mantêm a sua velocidade constante;
- O veículo que ultrapassa, após 1 segundo de tempo de percepção-reação, desacelera a uma taxa d ;
- Existirá uma distância entre as frentes dos veículos que ultrapassa e oposto, C ;
- Existirá uma distância entre a frente do veículo ultrapassado e a traseira do que ultrapassa, G ;

A Figura 3.5 (MOREIRA, 2015) representa os diagramas tempo-espaço que caracterizam as manobras de ultrapassagem, segundo o modelo de Glennon, para os casos em que a ultrapassagem é completada (A) ou abortada (B).

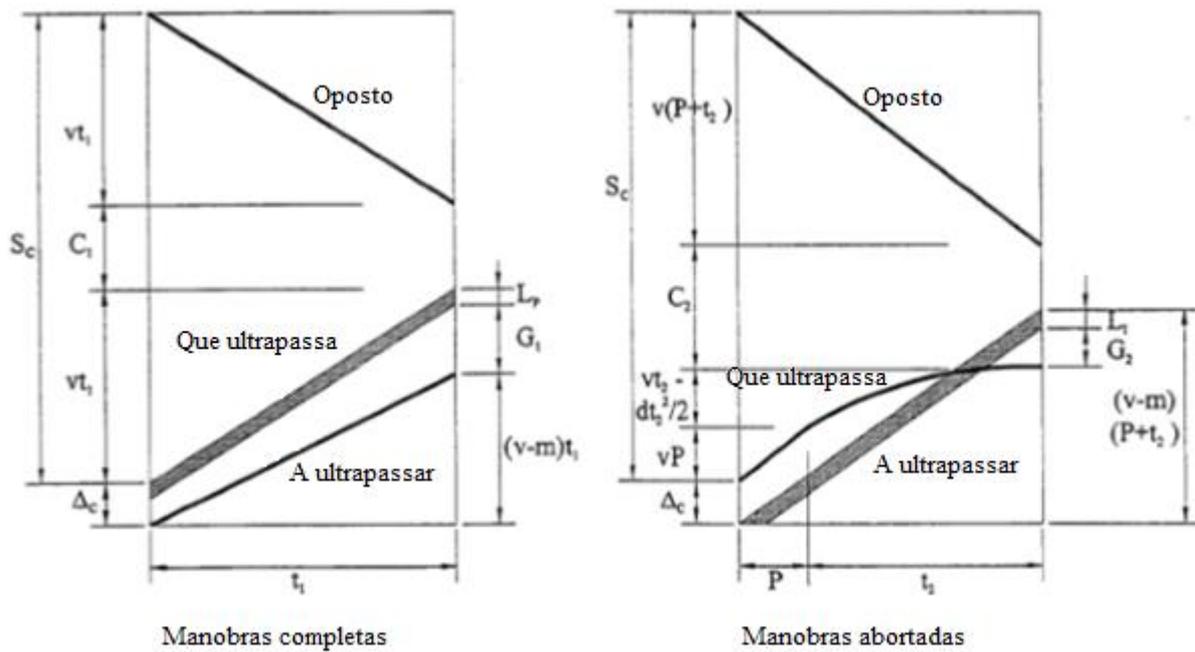


Figura 3.5. Diagramas tempo-espaço nas manobras de ultrapassagem
 Fonte: MOREIRA (2015)

Onde:

- L_p - Comprimento do veículo que ultrapassa [m];
- L_1 - Comprimento do veículo a ultrapassar [m];
- S_c - Distância de visibilidade de ultrapassagem crítica [m];
- Δ_c - Separação crítica entre os veículos que ultrapassa e a ultrapassar [m];
- C_1 - Distância entre as frentes dos veículos ultrapassante e oposto, no final da manobra de ultrapassagem [m];
- C_2 - Distância entre as frentes dos veículos ultrapassante e oposto, no final da manobra abortada [m];
- G_1 - Distância entre a traseira do veículo ultrapassante e a frente do veículo ultrapassado, no final da manobra de ultrapassagem, caso esta não se completar [m];
- G_2 - Distância entre a frente do veículo ultrapassante e a traseira do veículo a ultrapassar, no fim da manobra abortada [m];
- L_p - Comprimento do veículo que ultrapassa [m];
- L_1 - Comprimento do veículo que ultrapassa [m];
- V - Velocidade de projeto [km/h];

- M - Diferença de velocidades entre o veículo que ultrapassa e do veículo a ultrapassar [km/h];
- P - Tempo de percepção-reação [s];
- d - Taxa de desaceleração do veículo que ultrapassa quando decide abortar a manobra [m/s²];
- t₁ - Intervalo de tempo necessário para completar a manobra [s];
- t₂ - Intervalo de tempo necessário para abortar a manobra de ultrapassagem, desde o ponto crítico e depois do tempo de percepção-reação [s];

Tendo em conta os pressupostos e estudos mencionados anteriormente, o autor resumiu o seu modelo em duas expressões:

$$\Delta c = L_p + m + \left[\frac{(2m + L_l + L_p)}{2v - m} - \sqrt{\frac{4v(2m + L_l + L_p)}{d(2v - m)}} \right] \quad (\text{Eq. 3.5})$$

$$S_c = 2v \left[2 + \frac{16 - \Delta c}{m} \right] \quad (\text{Eq. 3.6})$$

É de referir que S_c define o limite mínimo da DVU a aplicar em qualquer projeto de geometria do traçado ou marcação das zonas de ultrapassagem. As exigências para a DVU são, na pior das hipóteses, garantir S_c no final da zona de ultrapassagem. Já no início das mesmas, o valor a garantir é ligeiramente abaixo de S_c . No entanto, devido ao fato de as operações de ultrapassagem variarem largamente com os diferenciais de velocidade entre os veículos que ultrapassa e a ultrapassar, velocidade do veículo oposto e comprimento dos veículos, é adicionado um fator de segurança ao valor inicial (MOREIRA, 2015). Os resultados das DVUs encontradas serão explicitados no tópico de comparação das teorias.

3.4 Modelo de Hassan, Easa e Halim (1998)

O presente modelo apoia-se no modelo de Glennon e tem como fim determinar a mínima distância de visibilidade de ultrapassagem, baseada no conceito de distância de visibilidade crítica e considerando a iteração entre os veículos que ultrapassa, a ultrapassar e oposto. Os autores consideram que existem dois parâmetros do modelo de Glennon que devem ser revistos. O primeiro é a distância entre os veículos, ou seja, entre as frentes dos veículos que ultrapassa e oposto, C . Tendo em conta o conceito de ponto crítico e que um condutor pode decidir entre completar ou abortar a manobra de ultrapassagem, no primeiro caso o veículo que ultrapassa irá manter a mesma velocidade, v , enquanto no segundo desacelera e portanto terá uma velocidade final inferior a v . Assim, se a distância C é a mesma em ambos os casos, o tempo para a atingir, no caso em que o condutor decide abortar a manobra, é claramente maior. Daqui, facilmente se conclui que o fator de segurança depende do tempo correspondente à distância e não à distância em si (MOREIRA, 2015). Não é, portanto, razoável assumir que C é constante em ambas, ou seja, a manobra de ultrapassagem realizada e a manobra de ultrapassagem abortada. Genericamente, a distância necessária para que dois veículos em sentido contrário, com velocidades v_1 e v_2 , atinjam a mesma posição após um intervalo de tempo, h , é $(v_1+v_2)*h$. O segundo parâmetro é a distância entre os veículos que ultrapassar e a ultrapassar, G . Do mesmo modo que C , G também varia em função da velocidade dos veículos (MOREIRA, 2015).

Fundamentado nestas considerações, o modelo de Hassan *et. al.* (1998) foi desenvolvido baseado nos seguintes pressupostos:

No início da manobra:

- O veículo a ultrapassar e oposto circulam a velocidades constantes iguais a $v-m$ e v , respetivamente, durante toda a manobra;
- No início da ultrapassagem, o veículo que ultrapassa circula atrás do veículo a ultrapassar à velocidade de $v-m$;
- Depois, o veículo que ultrapassa acelera a uma taxa constante, a , até atingir a velocidade v enquanto se move para a via da esquerda. Nesta fase, a distância de segurança requerida é a mínima e corresponde à distância para abortar a manobra em segurança;
- Após o ponto crítico, a distância de segurança necessária para abortar a manobra aumenta e para a completar diminui.

Caso a manobra não possa ser completada em segurança, deve ser abortada do seguinte modo:

- Se, em algum caso, o condutor do veículo que ultrapassa decidir abortar a manobra de ultrapassagem, terá de existir um intervalo de tempo mínimo, h_1 , entre a frente do para-choques do veículo que ultrapassa e a traseira do para-choques do veículo a ultrapassar. Do mesmo modo, terá de existir um intervalo de tempo mínimo h_0 , entre as frentes dos para-choques dos veículos que ultrapassa e oposto;
- O condutor do veículo que ultrapassa leva um tempo de percepção-reação, P , antes de frear. Durante esse intervalo de tempo, assume-se que a velocidade do condutor não é influenciada pela necessidade de abortar a manobra;
- A partir daí o veículo desacelera a uma taxa d , até voltar à via da direita.

No ponto crítico, onde a distância de visibilidade necessária para abortar a manobra é a mesma que para a completar (distância de visibilidade crítica):

- O veículo que ultrapassa já tem aceleração suficiente para alcançar a velocidade de projeto, v ;
- O veículo que ultrapassa pode finalizar a ultrapassagem em segurança;
- No fim da ultrapassagem, os intervalos de tempo mínimos h_0 e h_1 devem ser mantidos.

O modelo pode ser representado pelo mesmo diagrama tempo-espaço da Figura 3.5 e calculado pelas Eq. 3.7 a 3.10, e assumindo $h_0 = h_1 = h$.

$$t_2 = -h + \sqrt{h^2 + \frac{4v[L_p + L_1 + (2v - m)h]}{d(2v - m)}} \quad (\text{Eq. 3.7})$$

$$t_1 = P + t_2 - \frac{d + t_2}{4v}(t_2 + 2h) \quad (\text{Eq. 3.8})$$

$$\Delta_c = \frac{d + t_2^2}{2} - m(P + t_2) - L_1 - (v - d + t_2)h \quad (\text{Eq. 3.9})$$

$$S_c = 2v(P + t_2 + h) - \frac{d + t_2^2}{2} - d * t_2 h \quad (\text{Eq. 3.10})$$

Analisando as equações anteriores, verifica-se que Δc pode tomar valores positivos, o que significa que o condutor pode sentir a necessidade de abortar a ultrapassagem depois de estar à frente do veículo a ultrapassar; nesse caso, as condições de segurança não estariam asseguradas. Para evitar que tal aconteça, os autores sugerem que no máximo $\Delta c = 0$ (MOREIRA, 2015). Daí surge um novo valor do tempo necessário para completar a ultrapassagem, t_1' :

$$t_1' = \frac{(v - m)h_1 + L_p}{m} \quad (\text{Eq. 3.11})$$

E, por sua vez, a separação crítica entre os veículos que ultrapassa e a ultrapassar passa a ser dada pelo seguinte sistema de equações em Eq. 3.12:

$$S_c = \begin{cases} 2v(t_1 + h_0) & \Delta c \leq 0 \\ 2v(t_1' + h_0) & \Delta c > 0 \end{cases} \quad (\text{Eq. 3.12})$$

Relativamente ao diferencial de velocidades, m , pode ser calculado segundo a Eq. 3.13, em função da velocidade de projeto, V , em km/h:

$$m = 24 - \frac{V}{10} \quad (\text{Eq. 3.13})$$

Relativamente à desaceleração, d , Hassan *et al.* (1998) a calculam em função da velocidade de projeto, v , da velocidade final do veículo, v_f , e das distâncias de travagem (em metros) correspondentes a v e v_f (d_t e d_{tf} , respectivamente).

$$d = \frac{v^2 - v_f^2}{2(d_t - d_{tf})} \quad (\text{Eq. 3.14})$$

Quanto ao comprimento dos veículos, assume-se que um leve possui 5 metros e um pesado 25 metros (MOREIRA, 2015). Os resultados das DVUs encontradas serão explicitados no tópico de comparação das teorias.

3.5 Modelo de Wang e Cartmell (1998)

Devido ao aumento do tráfego em geral e de veículos pesados em particular, face à modernização de estradas e características operacionais dos veículos que conseguem atingir acelerações e velocidade mais elevadas, Wang & Cartmell (1998) criam um novo modelo matemático que possibilita o cálculo da distância de visibilidade de ultrapassagem e da trajetória do veículo durante a mesma. O mesmo modelo poderá ser utilizado em programas computacionais de controle de tráfego (MOREIRA, 2015).

Além do comprimento do veículo que ultrapassa, L_p , o modelo considera mais dez parâmetros de entrada:

- V_{ps} - Velocidade inicial do veículo que ultrapassa [km/h].
- V_{pmax} - Velocidade máxima do veículo que ultrapassa [km/h];
- V_i - Velocidade do veículo a ultrapassar [km/h];
- V_o - Velocidade do veículo oposto [km/h];
- A_{pmax} - Aceleração máxima do veículo sujeito [m/s^2];
- G_s - Distância entre os veículos que ultrapassa e a ultrapassar no início da manobra [m];
- G_e - Distância entre os veículos ultrapassado e que ultrapassa no final da manobra [m];
- L_s - Comprimento do veículo a ultrapassar [m];
- L_p - Comprimento do veículo a que ultrapassa [m];
- C - Distância livre entre os veículos sujeito e oposto no final da manobra de ultrapassagem [m];
- Y - Largura das vias [m].

Apesar de ter a noção da definição de ponto crítico, crucial no desenvolvimento de outros modelos, Wang & Cartmell (1998) não o introduziram no modelo que desenvolveram. Os autores dão maior importância ao cálculo da distância de visibilidade de ultrapassagem para as manobras bem-sucedidas. Considera que para uma ultrapassagem ser realizada em segurança, o condutor deve ser capaz de ver à sua frente uma distância sem veículos que permita completar a manobra sem ter que a abortar devido ao aparecimento de um outro veículo em sentido contrário (MOREIRA, 2015). De acordo com este modelo, a manobra de ultrapassagem é dividida em três fases, como se pode observar na Figura 3.6.

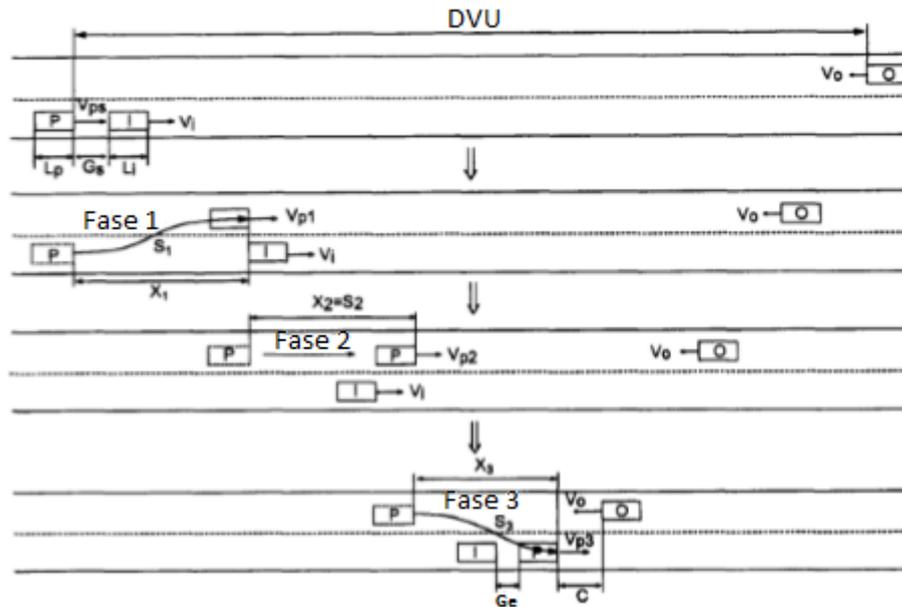


Figura 3.6. Fases da ultrapassagem para o modelo de Wang e Cartmell (1998)
 Fonte: MOREIRA (2015)

Onde:

- X_1 , X_2 e X_3 são as distâncias percorridas, em linha reta, pelo veículo que ultrapassa nas fases 1, 2 e 3, respectivamente;
- S_1 , S_2 e S_3 são as distâncias reais percorridas pelo veículo que ultrapassa nas fases 1, 2 e 3, respectivamente;
- P, I e O identificam, respectivamente, os veículos que ultrapassa, a ultrapassar e oposto.

A fase 1 vai desde o início do movimento de ultrapassagem e acaba quando o veículo que ultrapassa tem a frente lado a lado com a traseira do veículo a ultrapassar. Corresponde à trajetória inicial em “S” que pode ser descrita por um polinômio de 5º grau.

A segunda fase diz respeito a todo o trajeto que o veículo faz na via de sentido contrário, ou seja, em linha reta.

Por fim, a terceira fase começa no momento que o condutor inicia o movimento de volta à via da direita e termina quando a ultrapassagem fica completa. É o trajeto final em “S” e tal como a trajetória inicial, também é descrita por um polinômio de 5º grau.

Pela Figura 3.6, conclui-se que a distância de visibilidade de ultrapassagem, DVU, pode ser definida como:

$$DVU = X1 + X2 + X3 + C + V0 (T1 + T2 + T3) \quad (\text{Eq. 3.15})$$

Onde T_1 , T_2 e T_3 representam o intervalo de tempo decorrido, respectivamente, durante S_1 , S_2 e S_3 . O presente modelo considera também a distância percorrida durante o tempo de percepção-reação, S_{pr} , do condutor em função da velocidade do veículo que ultrapassa no início da ultrapassagem, V_{ps} , e o tempo de percepção-reação, T_{pr} .

$$S_{pr} = (V_{ps} + V_0)T_{pr} \quad (\text{Eq. 3.16})$$

Os valores não incluem o valor de S_{pr} no cálculo de S_{pd} porque o parâmetro G_s utilizado já conta com o valor de S_{pr} .

Como foi visto anteriormente, as fases inicial e final que caracterizam o modelo podem ser descritas por um polinômio de quinto grau. Esse polinômio é dado pela Eq. 3.17:

$$y = Y \left[10 \left(\frac{x}{X} \right)^2 - 15 \left(\frac{x}{X} \right)^4 + 6 \left(\frac{x}{X} \right)^5 \right] \quad (\text{Eq. 3.17})$$

Foram realizadas algumas simplificações, que se verificaram sem grandes alterações no valor real, de modo a chegar-se a uma expressão que relacionasse as variáveis X e Y com a trajetória S :

$$S = \frac{7X}{15} + [(8X/15)^2 + Y^2]^{1/2} \quad (\text{Eq. 3.18})$$

A curva em S está representada na Figura 3.7.

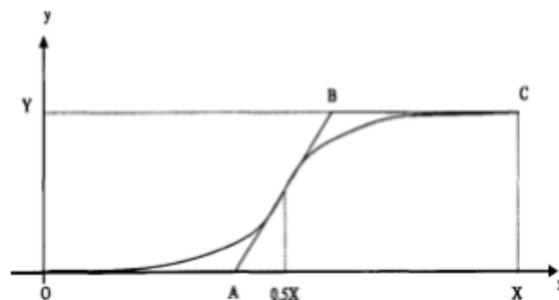


Figura 3.7. Curva em S usada para o modelo de Wand and Cartmell (1998)
Fonte: MOREIRA (2015)

Para a relação espaço-tempo, Wang & Cartmell (1998) assumem o seguinte:

- O veículo opositor e o veículo a ultrapassar circulam a velocidades constantes e iguais a V_o e V_i , respetivamente;
- O veículo que ultrapassa acelera a partir da sua velocidade inicial V_{ps} até V_{pmax} , quando a mesma é atingida, o condutor mantém-na até ao fim da ultrapassagem.

S_{pmax} representa a distância percorrida desde o ponto que o veículo que ultrapassa inicia a ultrapassagem até que alcança V_{pmax} , segundo a Eq. 3.19:

$$S_{pmax} = \frac{V_{pmax}^2 - V_{ps}^2}{2A_{pmax}} \quad (\text{Eq. 3.19})$$

Por sua vez, o tempo que o veículo demora a percorrer, T_{pmax} pode ser obtido por:

$$T_{pmax} = \frac{V_{pmax} - V_{ps}}{A_{pmax}} \quad (\text{Eq. 3.20})$$

Em que A_{pmax} representa a aceleração do veículo que ultrapassa.

Dependente dos parâmetros iniciais (L_p , L_i , V_{ps} , V_{pmax} , A_{pmax} , G_s , G_e e Y), V_{pmax} pode ser atingido nas fases 1, 2 ou 3. Desse fato, surgem quatro casos diferentes possíveis e que os autores do modelo estudaram:

- Caso 1: V_{pmax} é atingida na 1ª fase ($S_{pmax} < S_1$);
- Caso 2: V_{pmax} é atingida na 2ª fase ($S_{pmax} > S_2$);
- Caso 3: V_{pmax} é atingida na 3ª fase ($S_{pmax} < S_3$);
- Caso 4: V_{pmax} não é atingida até ao final da 3ª fase ($S_{pmax} > S_3$).

Com recurso a um programa de cálculo automático foram introduzidos os onze parâmetros de entrada do modelo e simuladas várias hipóteses. Para todas as simulações efetuadas, a velocidade máxima era alcançada depois da segunda fase ($T_{pmax} < T_1 + T_2$).

Wang E Cartmell (1998) concluíram que L_p , L_i , G_s e G_e têm efeitos iguais na distância de visibilidade de ultrapassagem. A DVU aumenta 4 vezes por cada unidade que aumente um destes parâmetros ($\Delta S_{psd}/\Delta L_p = \Delta S_{psd}/\Delta L_i = \Delta S_{psd}/\Delta G_s = \Delta S_{psd}/\Delta G_e = 4$). O comprimento das vias, Y , pode variar pouco e por isso, o seu efeito pode ser ignorado.

Os autores constataram, ainda, que quanto maior a aceleração do veículo, A_{pmax} , menor o valor da DVU. No entanto, a sua variação deixa de ser linear. A velocidade inicial é um

parâmetro do veículo que ultrapassa que tem uma grande influência na distância de visibilidade de ultrapassagem (MOREIRA, 2015).

O valor da velocidade máxima atingida pelo veículo que ultrapassa é, no entanto, o parâmetro que tem mais influência no valor da distância de visibilidade de ultrapassagem. O valor da DVU, segundo este modelo, diminui rapidamente com o aumento da V_{pmax} .

A velocidade do veículo a ultrapassar tem importância na distância de visibilidade de ultrapassagem. Quanto maior a velocidade a que circula o veículo a ultrapassar, maior será a DVU necessária e menor a segurança garantida para a realização da ultrapassagem.

Numa última análise, o modelo verifica que a velocidade do veículo que circula em sentido oposto é a que tem menor influência na distância de visibilidade de ultrapassagem. O aumento da DVU varia linearmente com V_o ($\Delta S_{psd}/\Delta V_o = 1,07$).

Nas simulações, os autores assumiram que o veículo a ultrapassar e o que ultrapassa têm, respetivamente, um comprimento de 25 m e 4,5 m. Os resultados do modelo encontram-se no tópico seguinte, análise comparativa das teorias.

3.6 Análise Comparativa das Teorias

Para os diferentes modelos apresentados calculou-se a distância de visibilidade de ultrapassagem correspondente a diferentes velocidades de projeto, apresentando-se na Tabela 3.7 os valores obtidos por cada um dos modelos e considerado pela Norma Brasileira.

Tabela 3.7. Distância de Visibilidade de Ultrapassagem para os modelos estudados

Velocidade de projeto (km/h)	Norma Brasileira (m)	AASHTO (m)	Glennon (m)	Hassan (m)	Wang (m)
30	180	200	90	72	270
40	270	270	125	109	320
50	350	345	155	149	380
60	420	410	190	194	430
70	490	485	220	241	490
80	560	540	250	311	540
90	620	615	280	394	600

Fonte: MOREIRA (2015)

Como se pode verificar, os valores da AASHTO (1994) e Wang e Cartmell (1998) são bastante semelhantes e os mais conservadores. Tal acontece porque estes dois modelos foram desenvolvidos apenas para geometria do traçado. Também os valores recomendados pela Norma Brasileira estão muito próximos das recomendações da AASHTO (1994), o que já era de esperar, uma vez que os valores apresentados pela norma do DNIT se baseiam no *Green Book*.

Quanto aos modelos de Glennon (1998) e de Hassan *et al.* (1998), foram desenvolvidos não só para geometria do traçado, mas também para a sinalização rodoviária. Por isso, apresentam valores menos conservadores que os dois modelos anteriores. Como já foi referido, são desenvolvidos em torno do conceito de ponto crítico e a distância de visibilidade de ultrapassagem é a distância entre o veículo que ultrapassa e o veículo oposto nesse mesmo ponto. Torna-se fácil se perceber diante da ideia de que o instante em que o veículo que ultrapassa está no ponto crítico é o último momento em que pode tomar a decisão de abortar ou completar a manobra, a partir daí será “obrigado” a completá-la (MOREIRA, 2015).

Uma vez que Hassan *et al.* tomaram como ponto de partida o modelo de Glennon para desenvolver o seu, era previsível que os seus valores não divergissem muito, embora para velocidades superiores a 70 km/h o modelo de Hassan *et al.* apresente valores significativamente superiores aos do modelo de Glennon. Este fato chama a atenção de que para velocidades superiores a esse valor, a manobra torna-se claramente mais perigosa. Hassan *et al.* não ignoram, no modelo, o fato de que quanto maior for a velocidade a que um veículo circula, menor será a sua capacidade de aceleração.

É importante destacar que existe um modelo da AASHTO (2011), já tem presente o conceito de ponto crítico introduzido pelos modelos de Glennon e de Hassan *et al.*, o qual não foi adaptado para normas brasileiras. Por apresentar valores de DVU ainda menores, não se utilizou este modelo novo.

Todos os modelos foram desenvolvidos com base em diferentes pressupostos e torna-se, por isso, difícil compará-los devidamente. Para conseguirem validar e comparar os diversos modelos, os autores de cada modelo fizeram as considerações mencionadas abaixo (estas considerações foram utilizadas para calcular os valores apresentados na Tabela 3.7).

Glennon:

- Extensão dos veículos igual a 4,88 m;

- Nas manobras abortadas, a desaceleração toma o valor de 8,78 km/h/s;
- O diferencial de velocidade, m , é determinado em função da velocidade de tráfego, em km/h por: $m = 24 - \frac{V}{10}$

Hassan *et al.*:

- Apenas são estudadas as manobras de aceleração do veículo que ultrapassa;
- O valor da desaceleração considerada nos cálculos foi de 2,14, 1,88 e 1,55 m/s² para velocidades de 77,25, 90,12 e 111,04 km/h, respetivamente. Para velocidades inferiores a 70 km/h, o valor da desaceleração passa a tomar o valor de 2,44 m/s²;
- O diferencial de velocidade, m , é calculado da mesma forma que no modelo de Glennon;
- O intervalo mínimo, h , entre os veículos que ultrapassa e a ultrapassar, quer no início, quer no fim da manobra, é de 1 s.
- A distância entre o veículo que ultrapassa e oposto, no fim da manobra é de 6,1 m;
- Os valores das acelerações adotados foram os mesmos do modelo da AASHTO (1994).

Wang *et al.*:

- $V_{pmax} = V_{ps} + 20$ [km/h];
- $V_i = V_{ps} = V_o$;
- $8,0 \leq G_s \leq 10,4$ [m];
- $3,5 \leq G_e \leq 10,4$ [m];
- $30 \leq C \leq 75$ [m].

3.7 Tópico Conclusivo

O presente capítulo tratou de estudar, minuciosamente, o cálculo das distâncias de visibilidade de ultrapassagem segundo algumas teorias. Primeiramente, ao serem mostrados os modelos da AASHTO (1994) e o correspondente modelo da norma brasileira (BRASIL, 1999), percebe-se que as hipóteses e pressuposições ainda condizem com estudos realizados há mais de 50 anos nos Estados Unidos (PELLEGRINI, 2006), não sendo compatíveis com o contexto brasileiro. Além disso, existe uma necessidade de mais elementos e variáveis que sejam capazes de acomodar outras situações de ultrapassagem além da considerada, em que um veículo de passeio ultrapassa outro veículo de passeio. Uma tentativa dessa acomodação foi realizada por

Kenny *et al.* (2000), que correlacionou duas das distâncias utilizadas no cálculo da DVU segundo a AASHTO e as modificou para que fossem consideradas situações envolvendo veículos de 19,8 e de 32 m. Os resultados foram substancialmente maiores do que aqueles presentes no “*Green Book*”.

Como a intenção era buscar novos meios de se calcular as DVUs para situações em que estão presentes CVCs nas rodovias de pista simples, envolvendo variáveis e hipóteses mais relevantes com a situação e o contexto brasileiro, foram explanadas ainda as teorias de Glennon (1988), Hassan *et al.* (1998) e Wang & Cartmell (1998). Os valores encontrados em cada modelo foram resumidos na Tabela 3.7. Contudo, como existe grande variabilidade nas hipóteses e parâmetros considerados por cada modelo, é difícil se comparar os diferentes resultados. Assim, após uma análise desses fatores em cada teoria, decidiu-se por utilizar-se uma delas, de modo que a partir de seu método de cálculo possam ser calculadas DVUs envolvendo veículos de diferentes portes, para que, assim, estes valores sejam comparados com os recomendados por BRASIL (1999).

4. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE SEGUNDO O MODELO DE WANG E CARTMELL

O modelo de Wang e Cartmell (1998) foi escolhido entre os diversos modelos analisados para a presente análise.

Primeiramente, as DVUs segundo estes autores são baseadas em manobras bem-sucedidas. Considera que para uma ultrapassagem ser realizada em segurança, o condutor deve ser capaz de ver à sua frente uma distância sem veículos que permita completar a manobra sem ter que abortar devido ao aparecimento de um outro veículo em sentido contrário (MOREIRA, 2015). Tal pressuposto faz mais sentido no caso de manobras de ultrapassagem envolvendo veículos de carga, mais compridos, do que se considerar a posição crítica, pois o tempo de ultrapassagem se torna maior. Com isto, a posição crítica estaria em uma posição tão avançada tal que para o condutor o risco de abortar seria o mesmo de prosseguir com a manobra.

Outra vantagem comparativa no modelo de Wang e Cartmell (1998) é o número de variáveis introduzidas, que incorporam mais características dos veículos em si em relação a outros modelos. Assim, pode-se introduzir os comprimentos dos veículos ultrapassado e a ultrapassar, suas velocidades, considerando-se a velocidade inicial do veículo sujeito e a velocidade máxima que este atinge, e a aceleração máxima do veículo em questão.

Uma dissertação por Jacob (2005) expõe, além do já abordado sobre o modelo de Wang e Cartmell (1998), uma tabela com todos os valores das variáveis e constantes assumidas, apresentando o valor final das DVUs calculadas segundo seu modelo e uma comparação com os valores recomendados pela AASHTO. O resultado encontra-se na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Resultados dos valores do modelo de Wang e Cartmell (1998)

VB (km/h)	Vps, Vi e Vo (km/h)	Vpmax (km/h)	Apmax (m/s ²)		Gs (m)	Ge (m)	Li (m)	Lp (m)	C (m)	Y (m)	DVU (m)		
			a)	b)							a)	b)	AASHTO
30	29	49	0,63	4,05	8	3,5	25	4,5	30	3,5	265	205	217
40	26	56	0,63	3,91	8,2	3,7	25	4,5	35	3,5	318	244	285
50	44	64	0,63	3,77	8,4	3,9	25	4,5	40	3,5	378	289	345
60	51	71	0,63	3,63	8,6	4,1	25	4,5	45	3,5	432	330	407
70	59	79	0,63	3,49	8,8	4,3	25	4,5	50	3,5	493	375	482
80	65	85	0,64	3,35	9	4,5	25	4,5	55	3,5	538	412	541
90	73	93	0,64	3,21	9,3	4,8	25	4,5	60	3,5	601	462	605
100	79	99	0,64	3,07	9,6	5,1	25	4,5	75	3,5	653	503	670
110	85	105	0,64	2,93	10	5,5	25	4,5	70	3,5	707	547	728
120	91	111	0,64	2,79	10,4	5,9	25	4,5	75	3,5	761	592	792

Nota: VB – velocidade base (km/h)

a) Resultados do modelo de Wang (1998), $Ap_{max} = 0,63 - 0,64 \text{ m/s}^2$

b) Resultados do modelo de Wang (1998), $Ap_{max} = 2,79 - 4,05 \text{ m/s}^2$

c) Resultados do modelo da AASHTO (1994)

Fonte: JACOB (2005)

Lembrando-se que:

- V_{ps} - Velocidade inicial do veículo que ultrapassa [km/h].
- V_{pmax} - Velocidade máxima do veículo que ultrapassa [km/h];
- V_i - Velocidade do veículo a ultrapassar [km/h];
- V_o - Velocidade do veículo oposto [km/h];
- A_{pmax} - Aceleração máxima do veículo sujeito [m/s^2];
- G_s - Distância entre os veículos que ultrapassa e a ultrapassar no início da manobra [m];
- G_e - Distância entre os veículos ultrapassado e que ultrapassa no final da manobra [m];
- L_i - Comprimento do veículo a ultrapassar [m];
- L_p - Comprimento do veículo a que ultrapassa [m];
- C - Distância livre entre os veículos sujeito e oposto no final da manobra de ultrapassagem [m];
- Y - Largura das vias [m].

Nesta comparação entre modelos a velocidade do veículo oposto segue critérios diferentes. Enquanto a AASHTO (1994) considera que a velocidade do veículo oposto é igual à velocidade base, o modelo de Wang e Cartmell (1998) considera que as velocidades (V_{ps} , V_i e V_o) dos três veículos envolventes são iguais e inferiores à velocidade base.

Para além do referido anteriormente, o modelo de Wang, tal como o modelo da AASHTO, considera também valores de DVU para velocidades superiores a 90 km/h, o que não faz muito sentido considerar em estradas de duas vias (JACOB, 2005).

Na formulação original do modelo, segundo a Tabela 4.1, o comprimento do veículo que ultrapassa é de 4,5 m e o do veículo a ultrapassar de 25 m. Assim, supõe-se que o modelo representa uma situação em que um veículo de passeio ultrapassa um veículo CVC. O modelo considera duas distintas acelerações, uma menor, usada no cálculo dos valores de DVU para a Coluna A, e uma maior, no cálculo da coluna B. Como os veículos de passeio possuem maior capacidade de aceleração em comparação às combinações veiculares de carga, considera-se que a coluna mais representativa para a situação base do modelo de Wang seja a B. Porém, ainda é necessário se considerar outras duas situações em que podem estar envolvidos veículos de carga: uma em que um veículo de carga ultrapassa outro veículo de carga e uma em que um veículo de carga ultrapassa um veículo de passeio. Assim, nesta análise, pretende-se introduzir estes cenários com base nos mesmos pressupostos e modelo de cálculo das DVU de Wang. Para fins de comparação com os valores utilizados pelo Manual de Projeto Brasileiro, é interessante também se abordar o caso em que um veículo de passeio ultrapassa outro veículo de passeio.

Como o comprimento do veículo de passeio considerado pela AASHTO é de 5,8 m e por Wang é de 4,5 m, faz-se necessário um ajuste dos comprimentos do modelo de Wang para comparação com os valores de DVU recomendados pela Norma Brasileira. Na variação de cenários considerados ao invés de ser mantido o valor dos CVCs igual a 25 m, ajusta-se este valor para 28 m, que se situa em um comprimento médio de veículos com 7 ou mais eixos.

Assim, consideram-se quatro cenários finais de análise de sensibilidade:

- Um veículo de passeio ultrapassa outro veículo de passeio;
- Um veículo de passeio ultrapassa um veículo de carga CVC;
- Um veículo de carga CVC ultrapassa um veículo de passeio;
- Um veículo de carga CVC ultrapassa um veículo de carga CVC.

As seguintes suposições são feitas:

- O veículo de passeio possui comprimento igual a 5,8 m e aceleração máxima entre 2,8 e 4 m/s², a depender da velocidade base;
- O veículo de carga CVC possui comprimento igual a 28 m e aceleração máxima de aproximadamente 0,63 m/s², a depender da velocidade base;

- Os valores de V_{ps} , V_i , V_o , G_s , G_e , C e Y independem do comprimento ou das características do veículo considerado, portanto permanecem invariáveis ao pressuposto por Wang.

Nos quatro cenários acima citados, considera-se que os veículos que ultrapassa e a ultrapassar alternam entre veículos de passeio e combinações veiculares de carga, de diferentes comprimentos e acelerações, em particular. Estas são as variáveis que precisam ser modificadas no cálculo de Wang para o ajuste da DVU a cada cenário considerado. Para tanto, considera-se a conclusão de Wang e Cartmell (1998) de que a DVU aumenta 4 vezes por cada unidade que aumente em um dos parâmetros L_p ou L_i , ou seja:

$$\frac{\Delta Spsd}{\Delta Lp} = \frac{\Delta Spsd}{\Delta Li} = 4 \quad (\text{Eq. 4})$$

Como a influência do parâmetro A_{pmax} depende de uma variação não linear, como já explicitado acima, as acelerações permanecem iguais às acelerações utilizadas no cálculo da DVU da coluna a da Tabela 4.1 para CVCs e os valores utilizados no cálculo da coluna b para veículos de passeio.

Assim, com base na variação dos comprimentos dos veículos em relação aos comprimentos considerados por Wang e Cartmell (1998), tem-se o aumento resultante na DVU de acordo com a aceleração considerada. Os cálculos foram feitos no programa Microsoft Excel® e os resultados são transcritos em cada cenário considerado.

4.1 Veículo de passeio ultrapassando outro veículo de passeio

O objetivo da análise deste cenário é comparar os valores de DVU segundo o modelo de Wang com os valores dados pela *AASHTO*, uma vez que o último modelo prevê apenas a situação em que um veículo de passeio ultrapassa outro veículo de passeio em seus cálculos.

Assim, ajustam-se os comprimentos dos veículos que ultrapassa e a ultrapassar para o comprimento de 5,8 m de um veículo de passeio, considerando a aceleração entre 2,8 e 4 m/s². Os resultados obtidos para o modelo de Wang em comparação aos valores sugeridos pelo Manual Brasileiro encontram-se na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Comparação entre DVUs segundo o modelo de Wang e o modelo da AASHTO para o cenário em que um veículo de passeio ultrapassa um veículo de passeio

VB (km/h)	Li Wang (m)	Lp Wang (m)	Spsd Wang (m)	Δ Li (m)	Δ Lp (m)	Li (m)	Lp (m)	Δ DVU (m)	DVU calculado (m)	Manual Brasileiro (m)
30	25	4,5	205	-19,2	1,3	5,8	5,8	-71,6	133,4	180
40	25	4,5	244	-19,2	1,3	5,8	5,8	-71,6	172,4	270
50	25	4,5	289	-19,2	1,3	5,8	5,8	-71,6	217,4	350
60	25	4,5	330	-19,2	1,3	5,8	5,8	-71,6	258,4	420
70	25	4,5	375	-19,2	1,3	5,8	5,8	-71,6	303,4	490
80	25	4,5	412	-19,2	1,3	5,8	5,8	-71,6	340,4	560
90	25	4,5	462	-19,2	1,3	5,8	5,8	-71,6	390,4	620
100	25	4,5	503	-19,2	1,3	5,8	5,8	-71,6	431,4	680
110	25	4,5	547	-19,2	1,3	5,8	5,8	-71,6	475,4	730
120	25	4,5	592	-19,2	1,3	5,8	5,8	-71,6	520,4	800

Na primeira parte do presente projeto, havia sido testado o modelo de Glennon para a análise de sensibilidade, que mostrou grandes disparidades entre os valores encontrados e os valores recomendados no Manual brasileiros, cujos critérios considerados são dados pela AASHTO. Observa-se, pela Tabela 4.2, que, mais uma vez, ao serem ajustados os comprimentos dos veículos envolvidos na manobra de ultrapassagem ao comprimento de um veículo de passeio, os valores das DVUs sugeridos pelo Manual se mostram bastante altos, de 50 a 280 m maiores que os encontrados pelo modelo de Wang, dependendo da velocidade base considerada. Reforça-se, assim, o caráter conservador das hipóteses consideradas *pela AASHTO*, baseadas em valores de campo coletados há mais de 50 anos.

4.2 Veículo de passeio ultrapassa veículo de carga tipo CVC

Este é o cenário considerado no cálculo das DVUs por Wang e Cartmell (1998). Porém, no modelo original, os autores consideram o comprimento do veículo de passeio como 4,5 m, e o veículo comprido de 25 m. Para a consistência da análise, estes valores são ajustados para 5,8 m e 28 m, respectivamente. Como o veículo que ultrapassa se trata de um veículo de passeio, utiliza-se a maior aceleração, entre 2,8 e 4 m/s². Os resultados das DVUs obtidas encontram-se na Tabela 4.3, onde a última coluna refere-se aos valores recomendados pelo Manual de Projeto Geométrico Brasileiro, para fins de comparação.

Tabela 4.3. Comparação entre DVUs segundo o modelo de Wang e o Manual Brasileiro para o cenário em que um veículo de passeio ultrapassa um veículo de carga tipo CVC

VB (km/h)	Li Wang (m)	Lp Wang (m)	Spsd Wang (m)	Δ Li (m)	Δ Lp (m)	Li (m)	Lp (m)	Δ Spsd (m)	Spsd calculado (m)	Manual Brasileiro (m)
30	25	4,5	205	3	1,3	28	5,8	17,2	222,2	180
40	25	4,5	244	3	1,3	28	5,8	17,2	261,2	270
50	25	4,5	289	3	1,3	28	5,8	17,2	306,2	350
60	25	4,5	330	3	1,3	28	5,8	17,2	347,2	420
70	25	4,5	375	3	1,3	28	5,8	17,2	392,2	490
80	25	4,5	412	3	1,3	28	5,8	17,2	429,2	560
90	25	4,5	462	3	1,3	28	5,8	17,2	479,2	620
100	25	4,5	503	3	1,3	28	5,8	17,2	520,2	680
110	25	4,5	547	3	1,3	28	5,8	17,2	564,2	730
120	25	4,5	592	3	1,3	28	5,8	17,2	609,2	800

Pela Tabela 4.3, observa-se que somente para a velocidade base (ou de design) de 30 km/h, segundo o modelo de Wang, a DVU necessária para um veículo de passeio ultrapassar um veículo de carga tipo CVC é maior que a recomendada pelo Manual Brasileiro. Conforme a velocidade base aumenta, as diferenças entre as DVUs calculadas por Wang e as recomendadas pelo Manual vão aumentando, de modo que as do Manual de Projeto Geométrico Brasileiro se tornam significativamente maiores para altas velocidades, chegando a ser aproximadamente 200 m maior que o calculado para 120 km/h.

4.3 Veículo de carga tipo CVC ultrapassa veículo de passeio

A situação do cenário anterior é revertida, onde o veículo que ultrapassa se torna uma composição veicular de carga e o veículo que ultrapassa se torna um veículo de passeio. Como a capacidade de aceleração de um CVC é bem menor que a de um veículo de passeio, utilizam-se os valores de acelerações utilizadas na coluna b da Tabela 4.1. O resultado encontra-se na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Comparação entre DVUs segundo o modelo de Wang e o Manual Brasileiro para o cenário em que um veículo de carga tipo CVC ultrapassa um veículo de passeio

VB (km/h)	Li Wang (m)	Lp Wang (m)	Spsd Wang (m)	Δ Li (m)	Δ Lp (m)	Li (m)	Lp (m)	Δ Spsd (m)	Spsd calculado (m)	Manual Brasileiro (m)
30	25	4,5	265	-19,2	23,5	5,8	28	17,2	282,2	180
40	25	4,5	318	-19,2	23,5	5,8	28	17,2	335,2	270
50	25	4,5	378	-19,2	23,5	5,8	28	17,2	395,2	350
60	25	4,5	432	-19,2	23,5	5,8	28	17,2	449,2	420
70	25	4,5	493	-19,2	23,5	5,8	28	17,2	510,2	490
80	25	4,5	538	-19,2	23,5	5,8	28	17,2	555,2	560
90	25	4,5	601	-19,2	23,5	5,8	28	17,2	618,2	620
100	25	4,5	653	-19,2	23,5	5,8	28	17,2	670,2	680
110	25	4,5	707	-19,2	23,5	5,8	28	17,2	724,2	730
120	25	4,5	761	-19,2	23,5	5,8	28	17,2	778,2	800

A Tabela 4.4 demonstra que, exceto para as velocidades base de 30 e 40 km/h, cujas DVUs calculadas são significativamente maiores que as propostas, para todas as outras velocidades, as DVUs se aproximam bastante, sendo as diferenças entre elas irrisórias. Apesar de este cenário não acontecer com frequência, é interessante se comparar os resultados obtidos por um modelo diferente da AASHTO e perceber que este é o que mais se aproxima dos valores recomendados pelo Manual Brasileiro (Brasil, 1999).

4.4 Veículo de carga tipo CVC ultrapassa veículo de carga tipo CVC

Desta vez, considera-se uma situação em que ambos os veículos envolvidos são combinações veiculares de carga. Este cenário envolve riscos altos pelo grande comprimento dos veículos e baixa aceleração, principalmente em rodovias de alto fluxo. Contudo, também deve ser considerado por ser passível de acontecer em rodovias brasileiras, cujo fluxo de CVCs vem aumentando constantemente. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Comparação entre DVUs segundo o modelo de Wang e o Manual Brasileiro para o cenário em que um veículo de carga tipo CVC ultrapassa um veículo de carga tipo CVC

VB (km/h)	Li Wang (m)	Lp Wang (m)	Spsd Wang (m)	Δ Li (m)	Δ Lp (m)	Li (m)	Lp (m)	Δ Spsd (m)	Spsd calculado (m)	Manual Brasileiro (m)
30	25	4,5	265	3	23,5	28	28	106	371	180
40	25	4,5	318	3	23,5	28	28	106	424	270
50	25	4,5	378	3	23,5	28	28	106	484	350
60	25	4,5	432	3	23,5	28	28	106	538	420
70	25	4,5	493	3	23,5	28	28	106	599	490
80	25	4,5	538	3	23,5	28	28	106	644	560
90	25	4,5	601	3	23,5	28	28	106	707	620
100	25	4,5	653	3	23,5	28	28	106	759	680
110	25	4,5	707	3	23,5	28	28	106	813	730
120	25	4,5	761	3	23,5	28	28	106	867	800

Por fim, nota-se que as DVUs são maiores que as consideradas no Manual de Projeto Geométrico brasileiro. As disparidades variam de muito altas a baixas velocidades base, como 190 m para 30 km/h, a moderadas, como 70 m para 120 m/s. Assim, apesar de o modelo considerado no Brasil ser bastante conservador, ele ainda não representa todas as realidades de cenários de manobras de ultrapassagem presentes nas rodovias brasileiras, já que para o caso dos CVCs serem tanto o carro a ultrapassar quanto o carro que ultrapassa as DVUs requeridas são maiores que as recomendadas.

4.5 Conclusão do tópico

Neste tópico, foi explanado o porquê da escolha do modelo de Wang e Cartmell (1998) para uma análise de sensibilidade de quatro cenários diferentes envolvendo veículos de passeio e veículos de carga em uma manobra de ultrapassagem. Uma vez escolhido, de acordo com as hipóteses de cada cenário, os valores da DVU foram recalculados e comparados com os valores propostos por BRASIL (1999).

As Tabelas 4.2 a 4.5 apontam diferenças entre os valores de distância de visibilidade de ultrapassagem, sugerindo que, para altos valores de velocidade de projeto, as DVUs segundo a norma brasileira são conservadoras, apresentando-se altas em situações onde o veículo que ultrapassa é um veículo de passeio e próximas ao calculado quando o veículo que ultrapassa é um CVC. Contudo, valores discrepantes consideráveis são encontrados para velocidades base

menores, situação em que se conclui que deve haver uma revisão das DVUs na norma, diante certos valores menores que o calculado pelo modelo de Wang.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este projeto baseou-se em alguns poucos, e às vezes antigos, estudos e pesquisas sobre a acomodação de veículos de carga nas situações hipotéticas consideradas, por falta de dados nos efeitos operacionais da implementação de um novo critério. Assim, com base nas estatísticas e características de tais veículos disponibilizadas por alguns órgãos e dissertações, além da análise de diferentes modelos de cálculo de DVUs, selecionou-se um critério que pudesse ser aplicado para a análise crítica dos valores de DVU sugeridos atualmente, tendo-se em vista a circulação de veículos CVC nas rodovias brasileiras.

O critério, apresentado nas análises de sensibilidade, envolve situações de projeto onde veículos de passeio ultrapassariam veículos de passeio, veículos de passeio ultrapassariam veículos de carga, veículos de carga ultrapassariam veículos de passeio, e veículos de carga ultrapassariam veículos de carga, em contraste com o critério atual, que só considera a situação de um veículo de passeio ultrapassando outro veículo de passeio. Deve-se ter em mente que a adoção de qualquer uma destas alternativas nos critérios das DVUs para zonas de ultrapassagem e não ultrapassagem em rodovias de pistas simples de mão dupla seria prematura sem uma análise operacional sobre até que ponto o novo critério iria degradar o nível de serviço para veículos de passeio.

A aplicação do modelo de Wang e Cartmell (1998) indica que DVUs progressivamente mais longas são requeridas para as situações consideradas nas análises de sensibilidade. Não existe consenso geral sobre qual destas situações é a base mais razoável para o projeto e operação de rodovias simples de mão dupla. Assim como no modelo de Glennon (1988) analisado na primeira parte deste projeto, os valores de DVU encontrados pelo modelo de Wang mostram que os valores sugeridos pela AASHTO (1994) são bastante conservadores. Apenas nas situações onde o veículo que ultrapassa é um veículo de carga CVC os valores se mostram compatíveis. No caso de o veículo a ser ultrapassado ser também um CVC, os valores calculados pelo modelo de Wang e Cartmell se mostraram maiores que aqueles recomendados pelo Manual de Projeto Geométrico.

Sugere-se que mais estudos e análises de pesagens sobre combinações veiculares de carga sejam desenvolvidas no contexto acadêmico e de pesquisa no Brasil, para que projetos como este possam ser validados e revisados. Com isso, pode-se estabelecer uma visão mais moderna e consistente com a evolução do tráfego nas rodovias brasileiras e uma maior análise crítica sobre a adequabilidade dos valores de projeto em vigor e recomendados por normas nacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (1994). American Association of State Highway and Transportation Officials. **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. Wahignton DC, 1994.

ALBANO, J.F.; MATTOS, J.R.C. (2007). **Veículos de carga e segurança rodoviária**. 6p. VII SEPROSUL – Semana de Engenharia de Produção Sul-Americana. UDELAR, Salto, Uruguai, 2007.

ALBANO, J.F. (2005). **Efeito dos excessos de carga sobre a durabilidade de pavimentos**. 232p. Tese (Doutorado) – Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2005.

ARAÚJO, J.J. (2007). **Estudo do impacto de veículos pesados sobre a infra-estrutura rodoviária através de simulação microscópica de tráfego**. 160p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

BRASIL (1999). Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 195p. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. IPR - 706. Rio de Janeiro,1999.

BRASIL (2006). Conselho Nacional de Trânsito. Requisitos necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga – CVC, a que se referem os arts. 97, 99 e 312 do Código de Trânsito Brasileiro - CTB. **Resolução Nº 211, de 13/11/2006**. Brasília, 2006.

BRASIL (2012). Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Quadro de Fabricantes, 2012**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodovitarias/pesagem/qfv-2012-abril.pdf>>. Acesso em: 02 mai 2016.

CNT (2016). Confederação Nacional do Transporte. **Boletim Estatístico, 2016**. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 02 mai 2016.

CUNHA, A.L.B.N. (2007). **Avaliação do impacto da medida de desempenho no equivalente veicular de caminhões**. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GLENNON, J.C. (1988). **New and Improved Model of Passing Sight Distance on Two-Lane High-ways**. Transportation Research Record 1195. TRB, Washington D.C., 1988.

HASSAN, Y.; EASA, S. M., and Abd El Halim, A.O. (1998). **Design consideration for passing sight distance and passing zones**. Transportation Research Circular, 1998 (E-C003), 1998.

JACOB, A. M. G. (2005). **Análise de Manobra de Ultrapassagem em Ambiente Virtual**. 203p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2005.

KENNY, B.; KWAN, A.; MORRALL, J. (2000) **Design and operational considerations to accommodate long combination vehicles and log haul trucks on rural highways in Alberta, Canada**. 2000. Trabalho apresentado em *2nd Int. Symp. Highway Geometric Des.*, Alberta, 2000.

MALINOVSKI, R. A. (2010). **Modelo matemático para otimização dos custos operacionais de transporte de toras com base na qualidade de estradas**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.

MOREIRA, M. M. (2015). **Distância de Visibilidade de Ultrapassagem em Estradas de Duas Vias**. 143p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2015.

NCHRP (2008) National Cooperative Highway Research Program. **Report 605 - Passing Sight Distance Criteria**. Washington DC, 2008.

PELLEGRINI, P.T. (2006). **Contribuição para o Estudo das Distâncias de Visibilidade de Ultrapassagem para Rodovias Bidirecionais com Duas Faixas de Tráfego.** 275p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

PEREIRA NETO, W. A. (2007). **Análise de Fatores Intervenientes nas Características Dimensionais de Segmentos Rodoviários sob a Óptica da Compatibilidade Veículo-Via.** 190p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

WANG, Y.; CARTMELL, M.P. (1998). **New Model for Passing Sight Distance on Two-Lane Highways.** Journal of Transportation Engineering, 1998.

WIDMER, J.A. (2002) **Compatibilidade de Tráfego de Bitrens de 25m com a Infra-Estrutura Viária Brasileira.** Trabalho apresentado em 2º Colloquium Internacional de Suspensões e 1º Colloquium de Implementos Rodoviários da SAE-Brasil, Caxias do Sul, 2002.