



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES

PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE
RODOVIAS RURAIS VISANDO A SEGURANÇA VIÁRIA

MÁRCIA LOPES RODRIGUES DE SOUZA

ORIENTADORA: MARIA ALICE PRUDÊNCIO JACQUES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

PUBLICAÇÃO: T.DM – 005A/2012
BRASÍLIA/DF: MARÇO - 2012

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

**PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE
RODOVIAS RURAIS VISANDO A SEGURANÇA VIÁRIA**

MÁRCIA LOPES RODRIGUES DE SOUZA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM TRANSPORTES.**

APROVADA POR:

**PROF^a. Maria Alice Prudêncio Jacques, PhD. (ENC-UnB)
(Orientadora)**

**PROF. José Matsuo Shimoishi, PhD. (ENC-UnB)
(Examinador Interno)**

**PROF^a. Lenise Grando Goldner, Dr. (UFSC)
(Examinadora Externa)**

FICHA CATALOGRÁFICA

DE SOUZA, MÁRCIA LOPES RODRIGUES

Procedimento para avaliação de projetos de rodovias rurais visando a segurança viária [Distrito Federal] 2012.

xiv, 206 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2012).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Avaliação de Projetos de Rodovias

2. Segurança Viária

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DE SOUZA, M. L. R. (2012). Procedimento para avaliação de projetos de rodovias rurais visando a segurança viária. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM – 005/2012. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 206 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Márcia Lopes Rodrigues de Souza.

TÍTULO: Procedimento para avaliação de projetos de rodovias rurais visando a segurança viária.

GRAU: Mestre ANO: 2012

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

Márcia Lopes Rodrigues de Souza
marcia.lopes.souza@terra.com.br
SQN 311 Bloco H aptº 104 – Asa Norte
CEP: 70.757-080 – Brasília/DF – Brasil

DEDICATÓRIA

Ao meu marido Concórdio e aos meus filhos Letícia e Alexandre,
por sempre estarem ao meu lado e compartilharem comigo todas as
alegrias da vida.

AGRADECIMENTOS

Em especial a Deus por estar ao meu lado todos os dias e ter me dado persistência para realizar esta dissertação e concedido graças para que durante o percurso dos estudos tudo fosse realizado com sabedoria, disciplina e principalmente muita fé.

À Secretaria Federal de Controle Interno, em especial ao Diretor de Infraestrutura, Wagner Rosa da Silva, por permitir-me desenvolver esta dissertação e reconhecendo a necessidade da prática do aperfeiçoamento profissional. Aos Coordenadores da SFC/CGU, José Antônio Meyer, Tarcisio e Wagner Alessander, por compreender a minha ausência do trabalho para assistir as aulas do mestrado e reuniões nos órgãos rodoviários para realizar a pesquisa de campo.

À Professora Maria Alice pela paciência, dedicação e disponibilidade para as atividades de orientação. Sua experiência profissional foi fundamental para o alcance dos objetivos do trabalho.

Aos professores da banca de defesa, Lenisa e Matsuo, pelas críticas e sugestões de melhoria do trabalho.

Aos colegas do PPGT, especialmente à Érica por estar sempre disposta a ajudar-me durante os momentos de estudo e finalização da dissertação.

À Lucinete, por ajudar-me nas questões administrativas do Programa, com sua alegria constante.

Aos colegas Vladimi e Jofran, e também aos técnicos dos órgãos pesquisados, por todo o apoio e auxílio dado, sem o qual não seria possível concluir a pesquisa de campo.

À minha família, especialmente, meu marido e filhos pela compreensão, ajuda e apoio para concluir o mestrado em transportes.

RESUMO

PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE RODOVIAS RURAIS VISANDO A SEGURANÇA VIÁRIA

A avaliação mais ampla dos projetos viários, que inclua as características gerais do traçado, a sinalização viária, os dispositivos auxiliares da sinalização e as próprias condições das áreas lindeiras, permite assegurar, mesmo em condições de saída de pista, que existam dispositivos para garantir a segurança dos usuários da via e mitigar os riscos relacionados com o ambiente viário. Neste contexto, este trabalho visa apresentar um procedimento que possa ser utilizado pelos órgãos rodoviários federais e estaduais para avaliação sistemática de projetos de rodovias, situadas em áreas rurais, visando à verificação das condições de segurança viária.

Baseado nos elementos de projeto que se revelaram mais diretamente ligados à promoção da segurança dos usuários da rodovia, identificados a partir de uma ampla revisão bibliográfica envolvendo documentos técnicos nacionais e de outros países, foi possível desenvolver o procedimento. Uma versão inicial desse procedimento foi submetida à apreciação de técnicos de três órgãos rodoviários e, ainda, de dois técnicos que atuam na fiscalização rodoviária em órgãos federais de controle interno e externo. Os resultados dessa apreciação revelaram, inicialmente, que os elementos constantes do procedimento são necessários e suficientes para permitir a análise pretendida. Os técnicos sugeriram algumas alterações que foram devidamente avaliadas e, quando consideradas justificadas, incorporadas à versão final do procedimento.

Uma das principais vantagens da implementação do procedimento proposto é que ele permite aos técnicos uma visão mais geral e integrada dos aspectos do projeto que podem afetar diretamente a segurança dos futuros usuários da via. Como desvantagem, foi apontado o fato de que a aplicação do procedimento na íntegra exigirá um maior dispêndio de tempo por parte dos técnicos responsáveis pela análise, nem sempre possível em função do porte das equipes disponíveis nos órgãos. Essa questão da sobrecarga dos técnicos não permitiu, inclusive, que o procedimento fosse testado na avaliação de projetos existentes nos órgãos que colaboraram com a pesquisa.

ABSTRACT

PROCEDURE FOR ASSESSING ROAD SAFETY ASPECTS OF HIGHWAY PROJECTS FOR RURAL AREAS

A broad analysis of highway projects that encompasses the general characteristics of the route, the road surface markings, auxiliary signs and the conditions of the areas alongside the highway makes it possible to ensure that, even when vehicles run off the road, there are devices in place to guarantee road user safety and mitigate the risks associated to highway environments. This work proposes a procedure to be used by federal and state highway agencies for the systematic evaluation of highway projects for rural areas that effectively verifies road safety conditions.

The procedure was developed on the basis of elements of projects revealed to be most associated to fostering highway user safety identified by means of an extensive bibliographic research involving national technical literature and that of other countries. A preliminary version of the procedure was submitted to technical officers in three public highway bodies and to two highway inspectors attached to federal internal and external control bodies. The results of their analyses showed that the elements identified in the procedure are indeed essential and sufficient to permit an analysis of safety aspects. The collaborators suggested modifications which were duly evaluated and those considered valid were incorporated to the final version of the procedure.

The main advantage obtained by implementing the procedure is the wider and more integrated vision it affords to technical staff of aspects that can directly affect the safety of future highway users. The disadvantage identified is the extra time demanded for analysis, which is not always available when teams are understaffed in public bodies. That fact of overworked staff prevented that the procedure was tested in the actual assessment of projects in those bodies that collaborated with the research.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	APRESENTAÇÃO	1
1.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	4
1.3	OBJETIVO	6
1.3.1	Objetivo geral	6
1.3.2	Objetivos específicos	6
1.4	JUSTIFICATIVA	6
1.5	METODOLOGIA DA PESQUISA	7
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	8
2	PROJETO DE RODOVIAS NO CONTEXTO DA SEGURANÇA VIÁRIA	10
2.1	FLEXIBILIDADE NO PROJETO DE RODOVIAS	10
2.1.1	O processo de desenvolvimento de rodovias	11
2.1.2	A equipe multidisciplinar	13
2.1.3	Flexibilidade nos critérios de projeto	14
2.2	PROJETO DE RODOVIAS QUE PERDOAM	15
2.2.1	Características gerais	16
2.2.2	Medidas para melhorar a segurança viária	17
2.3	TÓPICOS CONCLUSIVOS	23
3	MÉTODOS PARA VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA DE RODOVIAS	25
3.1	ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA GEOMÉTRICA	25
3.1.1	Velocidades de projeto e de operação	27
3.1.2	Dinâmica do Veículo	27
3.1.3	Geometria da rodovia	27
3.1.4	Carga de trabalho dos motoristas	28
3.1.5	Listas de Verificação	29
3.2	SOFTWARE INTERACTIVE HIGHWAY SAFETY DESIGN MODULE - IHSDM	30
3.3	MÉTODO DO ÍNDICE DE SEGURANÇA POTENCIAL (ISP)	32
3.4	AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA PARA PROJETO	35
3.4.1	Técnica aplicada na Austrália – AUSTROADS	36
3.4.2	Técnica Americana – FHWA	38
3.4.3	Técnica Irlandesa – NRA	39
3.5	TÓPICOS CONCLUSIVOS	40
4	ASPECTOS GERAIS DO PROJETO DE RODOVIAS	43
4.1	PROJETO GEOMÉTRICO	44
4.1.1	Classificação da rodovia	45

4.1.2	Principais características do projeto geométrico	47
4.1.2.1	Projeto em Planta	48
4.1.2.2	Superelevação	53
4.1.2.3	Superlargura	54
4.1.2.4	Distância de Visibilidade	55
4.1.2.5	Projeto em perfil longitudinal	57
4.1.2.6	Terceira faixa nas rampas	60
4.1.2.7	Projeto dos elementos da seção transversal	61
4.1.3	Análise das características geométricas sob a ótica da avaliação de projetos focada na segurança viária.....	63
4.2	PROJETO DE INTERSEÇÕES, RETORNOS E ACESSOS.....	65
4.2.1	Classificação das interseções.....	67
4.2.2	Principais características geométricas de interseções.....	67
4.2.2.1	Distâncias de Visibilidade.....	68
4.2.2.2	Curvas Horizontais	70
4.2.2.3	Largura de Ramos e espaço livre lateral	71
4.2.2.4	Faixas de Mudança de Velocidade	71
4.2.2.5	Faixas de conversão à esquerda	73
4.2.2.6	Superelevação	74
4.2.2.7	Curvas verticais.....	74
4.2.3	Características geométricas dos acessos.....	74
4.3	PROJETO DE SINALIZAÇÃO VIÁRIA.....	75
4.3.1	Sinalização Horizontal.....	76
4.3.2	Sinalização Vertical	81
4.3.3	Dispositivos Auxiliares	92
4.4	PROJETO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO (DEFENSAS E BARREIRAS)	93
4.4.1	Barreiras de Concreto	94
4.4.2	Defensas Metálicas	95
4.4.2.1	Canteiros centrais.....	95
4.4.2.2	Nos aterros	96
4.4.2.3	Pistas em desnível.....	96
4.4.2.4	Obstáculos fixos na rodovia.....	96
4.4.2.5	Trânsito de caminhões	96
4.4.2.6	Faixa de rolamento.....	97
4.5	TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	97
5	PROCEDIMENTO PROPOSTO PARA ANÁLISE DE PROJETO..	101
5.1	ESTRUTURA GERAL DO PROCEDIMENTO.....	101
5.1.1	Atividades da Etapa 1	102
5.1.2	Atividades da Etapa 2	105
5.1.3	Atividades da Etapa 3	106
5.1.4	Atividades da Etapa 4	107
5.2	LISTA DE VERIFICAÇÃO PARA PROJETOS DE RODOVIAS RURAIS – REVISÃO DA SEGURANÇA VIÁRIA	108
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	136
6.1	CONCLUSÕES.....	136

6.2	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	140
6.3	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	141
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		142
APÊNDICES.....		148
A - TÉCNICA DA AUSTROADS DE AUDITORIA (2009)		149
B - TÉCNICA AMERICANA DE AUDITORIA – FHWA (2006).....		150
C - TÉCNICA IRLANDESA DE AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA – NRA (2009).....		152
D - DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS PARA ANÁLISE DO PROJETO		156
D.1 - NO ÂMBITO DO PROJETO GEOMÉTRICO – EM PLANTA		156
D.1.1	- Raio de Curva Circular	156
D.1.2	- Raios de curvas sucessivas	157
D.1.3	- Comprimento das Curvas Circulares	158
D.1.4	- Comprimento da Curva de Transição	158
D.1.5	- Superlevação.....	160
D.1.6	- Superlargura.....	162
D.1.7	- Distância de Visibilidade de Parada	163
D.1.8	- Distância de Visibilidade de Ultrapassagem	165
D.2 - NO ÂMBITO DO PROJETO GEOMÉTRICO – EM PERFIL		166
D.2.1	- Inclinação das Tangentes Verticais (i).....	166
D.2.2	- Comprimento da Curvas Vertical Côncava e Convexa.....	166
D.3 - NO ÂMBITO DO PROJETO GEOMÉTRICO – TERCEIRA FAIXA		168
D.3.1	- Implantação da Terceira Faixa em Trecho em Aclive.....	168
D.3.2	- Implantação da Terceira Faixa em Trecho em Declive.....	170
D.3.3	- Implantação de Faixas de Ultrapassagem.....	172
D.3.4	- Largura da 3ª Faixa.....	172
D.3.5	- Largura do Acostamento na 3ª Faixa.....	172
D.4 - NO ÂMBITO DO PROJETO GEOMÉTRICO – SEÇÃO TRANSVERSAL.....		173
D.4.1	- Largura das Faixas de Trânsito.....	173
D.4.2	- Largura dos Acostamentos	173
D.4.3	- Declividade Transversal da Pista e do Acostamento.....	174
D.4.4	- Largura dos Canteiros Centrais	175
D.5 - NO ÂMBITO DO PROJETO DE INTERSEÇÕES.....		176
D.5.1	- Velocidade de Projeto nas Rotatórias.....	176
D.5.2	- Comprimento dos trechos de entrecruzamento das rotatórias (L).....	176
D.5.3	- Distância de Visibilidade em Interseções.....	177
D.5.4	- Distância de Visibilidade de Parada	180
D.5.5	- Raios para Bordos de Pista de Conversão	180
D.5.6	- Condições para Pistas de Conversão	181
D.5.7	- Raios das Curvas em Interseções.....	181
D.5.8	- Comprimento de Curvas Espirais	182
D.5.9	- Comprimento de Curvas Compostas	182
D.5.10	- Largura das Pistas de Conversão	183

D.5.11 - Largura do Acostamento em Interseções.....	184
D.5.12 - Faixas de mudança de velocidade.....	184
D.5.13 - Comprimento do <i>taper</i>	184
D.5.14 - Comprimento das Faixas de Mudança de Velocidade.....	185
D.5.15 - Adoção de faixas de giro à esquerda	187
D.5.16 - Dimensões das faixas de giro à esquerda	187
D.5.17 - Superlevação para Curvas em Interseções.....	188
D.5.18 - Retorno em “U”	189
D.6 - SINALIZAÇÃO VERTICAL.....	190
D.6.1 - Placas nas Curvas Horizontais.....	190
D.6.2 - Placas em Rampas Acentuadas	190
D.6.3 - Limites de Velocidade	191
D.7 - DISPOSITIVOS AUXILIARES.....	192
D.8 - NO ÂMBITO DO PROJETO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO	
(SEGUNDO O CONCEITO DE “RODOVIAS QUE PERDOAM”)	197
D.8.1 - Largura da zona livre em curvas.....	197
D.8.2 - Drenagem lateral.....	199
D.8.3 - Proteção lateral em taludes	201
D.8.4 - Proteção em Canteiro Central.....	202
D.8.5 - Comprimento de barreira de proteção	203
D.8.6 - Proteção Lateral utilizando Sistemas Rígidos	205

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Diretrizes para promoção da segurança viária.....	17
Tabela 2.2 – Largura da Zona Livre (m) em trechos em tangente	18
Tabela 2.3 – Largura da zona livre (m) em curvas com raio menor que 800m.....	19
Tabela 3.1 – Métodos para a análise da consistência de projeto geométrico	26
Tabela 3.2 - Nível de consistência x Tempo de reação	29
Tabela 3.3 - Revisão dos fatores quanto à consistência de projeto	30
Tabela 3.4 – Macrocategorias, características rodoviárias e respectivos pesos relativos.....	33
Tabela 3.5– Estágios e características da Auditoria de Segurança Viária.....	37
Tabela 4.1 – Critérios para classificação de rodovias	46
Tabela 4.2 – Relação entre as classes funcionais e as de projeto	46
Tabela 4.3 – Raios de curva que dispensam a transição.....	51
Tabela 4.4 - Raios que dispensam a superelevação.....	53
Tabela 4.5 – Valores máximos da superelevação admissíveis	54
Tabela 4.6 – Distâncias de velocidade de parada	55
Tabela 4.7 – Distâncias de visibilidade para tomada de decisão (m).....	56
Tabela 4.8 – Distâncias de visibilidade de ultrapassagem.....	57
Tabela 4.9 - Conformação das pistas.....	63
Tabela 4.10 - Distância de visibilidade de parada.....	70
Tabela 4.11 – Distâncias mínima de visibilidade para construção de acesso	75
Tabela 4.12 – Distância mínima de Visibilidade de Ultrapassagem	78
Tabela 4.13 – Principais categorias de sinalização vertical.....	82
Tabela 4.14 – Sinalização de Regulamentação - Distâncias mínimas x Velocidade	86
Tabela 4.15 – Sinalização de Advertência - Distâncias mínimas x Velocidade.....	87
Tabela 4.16 – Sinal de Advertência – Distâncias mínimas de desaceleração e/ou manobra ...	88
Tabela 4.17 – Sinalização de curvas – Fatores geométricos	89
Tabela 4.18- Declive acentuado - condições de rampa	91
Tabela 5.1– Elementos de projeto geométrico	103
Tabela 5.2 – Resultado da Avaliação do Projeto Geométrico	105
Tabela 5.3 – Resultado da avaliação dos elementos fixos.....	105
Tabela 5.4 – Resultado da avaliação das condições da geometria que requerem sinalização	106
Tabela 5.5 – Elementos do projeto de sinalização e do projeto de dispositivos de proteção .	107
Tabela 5.6 – Projeto Geométrico – Em Planta	109
Tabela 5.7– Projeto Geométrico – Em Perfil	113
Tabela 5.8 – Projeto Geométrico – Terceira Faixa.....	114
Tabela 5.9 – Projeto Geométrico – Seção Transversal.....	115
Tabela 5.10 – Projeto de Interseções	116
Tabela 5.11– Sinalização Horizontal.....	122
Tabela 5.12– Sinalização Vertical	126
Tabela 5.13– Dispositivos Auxiliares.....	132
Tabela 5.14 – Projeto de Dispositivos de Proteção	133
Tabela D.1– Raio mínimo das curvas circulares	156
Tabela D.2– Raios de curva que dispensam a transição.....	158
Tabela D.3 – Rampas de Superelevação admissíveis.....	159
Tabela D.4- Raios que dispensam a superelevação.....	161
Tabela D.5– Valores máximos da superelevação admissíveis	161

Tabela D.6– Valores de G_L e L_B (metros).....	162
Tabela D.7 – Valores para a superlargura para pistas com duas faixas de tráfego	162
Tabela D.8– Valores para a superlargura para pistas com três e quatro faixas de tráfego ...	163
Tabela D.9 - Distâncias de Visibilidade de parada mínimas (m)	164
Tabela D.10 – Distâncias de Visibilidade de parada desejáveis (m).....	165
Tabela D.11 – Distâncias de visibilidade de ultrapassagem.....	165
Tabela D.12 – Valores máximos para rampas	166
Tabela D.13 – Critérios para cálculo das curvas	167
Tabela D.14 - Valores de K_{min} – critério da máxima aceleração centrífuga	167
Tabela D.15 – Valores de K	168
Tabela D.16 – Comprimento do <i>taper</i> nas terceiras faixas	168
Tabela D.17 – Determinação do início da 3ª faixa e comprimentos mínimos	169
Tabela D.18 – Determinação do final da 3ª faixa para diferentes greides.....	169
Tabela D.19- Velocidades permitidas (km/h) – veículo similar ao MB 1313 toco - 20 cv.	171
Tabela D.20 - Velocidades permitidas (km/h) - veículo do tipo MB 1313 toco – 106,7cv .	172
Tabela D.21 – Larguras da faixa de trânsito (metros)	173
Tabela D.22 – Larguras dos acostamentos externos (metros).....	173
Tabela D.23 – Larguras dos acostamentos internos (metros).....	174
Tabela D.24 – Declividade transversal da pista e do acostamento nos trechos em tangente e em curva	174
Tabela D.25 – Largura do Canteiro Central	175
Tabela D.26 – Velocidade de projeto nas rotatórias.....	176
Tabela D.27 – Comprimento mínimo dos trechos de entrecruzamento das rotatórias (L)...	176
Tabela D.28 – Tipos de Controles de Tráfego nas Interseções	177
Tabela D.29 – Distância de visibilidade ao longo da rodovia principal em interseções controladas pela sinalização “Parada Obrigatória” na rodovia secundária – Caso B1.....	178
Tabela D.30 – Distância de visibilidade ao longo da rodovia principal em interseções controladas pela sinalização “Dê a Preferência” na rodovia secundária – Caso C2	178
Tabela D.31 – Distância de visibilidade ao longo da rodovia principal em interseções controladas pela sinalização “Parada Obrigatória” - Caso E.....	179
Tabela D.32- Raios mínimos para bordos de pista de conversão (m)	180
Tabela D.33 – Condições mínimas de projeto para pistas de conversão.....	181
Tabela D.34 - Raios mínimos para curvas em interseções	181
Tabela D.35 – Comprimento mínimo das espirais nas curvas de conversão	182
Tabela D.36 - Comprimento mínimo dos arcos circulares para curvas compostas.....	182
Tabela D.37 – Largura das pistas de conversão (m).....	183
Tabela D.38 – Largura do acostamento ou espaço lateral equivalente	184
Tabela D.39 – Comprimento do <i>taper</i> nas faixas de mudanças de velocidade	184
Tabela D.40 – Comprimentos das faixas de desaceleração.....	185
Tabela D.41 - Comprimentos das faixas de aceleração.....	185
Tabela D.42 – Fatores de ajustamento para faixas de mudança de velocidade em virtude do greide adotado.....	186
Tabela D.43 – Adoção de faixas de giro à esquerda para rodovias de pista simples	187
Tabela D.44 - Comprimentos mínimos de desaceleração para faixas de giro à esquerda...	187
Tabela D.45 – Comprimentos das faixas de armazenamento.....	188
Tabela D.46 - Superelevação para curvas em interseções.....	188
Tabela D.47 – Dimensões mínimas para retornos em “U”	189
Tabela D.48 – Sinalização de curvas – Fatores geométricos	190

Tabela D.49 - Declive acentuado - condições de rampa	191
Tabela D.50 – Velocidade Máxima Permitida em vias rurais	191
Tabela D.51 – Distâncias máximas entre placas de velocidade máxima permitida (R-19) .	192
Tabela D.52– Distância entre delineadores – trechos em tangente	192
Tabela D.53– Distância entre delineadores - trechos em curva	193
Tabela D.54 – Espaçamentos das tachas refletivas.	195
Tabela D.55– Espaçamentos dos Tachões.....	196
Tabela D.56– Fator de ajuste - K_{vz}	199

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Representação esquemática dos fatores contribuintes dos acidentes e as medidas mitigadoras	3
Figura 2.1– Fatores a considerar no planejamento	12
Figura 2.2 – Participantes do processo de desenvolvimento do projeto de estradas	13
Figura 2.3 - Suporte colapsável.....	20
Figura 2.4 - Falta de suportes colapsíveis	20
Figura 2.5 - Rodovia que perdoa (tolerante)	22
Figura 2.6 - Rodovia que não perdoa (não tolerante).....	22
Figura 3.1 - Esquema dos módulos do software IHSD	31
Figura 4.1 – Esquema dos principais elementos geométricos de uma rodovia	47
Figura 4.2 – Curva horizontal do tipo circular simples	48
Figura 4.3 – Curva horizontal do tipo circular com transição	49
Figura 4.4 - Elementos altimétricos de um projeto de rodovia	58
Figura 4.5 – Elementos de seção transversal: rodovias em pista simples	61
Figura 4.6 – Elementos de seção transversal: rodovias em pista dupla.....	61
Figura 4.7 – Triângulo de visibilidade para tráfego em movimento e parado.....	69
Figura 4.8 – Tipos de faixas de mudança de velocidade	72
Figura 4.9– Utilização de linhas de proibição de ultrapassagem	79
Figura 4.10– Distância de Visibilidade de Ultrapassagem em curva vertical	80
Figura 4.11 – Distância de Visibilidade de Ultrapassagem em curva horizontal.....	81
Figura 4.12 – Posicionamento da sinalização de regulamentação- distância de visibilidade... 86	
Figura 4.13– Posicionamento da sinalização de advertência - distância de visibilidade	88
Figura 4.14 – Sinalização de advertência em curva acentuada em S	90
Figura 4.15 – Sinalização de advertência em curva em S	90
Figura 5.1- Fluxograma das etapas do procedimento.....	102
Figura D.1– Critérios para definição dos raios de curvas sucessivas.....	157
Figura D.2 – Delineadores em trechos em tangente.....	193
Figura D.3 - Delineadores em trecho em curva.....	194
Figura D.4 - Zona Livre – Trecho em curva.....	197
Figura D.5 - Ábaco para cálculo da zona livre	198
Figura D.6 - Ábaco para canais triangulares	200
Figura D.7 - Ábaco para canais trapezoidais.....	201
Figura D.8 – Ábaco para verificar a necessidade de proteção lateral nos taludes.....	202
Figura D.9 – Ábaco para verificar a necessidade de proteção em canteiro central	203
Figura D.10 – Comprimento de barreira em tráfego unidirecional	204
Figura D.11 – Comprimento de barreira em tráfego bidirecional	204
Figura D.12– Barreiras do tipo New Jersey	205
Figura D.13 – Barreiras do tipo F.....	206

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Acidentes de trânsito com mortos e feridos são considerados pelas autoridades da área da saúde como um problema de saúde pública importante e crescente no mundo. A Organização Mundial de Saúde (OMS) estimou que em 2002 quase 1,2 milhões de pessoas morreram em acidentes rodoviários em todo o mundo e mais de 50 milhões ficaram feridas. E até 2020 as mortes nas estradas do mundo podem duplicar (WHO, 2004).

As causas dos acidentes de trânsito não são decorrentes de variáveis isoladas, sendo formadas por um conjunto de fatores causais que ao interagirem proporcionam o acidente. Deste modo, ao relacionar os fatores humanos, com os associados a veículo e ambiente, incluindo a via e seu entorno, têm-se um somatório de fatores que nem sempre proporciona um resultado adequado e seguro (DNIT/UFSC/NEA, 2006).

A análise de acidentes aponta o papel preponderante dos fatores humanos, caracterizados por um comportamento inadequado do ser humano, como por exemplo, erro de reconhecimento e identificação (sinais, distâncias e obstáculos), erro de processamento, erro de tomada de decisão, ou erro na execução da manobra (Austroads, 1994 *apud* Nodari, 2003). Também são importantes os componentes envolvendo a via e o meio ambiente e estes se referem diretamente às características da rodovia, da sinalização e do clima (chuva, neblina e luminosidade). E finalmente, têm-se os fatores relacionados ao veículo, que também contribuem para os acidentes, e referem-se às inadequações no estado operacional do mesmo, tais como os freios, pneus, etc.

Os acidentes nas estradas impõem elevados custos sociais e econômicos para as economias em desenvolvimento e em países de baixa renda. No Brasil, estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2006) apontou que os custos gerados por acidentes de trânsito nas rodovias federais, no período de 01/07/2004 a 30/06/2005, foram de aproximadamente 6,5 bilhões de reais, a preços de dez/2005. Estes custos referem-se a despesas de medicamentos, perda de produtividade decorrente de acidentes que causam lesões ou morte às vítimas, custos médicos envolvidos no socorro às vítimas, danos à

propriedade pública e privada, aposentadorias prematuras, além de danos psicológicos (Porto Júnior *et al*, 2010).

Em países desenvolvidos, como os Estados Unidos, os custos gerados por acidentes de trânsito para a sociedade são estimados em US\$ 230 bilhões por ano, os quais são mais de três vezes a quantidade gasta para manter as rodovias a cada ano (AASHTO, 2004). Desse modo, a falta de segurança nas estradas gera impactos significativos no sistema de saúde e nos serviços de previdência e de assistência social.

Neste sentido, medidas voltadas à promoção da segurança viária, adotadas tanto no Brasil quanto no exterior procuram, tradicionalmente, atuar no sentido de reduzir o número de ocorrências. Para tanto buscam:

- a) melhorar a formação dos condutores e torná-los mais conscientes das suas responsabilidades no trânsito;
- b) atuar junto às crianças com programas educativos de trânsito, como por exemplo o Projeto Escola OHL Brasil que tem como objetivo “humanizar o trânsito por meio da educação de valores” (OHL, 2011);
- c) adotar medidas para melhorar a segurança dos veículos, tornando-os mais seguros para evitar as ocorrências; e
- d) fiscalizar e aplicar penalidades (multas), como medida para a redução de acidentes relacionados ao componente humano.

Além destas medidas, também são importantes as medidas destinadas a minimizar os danos às pessoas causados pelos acidentes. Assim, a indústria automobilística tem sido instada a aumentar as condições de segurança oferecidas aos ocupantes, como por exemplo: sistema de proteção contra impacto lateral e frontal que dissipa a energia de impacto, cintos de segurança de três pontos, airbags, etc..

Já em relação às vias, a adoção de um projeto bem elaborado, que incorpore medidas de segurança, pode reduzir os erros humanos e as consequências dos acidentes. Exemplo dessas medidas é a incorporação de áreas livres de recuperação marginal em uma rodovia de alta velocidade, também chamadas de zonas livres. Segundo *South Dakota Department of Transportation* (SDDOT, 2007), pesquisas têm indicado que uma largura de 9 m ou mais, a partir da borda da pista de rolamento, livre de obstáculos, permite que 80% dos

veículos desgovernados que abandonam o leito da estrada parem com segurança ou voltem para a rodovia.

Neste contexto, a rodovia deve ser desprovida de elementos que sejam perigosos ou agravem os acidentes, sendo que a rodovia tem um papel importante que é perdoar os erros dos motoristas. A visão de rodovias seguras ou rodovias que perdoam, chamadas nos Estados Unidos de “forgiving roads”, é uma nova maneira de conceber os projetos de infraestrutura de rodovias (Herrstedt, 2006). O objetivo dos projetos das rodovias que perdoam é transformá-las em estradas mais amigáveis e que ajudem os usuários a dirigir de forma segura.

A Figura 1.1 contém a representação esquemática dos fatores contribuintes dos acidentes, consequências dos acidentes e das medidas mitigadoras da gravidade do acidente. Estas últimas devem levar em conta a possibilidade de melhor preparar os usuários para reagir frente a situações de acidentes, de fazer com que a via e suas área de entorno contribuam para a redução dos efeitos dos acidentes sobre as pessoas envolvidas e, por fim, de dotar os veículos de características que reduzam o impacto dos acidentes sobre seus ocupantes.

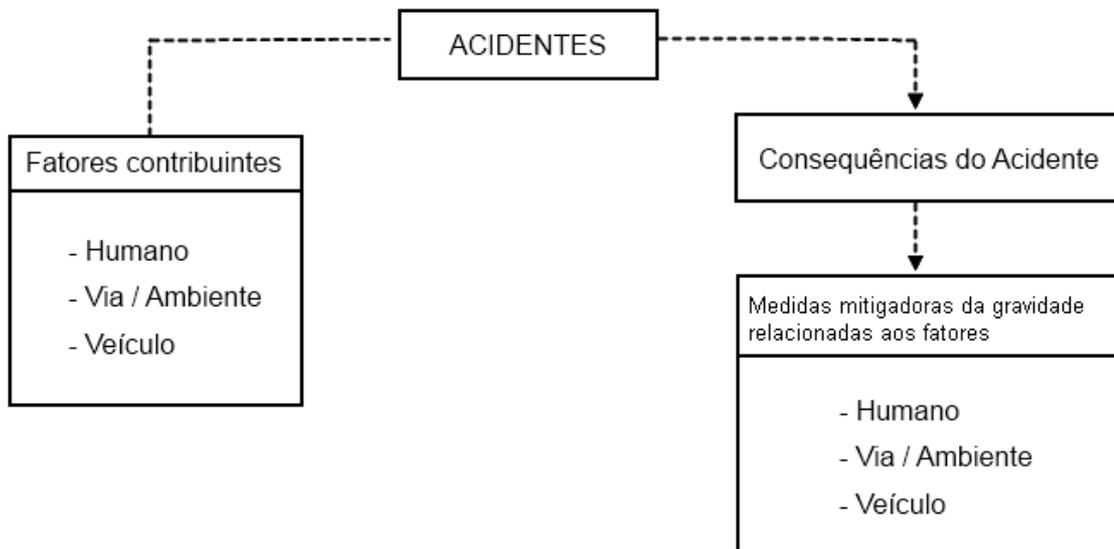


Figura 1.1 - Representação esquemática dos fatores contribuintes dos acidentes e as medidas mitigadoras

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

No momento da elaboração e análise dos projetos de rodovias, tem-se a oportunidade de, respectivamente, promover e verificar a segurança a ser oferecida pela via aos seus usuários. Em cada país, compete aos órgãos rodoviários executivos elaborar, fiscalizar e/ou aprovar os projetos de infraestrutura rodoviária.

No Brasil, em nível nacional, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT e Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT são entidades autárquicas, vinculadas ao Ministério dos Transportes - MT, responsáveis pela elaboração e/ou aprovação dos projetos rodoviários. Compete ao DNIT, acordo com a Lei nº 10.233/2001 (Brasil, 2001), exercer as atribuições elencadas no art. 21 da Lei nº 9.503/1997 (Brasil, 1997), que institui o Código de Trânsito Brasileiro. Somando às competências definidas na Lei nº 10.233/2001, também cabe ao DNIT a missão de prover a mobilidade dos usuários através de rodovias seguras e bem mantidas, conforme disposto nos incisos XXXVI ao XXXVIII do art. 90 do seu Regimento Interno que define as competências da Coordenação de Segurança e Engenharia de Trânsito do DNIT (Brasil, 2007):

“Art. 90 – À Coordenação de Segurança e Engenharia de Trânsito compete:
[...]
XXXVI – desenvolver estudos técnicos acerca de projetos de segurança viária;
XXXVII – buscar qualificação para o quadro técnico em Auditoria de Segurança Viária – ASV, para análise de segurança em projetos rodoviários nas fases de concepção, estudos preliminares, projeto, execução e operação da via;
XXXVIII – monitorar resultados dos projetos implementados certificando-se de sua eficiência e eficácia;”

À ANTT cabe a responsabilidade pela exploração da infraestrutura rodoviária federal, por meio das concessões de rodovias federais, conforme art. 22 da Lei nº 10.233/2001 (Brasil, 2001). Nesse contexto, a ANTT aprova os projetos de segurança viária, apresentados pelas concessionárias, e que serão aplicados nas rodovias concedidas.

Não obstante as competências do DNIT e ANTT, a Controladoria-Geral da União - CGU e o Tribunal de Contas da União – TCU são os órgãos federais responsáveis por realizar fiscalizações e auditorias em obras rodoviárias, custeadas com recursos públicos federais, com o objetivo de verificar a observância às disposições legais e regulamentares aplicáveis. O TCU e CGU também examinam as áreas de atuação do DNIT e ANTT

consideradas críticas, tais como a elaboração dos projetos rodoviários e as ações visando à melhoria da qualidade e da segurança nas rodovias federais.

No caso das rodovias estaduais, compete aos órgãos e entidades executivos rodoviários estaduais atuar segundo o estabelecido no art. 21 do Código de Trânsito Brasileiro (Brasil, 1997).

“Art.21 - Compete aos órgãos e entidades executivos rodoviários da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, no âmbito de sua circunscrição:
[...]

II - planejar, projetar, regulamentar e operar o trânsito de veículos, de pedestres e de animais, e promover o desenvolvimento da circulação e da segurança de ciclistas;

III - implantar, manter e operar o sistema de sinalização, os dispositivos e os equipamentos de controle viário;

IV - coletar dados e elaborar estudos sobre os acidentes de trânsito e suas causas;

[...]

VIII - fiscalizar, autuar, aplicar as penalidades e medidas administrativas cabíveis, relativas a infrações por excesso de peso, dimensões e lotação dos veículos, bem como notificar e arrecadar as multas que aplicar;

[...]

XI - promover e participar de projetos e programas de educação e segurança, de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo CONTRAN.”

Esses órgãos, na maioria dos estados da federação denominados “Departamentos de Estradas de Rodagem”, são, portanto, responsáveis pela promoção da segurança dos usuários das rodovias estaduais por meio de, entre outras medidas, projetos viários compatíveis com tal finalidade.

Não obstante a importância da avaliação dos projetos para a promoção da segurança viária, a literatura sobre critérios de análise de projetos com este foco ainda é escassa. As metodologias de auditoria de segurança viária, embora contemplem itens ligados ao projeto, são mais voltadas a análise de vias em fase de implantação e operação (Nodari, 2003). Adicionalmente, essas metodologias são voltadas principalmente para aplicação por parte de auditores externos à equipe de projeto.

Desta forma, é importante desenvolver um procedimento para avaliar os projetos das rodovias federais que possa ser aplicado pelos próprios técnicos dos órgãos rodoviários

(projetistas e analistas de projeto), e que também possa ser aplicado em projetos de rodovias estaduais, situadas em áreas rurais, a fim de contribuir para a melhoria da segurança viária, reduzindo os erros humanos, as potenciais consequências dos acidentes de trânsito e, ainda, ajudar os usuários a conduzir seus veículos de forma segura.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver procedimento para avaliação sistemática de projetos de rodovias, situadas em áreas rurais, visando à verificação das condições de segurança viária oferecidas pelos elementos da sua geometria e sinalização, além das características das respectivas áreas lindeiras.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa compreendem:

- a) avaliar o alcance de sistemas atuais de auditoria de segurança viária para projetos, aplicados em nível nacional e no exterior, quanto à verificação das condições de segurança para os usuários dos veículos em situações de perda parcial ou total de controle dos veículos;
- b) analisar recomendações, aplicadas em nível nacional e no exterior, referentes a características de projetos elaborados dentro dos conceitos de “flexibilidade em projetos rodoviários” e “rodovia que perdoa”;
- c) identificar nos órgãos federais e em alguns órgãos estaduais qual a prática adotada na avaliação de projetos de novas rodovias e de melhoramentos nas rodovias existentes.

1.4 JUSTIFICATIVA

De acordo com o DNIT (2010a), as medidas para a promoção de segurança, adotadas em uma rodovia, têm por objetivo garantir conforto e segurança aos usuários desde a fase de planejamento (concepção geral do projeto) até a abertura ao tráfego. A identificação e

correção de possíveis problemas de segurança na fase de elaboração do projeto evita a necessidade de correção de erros que resultem em custos adicionais desnecessários aos órgãos públicos responsáveis pela infraestrutura rodoviária.

Nesse sentido, a avaliação mais ampla dos projetos viários, que inclua as características gerais do traçado, a sinalização viária, os dispositivos auxiliares da sinalização e as próprias condições das áreas lindeiras, permite assegurar, mesmo em condições de saída de pista, que existam dispositivos para garantir a segurança dos usuários da via e mitigar os riscos relacionados com o ambiente viário.

Na literatura nacional, não existem estudos tratando a respeito de procedimentos para avaliação sistemática de projeto visando à verificação das condições de segurança viária das rodovias rurais. Diante disso, este trabalho pretende contribuir com os Órgãos Públicos Rodoviários da União e dos Estados, para uma melhor avaliação dos projetos de rodovias.

1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este trabalho de pesquisa é de caráter descritivo e explicativo, produzido a partir da revisão bibliográfica e pesquisa de documentos onde se apresentam características de projeto e seus potenciais efeitos sobre a segurança viária. Ele foi realizado de acordo com as etapas metodológicas a seguir apresentadas.

a) Etapa 01: Revisão Bibliográfica

Compreendeu o estudo aprofundado da literatura na área de projeto geométrico, sistemas de sinalização viária, auditoria de segurança viária e técnicas ligadas à promoção de flexibilidade em projetos rodoviários e rodovias que perdoam. Nesta etapa buscou-se obter os subsídios necessários à consecução dos dois primeiros objetivos específicos da pesquisa.

b) Etapa 02: Consulta aos órgãos executivo e regulador rodoviários da União e do Distrito Federal. Teve a finalidade de verificar como ocorre a elaboração e/ou avaliação de projetos rodoviários. O produto desta etapa visou atingir o terceiro objetivo específico.

c) Etapa 03: Elaboração do procedimento para avaliação da segurança viária nos projetos de rodovias

Com base nos resultados das etapas anteriores, foi elaborado um procedimento voltado para a avaliação dos projetos de novas rodovias e de melhorias nas rodovias existentes que possa ser aplicado pelos órgãos rodoviários federais e estaduais. Esse procedimento incluiu uma lista de verificação dos elementos de projeto identificados como críticos para a promoção da segurança viária.

d) Etapa 04: Avaliação do procedimento proposto

A avaliação foi realizada por técnicos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, da Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT e do Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal – DER/DF, bem como por dois técnicos que atuam na fiscalização rodoviária em órgãos federais de controle interno e externo.

e) Etapa 05: Alterações e/ou ajustes no procedimento

Foram realizadas, com base nos resultados da etapa anterior, as alterações voltadas a permitir que o procedimento seja eficaz e eficiente. Isto é, inclua apenas os itens de segurança necessários e suficientes para a avaliação de projetos de rodovias, e que atendam às expectativas dos técnicos que o utilizarão.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em seis capítulos, incluindo ainda, as referências bibliográficas e apêndices.

O Capítulo 1 é composto pela introdução, na qual é apresentada uma visão inicial do tema a ser abordado na presente dissertação. Também são abordados a caracterização do problema, os objetivos geral e específicos, a justificativa e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 contempla uma explanação a respeito dos conceitos atualmente utilizados no contexto da segurança viária, dando ênfase, principalmente, à flexibilidade no projeto de rodovias e aos projetos de rodovias que perdoam, segundo a NBR 15486/2007 (ABNT, 2007).

O Capítulo 3 descreve os métodos para verificar as condições de segurança viária utilizados. Assim, é abordado a análise da consistência geométrica, o método do Índice de Segurança Potencial (ISP), o software IHSDM e as técnicas de Auditoria de Segurança Viária.

O Capítulo 4 se concentra na revisão dos elementos ligados às características de projeto de novas rodovias. São considerados os elementos do projeto geométrico, do projeto de interseções, retornos e acessos, projeto de sinalização e projeto de defensas e barreiras.

O Capítulo 5 apresenta, enfim, o procedimento para avaliar sistematicamente os projetos de rodovias novas, situadas em áreas rurais, visando à verificação das condições de segurança viária oferecidas pelos elementos da sua geometria, interseções, sinalização e dispositivos de proteção, além das características das respectivas áreas lindeiras.

Por fim, as conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento da dissertação, assim como sugestões propostas para futuros trabalhos no tema da pesquisa, são apresentadas no Capítulo 6.

2 PROJETO DE RODOVIAS NO CONTEXTO DA SEGURANÇA VIÁRIA

As exigências sobre os projetos têm aumentado gradativamente, incorporando diversos conceitos que até pouco tempo não eram prioridade, caso da integração com as comunidades existentes, da preservação ambiental e da preocupação com a segurança dos usuários das rodovias (Caldas e Vieira, 2010). As rodovias deixaram de ser concebidas apenas com o intuito de ligar as cidades e permitir o fluxo de tráfego entre elas.

Atualmente, os engenheiros de projetos buscam desenvolver traçados e estruturas que sejam capazes de garantir segurança e conforto aos motoristas, buscando a melhor relação custo-benefício e o menor impacto ambiental. Dessa forma, desde a fase de planejamento de um projeto rodoviário, na execução de uma rodovia e durante a manutenção de uma via, quatro medidas que afetam a segurança rodoviária devem ser consideradas. Essas medidas são: flexibilidade no planejamento de novas estradas; incorporação de características de segurança na concepção de novas estradas; melhorias na segurança das estradas existentes; e medidas corretivas nos locais com alto risco de acidente.

Nesse sentido, este capítulo tem por objetivo apresentar os conceitos atuais utilizados na promoção da segurança de rodovias.

2.1 FLEXIBILIDADE NO PROJETO DE RODOVIAS

Os termos flexibilidade no projeto de rodovia, soluções sensíveis ao contexto e projetos sensíveis ao contexto são utilizados alternadamente por alguns autores. Estes termos referem-se a um mesmo processo e resultado, ou seja, um projeto de rodovia que equilibre o compromisso com a preservação ambiental e proteja os valores culturais das comunidades e, ao mesmo tempo, que proporcione segurança viária e preveja a mobilidade necessária para assegurar oportunidades econômicas e uma melhor qualidade de vida para a comunidade interessada (AASHTO, 2004).

2.1.1 O processo de desenvolvimento de rodovias

Cada projeto de transporte é único. O tempo que leva para completar o projeto depende da dimensão, complexidade e disponibilidade de financiamento de recursos financeiros. Uma melhoria simples de manutenção preventiva pode demorar menos de um ano, enquanto que um projeto de reconstrução que requeira desapropriação pode levar mais de cinco anos para ser concluído. Um projeto grande e complexo que envolve a construção de uma nova estrada e novos alinhamentos poderá levar até oito anos de planejamento e desenvolvimento e mais alguns anos para concluir a construção (IDOT, 2003). Assim, a construção de um projeto de rodovia é um processo muitas vezes lento, complexo, e envolve os órgãos e a comunidade interessada.

Durante cada fase do processo, importantes decisões que afetam as etapas subsequentes e o resultado final são tomadas. Conseguir uma solução flexível e sensível ao contexto é um desafio para os projetistas. E é durante a fase de planejamento de uma rodovia que a população, o público alvo, deve ser instada a fornecer informações sobre os problemas identificados pelos técnicos e a participar do processo decisório de melhoria ou construção de uma estrada.

Assim, durante a fase de planejamento é necessário avaliar o potencial impacto de uma instalação ou melhoria proposta. Portanto, é importante considerar como será a melhoria do transporte proposto e se essas melhorias afetarão o aspecto físico da área em torno do projeto, se a área a ser afetada tem características históricas ou paisagísticas únicas e quais são as preocupações da comunidade quanto à segurança e capacidade do transporte. A Figura 2.1 apresenta os fatores a considerar no planejamento de um projeto de rodovia.



Figura 2.1– Fatores a considerar no planejamento

Fonte: Adaptada de FHWA (2004)

Depois que um projeto foi planejado, segue para a fase de desenvolvimento do projeto. Nesta fase, a análise ambiental se intensifica. As decisões tomadas ao nível de desenvolvimento do projeto ajudam a definir as principais características do projeto com o restante do processo de concepção e construção. Assim como no planejamento, muitas decisões são tomadas no âmbito de desenvolvimento do projeto, independentemente do nível de detalhes estudado. Portanto, é importante também, como na fase de planejamento, que as diversas partes interessadas no projeto sejam identificadas e chamadas para participar do processo.

A Figura 2.2 indica os participantes do processo de desenvolvimento de um projeto de estradas, levando-se em conta o conceito de flexibilidade no projeto.

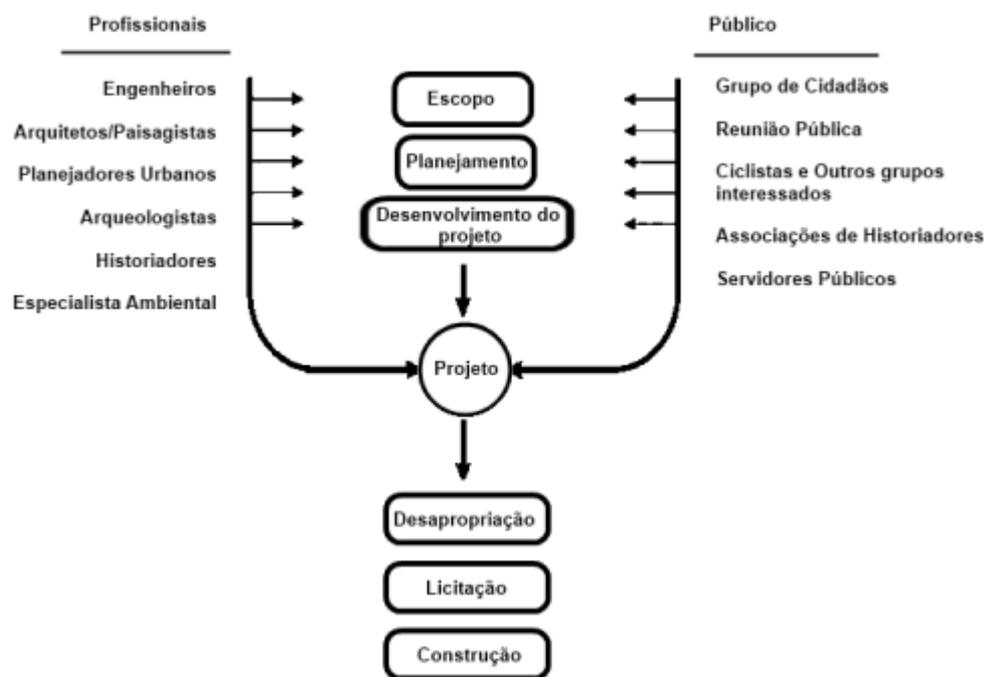


Figura 2.2 – Participantes do processo de desenvolvimento do projeto de estradas

Fonte: Adaptada de FHWA (2004)

Depois que uma alternativa foi selecionada e a descrição do projeto estiver de acordo com o documento ambiental, um projeto pode entrar na fase final. O produto desta etapa é um conjunto completo de planos, especificações e estimativas de quantidades necessárias de materiais para a solicitação de propostas de construção. A necessidade de empregar a imaginação, criatividade e flexibilidade entram em jogo nesta fase, dentro dos parâmetros gerais estabelecidos durante o planejamento e desenvolvimento do projeto.

2.1.2 A equipe multidisciplinar

Cada projeto tem seu próprio contexto, definido por características únicas, recursos e o público envolvido. Um princípio fundamental para o estabelecimento de um projeto final sensível ao contexto é que exista colaboração e uma equipe interdisciplinar a ser usada para desenvolver a solução para qualquer problema de transporte (IDOT, 2003).

Quanto mais cedo a equipe multidisciplinar participa do processo de concepção de uma rodovia, maiores são as chances de um projeto ter sucesso. Essa equipe deve ser inicialmente formada para resolver os aspectos aparentes do contexto de cada projeto e não

deve ser estática, de modo a poder responder adequadamente a novas questões e perspectivas que venham a surgir no decorrer da elaboração do projeto.

2.1.3 Flexibilidade nos critérios de projeto

Projetistas e engenheiros se deparam com situações complexas ao projetar estradas. Um bom projeto que busque o equilíbrio entre segurança, mobilidade, impactos sociais e ambientais, e ainda atenda as necessidades dos usuários da estrada é um desafio para os projetistas. Um bom projeto sensível ao contexto, resulta em rodovias que estejam em harmonia com o ambiente natural e social por onde passam.

Outro desafio para os projetistas é atingir o maior grau de segurança, utilizando no projeto os critérios técnicos e os recursos financeiros disponíveis. Os critérios técnicos são expressos em valores mínimos ou intervalos de valores para os vários parâmetros envolvidos na definição dos principais elementos do alinhamento horizontal, alinhamento vertical e seção transversal da via, conforme diretrizes dispostas nos diversos manuais de projetos geométricos de estradas, como é o caso, por exemplo, do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do DNER (1999) e do Manual de Implantação Básica de Rodovia (DNIT, 2010b).

Os critérios de projetos formam a base técnica, pela qual os projetistas se orientam durante todo o processo de desenvolvimento do projeto. E esses critérios destinam-se a produzir um projeto com um nível aceitável (padrões mínimos), assegurando um determinado nível de custo-benefício de desempenho, ligado ao desempenho e segurança do tráfego, bem como às atividades futuras de manutenção e construção (FHWA, 2007). Assim, quando a rodovia está em conformidade com os critérios de projeto, diminui a probabilidade de que ocorram problemas operacionais.

Contudo, alcançar o equilíbrio descrito acima nem sempre é possível, pois existe uma grande variedade de condições específicas do local que impõem dificuldades aos projetistas. As estradas têm uma infinidade de contextos em que estão inseridas. Nesses casos, estabelecer critérios de projeto que abordem todas as situações possíveis, cada uma com um conjunto de restrições e objetivos, não é possível. Assim, a solução adequada e

necessária pode sugerir um valor de projeto ou dimensão fora da faixa normal apresentada nos manuais.

No entanto, chegar a esta conclusão requer que os projetistas entendam como os critérios de projeto afetam a segurança e operação da via. Para muitas situações, há flexibilidade suficiente dentro dos critérios de projeto para conseguir um desenho equilibrado e ainda assim atingir valores mínimos (FHWA, 2007). Porém, quando não for possível adotar os valores mínimos, a solução será considerada uma exceção de projeto. Assim, a decisão e os valores a adotar deverão ser cuidadosamente ponderados, com a finalidade de encontrar uma solução entre as exigências de projeto e as restrições físicas ou econômicas (DNER, 1999).

Para avaliar e documentar todas as decisões que adotem elementos geométricos fora dos critérios normais de projetos, FHWA (2007) recomenda a adoção de um procedimento que envolve seis fases. A primeira fase requer que os projetistas determinem os custos e os impactos do cumprimento dos critérios regulares de projeto, para posteriormente desenvolver e avaliar várias alternativas. Em seguida, avaliam-se o risco e as medidas de mitigação, e elabora-se a documentação que deve conter a análise e aprovação da medida. Por fim, faz-se o monitoramento e avaliação da solução adotada.

Alcançar uma solução de projeto sensível ao contexto requer que os projetistas compreendam as razões dos processos, valores, concepção e procedimentos do projeto. De fato, a implementação bem sucedida de soluções sensíveis ao contexto será largamente baseada nas competências e habilidades dos profissionais para incorporar os princípios de projeto sensível ao contexto de cada etapa do processo de desenvolvimento do projeto.

2.2 PROJETO DE RODOVIAS QUE PERDOAM

A visão de rodovias seguras ou de rodovias que perdoam, chamadas nos Estados Unidos como “forgiving roads”, é uma nova maneira de conceber os projetos de infraestrutura de rodovias (Herrstedt, 2006). O objetivo dos projetos de uma rodovia que perdoa é transformar as rodovias em estradas mais amigáveis e ajudar os usuários a conduzir seus veículos de forma segura.

2.2.1 Características gerais

A análise de acidentes nas rodovias, em especial aqueles que ocorrem com saídas de pista involuntárias, aponta o papel preponderante dos fatores humanos, seguido dos componentes envolvendo a rodovia, o meio ambiente e o veículo (Nodari, 2003). Quanto aos fatores humanos, esses são caracterizados pelo comportamento inadequado do ser humano, como por exemplo, erro de reconhecimento e identificação (sinais, distâncias e obstáculos), erro de processamento, erro de tomada de decisão, ou erro na execução da manobra (Austroads, 1994 *apud* Nodari, 2003).

Nesse sentido, Rodrigues (2010) argumenta que o motorista sempre cometeu e vai continuar cometendo erros. Assim, a rodovia e as suas áreas laterais precisam ser projetadas de modo a prevenir os acidentes contra objetos rígidos (árvores, postes de iluminação e sinalização, pilares de pontes, elementos de drenagem, taludes íngremes, etc.). Desse modo, a força de impacto da colisão pode ser suportada pelo veículo e impedir que os ocupantes sofram danos sérios (Rodrigues, 2010).

No Brasil, a NBR 15486 (ABNT, 2007), publicada em 2007, trouxe o conceito de rodovia que perdoa, sendo esse usado para minimizar a gravidade dos acidentes. A Norma estabelece diretrizes para os projetos de dispositivos de contenção viária. Segundo Rodrigues (2010) essa é a primeira norma que “aproxima o Brasil dos países mais desenvolvidos” ao incorporar a preocupação com a segurança viária.

Esse conceito torna possível um tratamento da “pista de rolamento e das laterais das vias”, de tal maneira que veículos desgovernados, que saiam da pista de rolamento, encontrem uma lateral projetada para reduzir as consequências do incidente (ABNT, 2007). Um elemento-chave desse conceito são as “zonas livres” dentro das quais o motorista pode retomar o controle do veículo e voltar à pista ou atingir uma velocidade de desaceleração significativa antes de bater em um objeto fixo. Adicionalmente, nos locais onde os obstáculos fixos da “zona livre” não podem ser removidos ou modificados, a solução seria proteger os obstáculos com objetivo de reduzir a gravidade dos acidentes. Assim, o fato de acidentes terem como causa original uma falha do motorista não isenta o operador da via e

construtor da rodovia da responsabilidade, caso o acidente seja agravado devido à falta de proteção em determinadas circunstâncias.

2.2.2 Medidas para melhorar a segurança viária

Segundo a TRB (2004), os meios para tornar um entorno viário (áreas lindeiras à rodovia) tolerante e amigável são: remoção de obstáculos; tornar os obstáculos traspassáveis; realocar o obstáculo para um local com menos chance de ser atingido; reduzir a severidade do impacto com materiais quebráveis/deformáveis (colapsível); proteger o obstáculo com barreiras ou atenuadores de impacto; e delinear o obstáculo para torná-lo mais previsível.

A NBR 15486 (ABNT, 2007), aborda medidas corretivas para serem adotadas em novos projetos viários, duplicações, reconstruções ou adequações. Das diretrizes abordadas na Norma, visando à segurança viária, destacam-se os apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Diretrizes para promoção da segurança viária

Elemento	Definição	CrITÉrios/Medidas
Faixa livre (área livre ou zona livre)	Faixa adjacente à rodovia e ao longo de sua extensão, livre de obstáculos não traspassáveis.	Para velocidade ≥ 60 km/h: - trechos em tangente, largura de aproximadamente 9m além da pista de rolamento; - trechos em curva, largura definida em função da velocidade de projeto, raio da curva, volume diário médio (VDM) e inclinação dos taludes na lateral da curva (ver Apêndice D).
Obstáculos fixos	Obstáculos não traspassáveis: poste de iluminação; árvores; estruturas de drenagem, etc.	- remover o obstáculo; - redesenhar o obstáculo; - relocar o obstáculo para um lugar onde a possibilidade de ser atingido seja menor; - reduzir a severidade do impacto utilizando um dispositivo colapsível; - proteger do perigo do obstáculo com dispositivo de contenção lateral ou com um dispositivo amortecedor de impacto; e - sinalizar o obstáculo, caso nenhuma das alternativas retro mencionadas seja possível de aplicação.

Tabela 2.1 – Diretrizes para promoção da segurança viária (continuação)

Elemento	Definição	Crítérios/Medidas
Taludes de aterro	Recuperáveis: declividade 1V:4H ou mais plano, livre de obstáculos	Não há necessidade de dispositivos de contenção.
	Não recuperáveis: declividade entre 1V:4H e 1V:3H e livre de obstáculos	Projetar dispositivos de contenção próximos a via, caso não exista área de escape após o talude.
	Críticos: declividade superior a 1V:3H	Proteger com dispositivos de contenção.
Taludes de Corte	Taludes em rocha são considerados perigosos quando a superfície não promover um redirecionamento suave do veículo à via.	Proteger com dispositivos de contenção ou corrigir a superfície.
Taludes Transversais	Taludes atingidos de frente pelos veículos errantes	Para velocidade ≥ 70 km/h a inclinação do talude deve ser de 1V:6H ou mais suave.
Estruturas de drenagem	Guias, linhas de tubos transversais e paralelas, caixas de inspeção e sarjetas.	- eliminar as estruturas não essenciais; - projetar ou modificar estruturas de drenagem de modo que sejam traspassáveis (grelhas metálicas) ou que apresentem a mínima obstrução; - verificar se o projeto das sarjetas devem ou não ser redesenhadas (ver Apêndice D).
Canteiros centrais	Estreitos e que ligam pistas próximas em desnível	Proteger com dispositivos de contenção central

Fonte: Adaptada de ABNT (2007)

De forma a criar valores padronizados para as rodovias federais, DNIT (2010d) recomenda usar os seguintes valores para a largura da zona livre, apresentados na Tabela 2.2 .

Tabela 2.2 – Largura da Zona Livre (m) em trechos em tangente

VDM	Velocidade de Projeto (km/h)		
	60	80	100
Até 6000	4,0	5,0	8,3
Maior que 6000	4,7	5,6	9,0

Fonte: DNIT (2010d)

Nas curvas horizontais, DNIT (2010d) recomenda aumentar a largura da zona livre em 20% em relação aos valores da Tabela 2.2, conforme os apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Largura da zona livre (m) em curvas com raio menor que 800m

VDM (veículos)	Velocidade de Projeto (km/h)		
	60	80	100
Até 6000	4,8	6,0	10,0
Maior que 6000	5,6	6,7	10,8

Fonte: DNIT (2010d)

Além dos elementos referidos na Tabela 2.1, a ABNT (2007) dedica especial atenção aos chamados sistemas de contenção lateral. Esses sistemas são utilizados para conter e redirecionar veículos descontrolados quando estes saem da rodovia, de modo a não atingir objetos fixos ou áreas perigosas. São necessários apenas quando puderem reduzir a severidade dos acidentes que eventualmente venham a ocorrer, garantida a condição de que o impacto contra a barreira de proteção tenha consequências menos graves do que atingir um objeto fixo, uma área acidentada ou usuário vulnerável. Os fatores a serem considerados na determinação da necessidade de contenção lateral são a altura e declividade dos taludes, presença de pedestres e ciclista próximos à rodovia e, também, obstáculos laterais nas vias (ver Apêndice D).

Em se verificando a necessidade de proteção, deve-se, então, selecionar o tipo de sistema de contenção a adotar, que pode ser de três tipos: flexível, que dissipa mais energia do impacto para a barreira de proteção (barreiras de cabos, defensas metálicas e barreira de madeira reforçada com aço, etc.); semi-rígido (viga caixote, defesa metálica de dupla e tripla onda, etc.); e rígido (barreira New Jersey, barreira tipo F, etc.). A implantação, de qualquer um dos tipos de sistema de contenção lateral escolhido, deve ser executada o mais longe possível da pista de rolamento, ter um afastamento uniforme dos elementos laterais em relação ao tráfego e observar o espaço de trabalho (deflexão) da barreira escolhida. Por fim, o comprimento necessário de um sistema de contenção lateral deve ser calculado, visando determinar um comprimento de barreira que detenha a trajetória do veículo para um ângulo de impacto máximo de 15 graus e de tal maneira que o veículo não atinja o obstáculo (ver Apêndice D).

Outros elementos importantes a serem considerados no projeto de uma rodovia são:

a) Suportes de sinalização, iluminação e semáforos – esses devem resistir às cargas de incidência e devem ser implantados atrás de dispositivos de contenção existentes ou em áreas inacessíveis ao fluxo de veículos. Onde isso não for possível, dispositivos colapsíveis devem ser usados. Caso contrário, se o uso de suportes colapsíveis não for possível, então uma barreira adequada deve ser implantada, ou dispositivo amortecedor de impacto. ABNT (2007) observa que a parte remanescente de um suporte colapsível após o impacto deve ter dimensão vertical máxima de 100cm . As Figuras 2.3 e 2.4 apresentam, respectivamente, os suportes de sinalização quebrável (colapsível) e não quebrável.



Figura 2.3 - Suporte colapsível



Figura 2.4 - Falta de suportes colapsíveis

b) Contenção central: devem atender aos mesmos requisitos e recomendações de implantação e dimensionamento que os dispositivos de contenção lateral. Para fins de verificar a necessidade de implantação de contenção central em rodovia com canteiros centrais que podem ser atravessados, ABNT (2007) recomenda o uso de um ábaco (ver Apêndice D).

c) Árvores com diâmetro maior que 10cm dispostas nas laterais da via, que se constituem em obstáculos fixos. O projetista deve providenciar medidas para reduzir a propensão de acidentes com árvores e buscar, no contexto de um ambiente sensível, identificar árvores mais susceptíveis de apresentar uma ameaça significativa em acidentes e então indicar como necessária sua remoção (AASHTO, 2004).

Em locais onde há numerosas quantidades de árvores, a remoção de árvores isoladas pode não reduzir significativamente o risco de acidentes. No entanto, as árvores isoladas visivelmente mais perto da pista e dentro da faixa de domínio podem ser as principais candidatas à remoção. Outra opção pode ser a instalação de barreiras (defensas) na estrada e somente devem ser usadas quando houver indícios de que colisão com árvores possa ocorrer com maior gravidade do que com outros obstáculos.

Um exemplo de aplicação de uma rodovia sensível ao contexto das rodovias que perdoam pode ser visualizado na Figura 2.5 que mostra a aplicação de alguns dos importantes dispositivos de contenção. A Figura 2.6 mostra um contra exemplo das rodovias que perdoam.

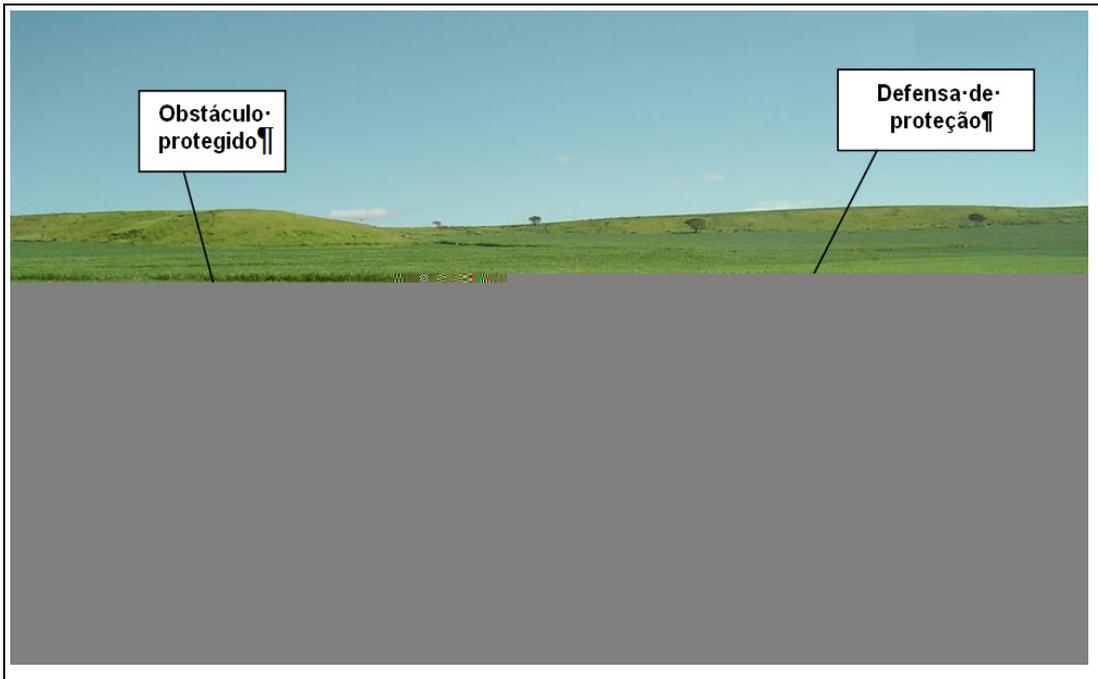


Figura 2.5 - Rodovia que perdoa (tolerante)
Fonte: Adaptada de Missato (2010)



Figura 2.6 - Rodovia que não perdoa (não tolerante)
Fonte: Adaptada de Missato (2010)

2.3 TÓPICOS CONCLUSIVOS

Atualmente, a segurança viária é uma das grandes preocupações dos gestores do sistema rodoviário e da população em geral. Países desenvolvidos, como Estados Unidos e Japão, já agem há alguns anos na busca da qualificação de seus sistemas viários, quanto à segurança (FHWA, 2007). Isto se deve a percepção dos elevados custos sociais inerentes aos acidentes de trânsito.

Assim, é importante um olhar crítico para a via e o meio ambiente, já que muito tem sido feito para melhorar o comportamento dos condutores no trânsito e também ao implantar dispositivos de segurança nos veículos para aumentar as condições de segurança oferecidas aos ocupantes. A visão das rodovias que perdoam e flexibilidade no projeto rodoviário são opções a considerar com vistas à promoção da segurança dos usuários das vias.

Flexibilidade no projeto de rodovias é o processo que permite aos projetistas adequar os projetos às situações específicas encontradas em cada ambiente em que a rodovia irá se inserir. O projetista usa o seu conhecimento e julgamento para conceber as vias em harmonia com o ambiente natural, de modo a garantir um funcionamento eficiente com segurança operacional e dentro dos critérios estabelecidos pelas normas de projetos rodoviários.

A decisão final sobre o uso de flexibilidade em projetos é de competência dos gestores e gerentes de projeto. Cada situação deve ser avaliada para determinar as possibilidades que são apropriadas para cada projeto em particular. Gestores são incentivados a permitir que os projetistas trabalhem com uma equipe multidisciplinar (engenheiros, arquitetos, urbanistas, geólogos, historiadores e etc.) para desenvolver as melhores opções de traçado (FHWA, 2004).

Outra visão a ser considerada na segurança viária são as rodovias que perdoam. Essas são projetadas de forma a proporcionar condições de recuperação aos veículos desgovernados visando à redução dos acidentes de trânsito e, quando estes ocorrem, minimizar as consequências (Nodari, 2003). Desse modo, as laterais das rodovias devem ser projetadas para prevenir os acidentes contra objetos rígidos e taludes íngremes.

Dentre as medidas corretivas adotadas para melhorar a segurança nas laterais da via, destacam-se: implantação das zonas livre de obstáculos não traspassáveis; remoção e realocação dos obstáculos fixos; uso de defensas metálicas e de concreto; atenuadores de impacto; uso de suportes colapsíveis; coberturas de valetas transponíveis, etc.

Por fim, acidentes rodoviários podem ser evitados com projeto de rodovia melhor planejado e executado, decorrente de uma sistemática de identificação e adoção de elementos que melhorem a segurança viária. Os projetistas devem não só buscar a fluidez do tráfego nos projetos de rodovias, mas também procurar tornar as estradas mais seguras, com o objetivo de reduzir a gravidade dos acidentes, e ainda projetar “estradas tolerantes” no contexto das rodovias que perdoam eventuais erros ou distrações dos motoristas.

3 MÉTODOS PARA VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA DE RODOVIAS

Diferentes métodos são hoje utilizados para promover e verificar a segurança a ser oferecida pela via aos usuários, tais como: Análise da consistência geométrica, Software IHSDM, Método do Índice de Segurança (ISP) e Auditoria de Segurança Viária. Nos próximos itens, esses métodos serão apresentados e avaliados com relação à aplicabilidade na fase de projeto.

3.1 ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA GEOMÉTRICA

A consistência geométrica é uma técnica há muito tempo estudada e utilizada para analisar as condições operacionais de rodovias. Trata-se de assunto de grande importância por estar relacionado a aspectos de segurança de tráfego e, portanto, capazes de oferecer conforto e proteção aos usuários. Na medida em que há equilíbrio e harmonia entre as características geométricas de uma rodovia, há mais segurança na trafegabilidade da rodovia e menor risco de acidentes (Marques, 2009).

Garcia (2008) define consistência geométrica de um traçado como “a disposição harmônica e equilibrada entre as características geométricas que compõem uma rodovia”. Sua análise pode ser realizada tanto na fase de projetos quanto na fase de operação de rodovias rurais. O primeiro caso tem por objetivo permitir adequações na geometria projetada para prevenir a ocorrência de acidentes e o segundo visa subsidiar ações mitigadoras para a redução dos acidentes de trânsito observados em rodovias em operação.

Assim, um projeto consistente é aquele em que a geometria e o ambiente da via não violam qualquer expectativa ou a habilidade do motorista para conduzir e controlar um veículo de forma segura e previsível. Vários fatores influenciam o tipo de condução, velocidade e o risco que o condutor pretende assumir, tais como: características geométricas longitudinais de uma seção da via; largura da faixa de rodagem; pavimento da rodovia e o estado de conservação; largura do acostamento; distância de visibilidade; volume, natureza e tipo de tráfego; interseções existentes e os acessos marginais; e o componente meio ambiente onde a estrada está integrada.

Geralmente, os motoristas cometem menos erros quando as características geométricas da rodovia estão de acordo com suas expectativas (FHWA, 2000). Quando a expectativa de um motorista é incorreta, ou o motorista demora mais para responder corretamente a uma situação não prevista, ele pode responder de forma errada.

Segundo estudo da FHWA (2000) os métodos para avaliar a consistência do projeto geométrico podem ser agrupados nas seguintes áreas: operação do veículo quanto à velocidade e à dinâmica; geometria da rodovia; carga de trabalho dos motoristas, que permite analisar o tempo de resposta dos condutores às mudanças de traçado; e listas de verificação quanto à consistência de projeto. Quanto aos métodos baseados na velocidade, estes são utilizados para verificar inconsistências no projeto, por meio da utilização da velocidade de operação (V85) e têm como foco a observação do comportamento dos veículos nas curvas dos alinhamentos horizontal e vertical. Os principais métodos desenvolvidos, a partir de 1970, para analisar a consistência do traçado geométrico estão resumidos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Métodos para a análise da consistência de projeto geométrico

Métodos	Características
Suíça (1970)	<ul style="list-style-type: none"> • Tangentes são elementos dinâmicos • $(V_{85,i} - V_{85,i+1}) \leq 20\text{km/h}$
Alemanha (1970)	<ul style="list-style-type: none"> • $V_{85} = f(\text{CCR})$ • Tangentes são elementos dinâmicos
Leisch e Leisch (1977)	<ul style="list-style-type: none"> • $V_{85} = f(\text{grau da curva})$, em curva e tangentes; • Considera desempenho dos caminhões nas rampas.
Austrália (1980)	<ul style="list-style-type: none"> • Análise do ambiente de velocidades; • Ambiente de velocidades – $V_{85} < 10\text{km/h}$
Messer (1980)	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de reação corrigido
Krammes et al (1995)	<ul style="list-style-type: none"> • $V_{85} = f(\text{grau da curva})$ • Tangentes são elementos dinâmicos • Velocidade de desejo
Crítérios de Segurança (Lamm et al, 1998)	<ul style="list-style-type: none"> • Crítérios de segurança I, II e III; • Ponderação entre os critérios • $V_{85} = f(\text{grau da curva})$ • Tangentes são elementos dinâmicos
IHSDM (Fizpatrick et al, 2000)	<ul style="list-style-type: none"> • $V_{85} = f(\text{alinhamentos horizontal e vertical})$ • Tangentes são elementos dinâmicos • Aceleração e desaceleração = $f(\text{alinhamentos horizontal e vertical})$

Legenda: i= número de referência da tangente considerada; CCR= taxa de variação da curvatura (gon/km)

Fonte: Adaptada de Trentin (2007)

A maioria desses métodos utiliza modelos para estimar o comportamento do condutor diante de diversas condições geométricas da via e permitem estimar as velocidades empregadas ao longo da via.

3.1.1 Velocidades de projeto e de operação

A utilização das velocidades de projeto e de operação têm sido implementadas em vários países quando se trata da análise da consistência de projeto (Trentin, 2007), conforme indicado na Tabela 3.1. Neste contexto, a velocidade operacional é representada pelo percentil 85 (V85) da velocidade de uma amostra de veículos “em um particular segmento geométrico característico” (AASHTO, 2001), trafegando em regime de fluxo livre (quando a velocidade é condicionada apenas pelas condições geométricas da via, não sendo afetada pela presença de outros veículos). Esta medida pode ser usada na avaliação da consistência, examinando as disparidades entre velocidade de projeto (Vd) e V85, ou examinando as diferenças na V85 em elementos sucessivos da estrada ($\Delta V85$) (Hassan, 2004).

Os critérios propostos por Lamm et al (1998) para a classificação de projetos rodoviários quanto à consistência geométrica levam em conta as velocidades de projeto e de operação. O trabalho de Lamm et al (1998) foi utilizado no desenvolvimento do software “Interactive Highway Safety Design Module – IHSDM” (FHWA, 2011).

3.1.2 Dinâmica do Veículo

Na categoria dinâmica do veículo a atenção é dada, mais especificamente, para a estabilidade do veículo nas curvas horizontais e, portanto, ao atrito lateral e projeto da superelevação da pista de rolamento (Roberti, 2007). Para o projeto de estrada ser consistente e assegurar estabilidade ao veículo e conforto ao motorista, ele deve fornecer o atrito lateral exigido para contrabalançar as forças centrífugas (Hassan e Awatta, 2002).

3.1.3 Geometria da rodovia

Alguns métodos de avaliação da consistência focam diretamente na geometria viária. A FHWA (2000), em estudo realizado, analisou o alinhamento horizontal e vertical como um dos métodos alternativos para avaliação da consistência de projeto rodoviário.

A FHWA (2000 *apud* Garcia, 2008) recomenda a classificação de rodovias por meio da análise da diferença entre velocidades operacionais de elementos planimétrico sucessivos, curvas e tangentes, como a técnica que melhor indica problemas de segurança.

3.1.4 Carga de trabalho dos motoristas

O condutor continuamente processa informações visuais, toma decisões e realiza movimentos de controle (FHWA, 2000). Quando o motorista é experiente, pouca capacidade de processamento de informação visual é exigida para executar a tarefa de conduzir. Assim, a tarefa é realizada quase em um nível subconsciente desde que a estrada esteja livre de tráfego e obstáculos. A consistência da geometria viária permite ao motorista prever com precisão o caminho correto e usar o mínimo de informação visual, permitindo assim que a atenção possa ser dedicada para desviar de obstáculos e manter a direção.

A carga de trabalho é uma medida de esforço do condutor para a realização de tarefas na rodovia que exigem a atenção do mesmo. Um método para avaliar a consistência dos projetos de rodovias é examinar a carga de trabalho do motorista, utilizando as medidas de informações demandadas pela geometria da via ao condutor durante o percurso.

Em comparação com as outras medidas de avaliação da consistência de projeto, a avaliação da carga de trabalho do motorista, segundo Hassan (2002), é muito mais complexa. Messer (1980 *apud* Trentin, 2007) analisou a carga de trabalho do motorista ao determinar a consistência do projeto geométrico da estrada diante das medidas de informação exigidas pela geometria da via ao motorista durante o percurso. Na Tabela 3.2 é indicado o resultado do método determinado por Messer, onde o nível de consistência A indica a situação mais favorável e o F a pior situação.

Tabela 3.2 - Nível de consistência x Tempo de reação

Expectativa do Motorista	Nível de consistência	Tempo de reação corrigido (segundos)
Nenhum problema é esperado	A	≤ 1
	B	≤ 2
Algumas surpresas são possíveis	C	≤ 3
	D	≤ 4
	E	≤ 5
É possível um grande problema	F	>6

Fonte: Adaptada de Messer (1980 *apud*, Trentin 2007)

Pelo método de Messer, quanto menor o tempo de reação do motorista diante de um elemento geométrico, menor a carga de trabalho do condutor e melhor a consistência do projeto geométrico da estrada e vice-versa.

3.1.5 Listas de Verificação

A AASHTO, após uma pesquisa realizada em 13 Estados dos EUA (Estados Unidos da América), com diversos condutores, preparou uma lista de verificação (checklist) para verificar a consistência de projeto (FHWA, 2000). A pesquisa acompanhou os motoristas, observou seu comportamento e, além disso, realizou questionários e entrevistas.

A lista consiste de itens do projeto rodoviário para serem examinados, com o objetivo de evitar esquecimentos e falhas, e em se verificando possíveis falhas, o projetista buscará solucionar o problema ou então aplicar tratamentos atenuantes. A Tabela 3.3 apresenta os itens, propostos pela FHWA (2000), a serem checados, com a finalidade de encontrar problemas relacionados com a rota/percurso e ajudar a detectar problemas relacionados com determinadas características geométricas.

Tabela 3.3 - Revisão dos fatores quanto à consistência de projeto

Itens a considerar na revisão geral		
Sinalização	Iluminação	Pavimentação da rodovia
Geometria	Terreno	Distância de visibilidade
Área lindeira	Tráfego	Sinais de advertência e de regulamentação
Guias de sinalização	Tipo de rodovia	Tempo/clima
Análise dos detalhes		
Expectativas quanto a condução	Expectativas quanto a orientação	Características especiais

Fonte: Adaptada de FHWA (2000)

3.2 SOFTWARE INTERACTIVE HIGHWAY SAFETY DESIGN MODULE - IHSDM

O IHSDM é um *software* utilizado para avaliar a segurança e os efeitos operacionais do projeto geométrico de rodovias (FHWA, 2011). O IHSDM é uma ferramenta de apoio à tomada de decisão que permite estimar o desempenho de um projeto quanto à segurança viária a ser oferecida aos usuários. Resumindo, o *software* pode ser utilizado tanto na fase de projeto como em rodovias já implantadas, com a finalidade de: avaliar o projeto geométrico antes da efetiva implantação, com a entrada de dados relacionados com as características geométricas da via; analisar rodovias existentes com o objetivo de identificar os pontos críticos e avaliar projetos alternativos; e avaliar as rodovias implantadas ao permitir a inclusão de dados adicionais, como o volume diário médio e dados de acidentes, de forma a refinar as estimativas (Garcia, 2008).

Essa ferramenta foi desenvolvida pela Federal Highway Administration (FHWA) e está disponível na versão 6.00, de 15 de julho de 2010, podendo ser baixada gratuitamente por meio do site <http://www.ihsdm.org>. Atualmente, o IHSDM tem dois módulos, um para a análise de rodovias e outro para análise de interseções. Na Figura 3.1 está representado o esquema desses módulos.

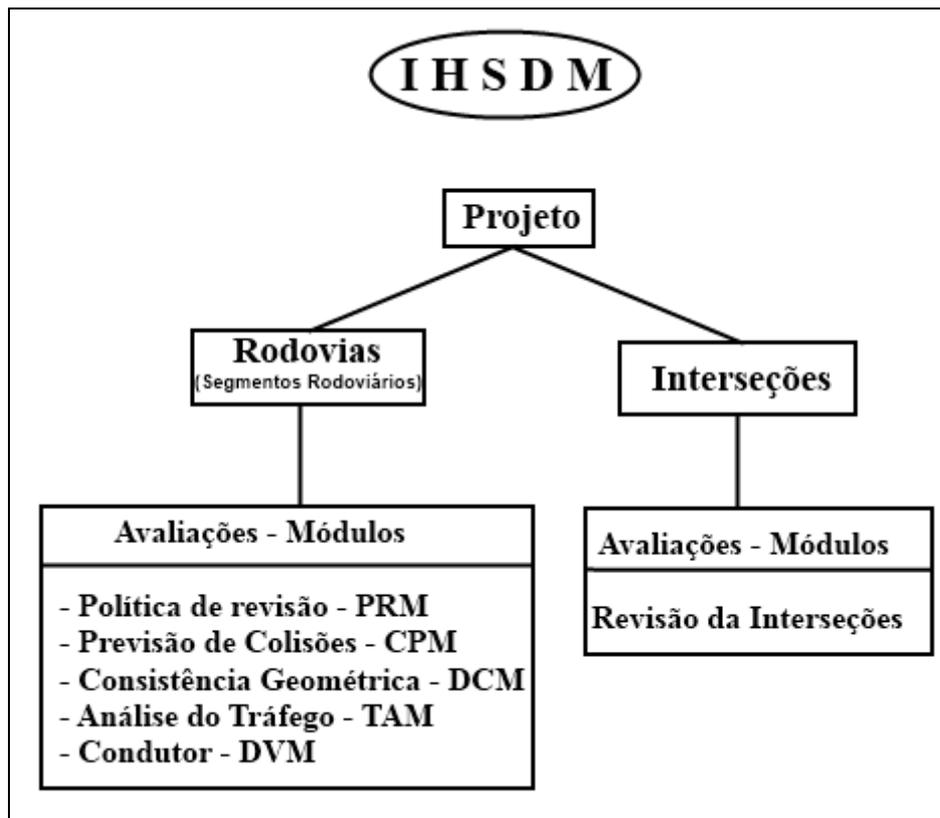


Figura 3.1 - Esquema dos módulos do software IHSD

Fonte: Adaptada de FHWA (2011)

Os módulos têm as seguintes finalidades, segundo FHWA (2011):

- **PRM** (*Policy Review Module*) - este módulo analisa o projeto de uma rodovia segundo a norma AASHTO (1994). De acordo com FHWA (2011), é possível alterá-lo conforme as normas de outros países. O módulo estabelece, identifica e aponta os elementos de projeto que não alcançaram os níveis mínimos exigidos pela norma
- **CPM** (*Crash Prediction Module*) – este módulo permite estimar dados referentes à segurança viária ao emitir relatório com informações referentes a frequências de acidentes esperados e sua gravidade. Para emitir tal relatório, este módulo, utiliza dados da geometria da via, volume diário médio - VDM, características do entorno, interseções e distribuição do tráfego. Este módulo pode ser calibrado conforme as estatísticas de acidente de cada país.
- **DCM** (*Design Consistency Module*) – este módulo analisa a consistência geométrica da rodovia, a partir da estimativa da velocidade operacional, utilizando modelos matemáticos,

que é comparada com a velocidade de projeto. O módulo utiliza os critérios de segurança I e II para a verificação da consistência geométrica.

- TAM (*Traffic Analysis Module*) - permite analisar o nível de serviço oferecido pela rodovia.
- DVM (*Driver Vehicle Module*) – permite analisar o comportamento do condutor por meio da simulação dos processos perceptivos, cognitivos e de controle do motorista. O objetivo principal é permitir ao projetista avaliar o modo como o motorista conduz o veículo através de um projeto geométrico e, identificar se existem condições que podem resultar em perda de controle do veículo, tais como: derrapagem ou capotagem.
- IRM (*Intersection Diagnostic Review Module*) - é o módulo que permite a análise dos elementos geométricos de uma interseção a fim de um esperado nível de operação e segurança.

Um aspecto importante a ser observado, é que o IHSDM foi concebido como uma ferramenta complementar no processo de desenvolvimento do projeto geométrico de uma rodovia e, como tal, não foi idealizado para julgar os projetos de rodovias e nem para ser utilizado como uma exigência normativa. A ferramenta é destinada a ajudar o engenheiro qualificado na revisão das características dos elementos geométricos dispostas nos manuais sobre projetos rodoviários (FHWA, 2011).

3.3 MÉTODO DO ÍNDICE DE SEGURANÇA POTENCIAL (ISP)

O Índice de Segurança Potencial (ISP) foi desenvolvido por Nodari (2003) com a finalidade de elaborar um método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais pavimentados de pista simples. O método foi subdividido em dois módulos. O primeiro foi para a estimação da segurança, que resultou na elaboração do ISP e o segundo consistiu na elaboração de um procedimento para coleta de dados em campo para o cálculo do ISP.

O ISP identifica segmentos críticos de rodovias de pista simples a partir da análise de nove macrocategorias, que representam as características físicas da via, tais como: superfície do

pavimento, curva, interseções, sinalização horizontal e vertical, elementos longitudinais, seção transversal, usuários vulneráveis, laterais da rodovia e elementos gerais. Para a identificação das principais características físicas da rodovia, que influenciam as condições de segurança ofertadas aos usuários, Nodari (2003) pesquisou os *checklists* usados em Auditorias de Segurança Viária (ASV) de diversos países. Os *checklists* utilizados nas ASV serão abordados no item seguinte deste Capítulo.

As macrocategorias com as respectivas características que compõem o ISP estão indicadas na Tabela 3.4. Na referida tabela também são apresentados os pesos relativos de cada categoria obtidos por meio da consolidação dos níveis de influência atribuídos pelos quatro grupos de profissionais entrevistados na fase de elaboração do método (especialistas nacionais, especialistas internacionais, projetistas e policiais rodoviários).

Tabela 3.4 – Macrocategorias, características rodoviárias e respectivos pesos relativos

Macrocategorias	Características rodoviárias		Pesos relativos *
Superfície do pavimento	1	Buracos na pista	0,198
	2	Resistência à derrapagem	0,211
	3	Formação de espelhos d' água	0,217
	4	Eliminação cascalho solto na pista	0,189
	5	Desnível entre faixa e acostamento	0,184
	SOMA		1,000
Curva	6	Suavização de curvas horizontais	0,194
	7	Adoção de superlargura	0,194
	8	Adoção de superelevação	0,212
	9	Incidência de curvas (tortuosidade)	0,184
	10	Combinação entre alinhamento horizontal e vertical	0,216
	SOMA		1,000
Interseção	11	Projeto (Faixas adicionais e canalizações)	0,519
	12	Iluminação artificial nas interseções	0,481
	SOMA		1,000
Sinalização vertical e horizontal	13	Linhas demarcadoras das faixas de rolamento	0,176
	14	Uso de tachas refletivas nas linhas	0,165
	15	Credibilidade da sinalização vertical e horizontal	0,172
	16	Quantidade adequada de placas de sinalização	0,162
	17	Uso de balizadores	0,163
	18	Legibilidade e conspicuidade da sinalização vertical	0,163
	SOMA		1,000

Tabela 3.4 – Macrocategorias, características rodoviárias e respectivos pesos relativos (continuação)

Macrocategorias	Características rodoviárias		Pesos relativos *
Elementos longitudinais	19	Suavização de rampas	0,283
	20	Oportunidades de ultrapassagem	0,342
	21	Distâncias de visibilidade	0,375
	SOMA		1,000
Seção transversal	22	Larguras das faixas e acostamentos	0,272
	23	Pavimentação dos acostamentos	0,247
	24	Taludes laterais suaves	0,222
	25	Largura da faixa e acostamentos em pontes	0,252
	SOMA		1,000
Usuários vulneráveis	26	Tráfego de ciclistas/pedestres	0,489
	27	Travessias para pedestres	0,511
	SOMA		1,000
Laterais da Via	28	Presença de elementos perigosos na lateral da via	0,343
	29	Acessos a propriedade e comércio lindeiro	0,332
	30	Localização e layout de pontos de ônibus	0,325
	SOMA		1,000
Elementos Gerais	31	Quantidade de outdoors comerciais	0,203
	32	Transição entre ambientes rural/urbano	0,259
	33	Compatibilidade entre velocidade regulamentada e diretriz	0,270
	34	Proteção contra a invasão de animais de grande porte	0,268
	SOMA		1,000
* Pesos relativos das características dentro da macrocategoria			

Fonte: Nodari (2003)

A formulação do ISP global do trecho é obtida a partir da consolidação dos nove ISP parciais. Cada ISP parcial decorre da combinação das características de cada macrocategoria e é o produto entre o peso e a nota de cada característica da macrocategoria. O ISP parcial, global por trecho, e global por segmento, têm suas fórmulas apresentadas nas Equações 3.1, 3.2 e 3.3. A Equação 3.1 permite o cálculo do ISP para um determinado trecho de acordo com uma dada macrocategoria constituída por “m” características. A Equação 3.2 permite o cálculo do ISP para o trecho, calculado como a média geométrica dos ISPs determinados para cada uma das 9 macrocategorias. Finalmente, o ISP global do segmento em análise é obtido por meio da Equação 3.3, que consiste na média geométrica dos ISPs determinados para cada trecho que compõe o segmento.

$$ISP_{parcial} = \sum_{i=1}^m (p_i \times n_i) \quad (\text{Equação 3.1})$$

$$ISP_{global / trecho} = \sqrt[9]{\prod ISP_{parcial}} \quad (\text{Equação 3.2})$$

$$ISP_{global / segmento} = \sqrt[ns]{\prod ISP_{global / trecho}} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Onde:

p - peso relativo da característica i da macrocategoria considerada;

m - número de características da macrocategoria considerada;

ni - nota referente à característica i da macrocategoria considerada, resultante de inspeção de campo que varia entre 10 (não existe o “problema” descrito) e 1 (existe uma grande quantidade do “problema” descrito);

ns - número de segmentos que compõem o trecho avaliado;

$ISP_{parcial}$ - IPS para cada macrocategoria;

$ISP_{global/trecho}$ - IPS para cada trecho;

$ISP_{global/segmento}$ - quando o segmento é dividido em n trechos.

O valor do ISP varia de 1 a 10 e quanto menor o valor do ISP, o segmento é considerado “potencialmente inseguro” e, vice-versa, quanto maior o valor do ISP, mais potencialmente seguro é o segmento (Nodari, 2003). Nesse sentido, o ISP tem como objetivos identificar o perfil de segurança potencial de um segmento rodoviário e atuar nos trechos mais desfavoráveis, considerados “potencialmente inseguros”, para a segurança viária. Por fim, Nodari (2003) sugere que o ISP deve ser considerado uma ferramenta de gerenciamento pró-ativo da segurança rodoviária e não uma ferramenta para previsão de acidentes rodoviários.

3.4 AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA PARA PROJETO

A ASV visa identificar as deficiências de segurança da via que possam vir a causar acidentes, e tem por objetivo: evitar a ocorrência ou reduzir a severidade dos acidentes; diminuir a correção de trabalhos futuros nas rodovias; reduzir os custos com os acidentes, com manutenção da infraestrutura e com modificações propostas relativas à segurança

viária após a construção da rodovia; e difundir o conceito e a importância da segurança viária nas equipes de planejadores, projetistas, construtores e mantenedores (Pedroso et al, 2005).

A conceituação da ASV ocorreu no final do século passado e tem produzido significativos resultados nos países em que foi introduzida, especialmente no Reino Unido, Austrália e Nova Zelândia. Internacionalmente, a ASV é referenciada como uma técnica que busca evitar que os acidentes ocorram, por meio da utilização de avaliações formais direcionadas às questões de segurança, desde a fase de concepção até a operação de projetos viários (Nodari, 2003).

A avaliação formal é baseada no uso de listas de verificação (*checklists*) ou listas de alerta (*prompt lists*), para encontrar os problemas que potencializam acidentes, e também no conhecimento dos auditores. Os checklists contêm várias características relacionadas à rodovia e devem ser consideradas quando da avaliação de uma via. As listas de verificação podem ser utilizadas em qualquer fase em que se encontra um projeto de rodovia.

O Brasil iniciou o processo de Auditoria de Segurança Viária em meados dos anos 90, visando diminuir seus altos índices de acidentalidade (Lopes e Martinez Filho, 2010). Contudo, segundo estudos realizados por Rodrigues (2010) e Nodari (2003), no Brasil poucos projetos rodoviários são auditados quando comparado com países mais avançados como é o caso dos Estados Unidos, Austrália e de Nações Européias. A exceção a regra são as rodovias brasileiras concedidas, em que as concessionárias, responsáveis pela manutenção e operação das vias, estão utilizando a ASV como estratégia para redução e prevenção de acidentes (Bornsztajn, 2001 *apud* Nodari, 2003).

Nos itens seguintes serão discutidos os métodos de ASV adotados pela AUSTROADS, FHWA e a técnica Irlandesa (NRA).

3.4.1 Técnica aplicada na Austrália – AUSTROADS

Segundo AUSTROADS (2009), a ASV pode ser aplicada em vários estágios que incluem desde a viabilidade do projeto, projeto preliminar, projeto definitivo, pré-abertura dos projetos novos ou período de construção e até para via em operação e sua manutenção. Os

quatro primeiros estágios referem-se a projetos novos e visam introduzir alterações para a melhoria de características de segurança antes do início das operações da via. Já o último estágio, é necessário tendo em vista que as condições de segurança dos ambientes viários são alteradas ao longo ao tempo. Cada estágio tem as características como descritas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5– Estágios e características da Auditoria de Segurança Viária

Estágio	Característica
01 – Viabilidade do Projeto	- Avalia a influência nas decisões sobre a escolha de rotas e tratamento a ser dado em interseções. - Analisa a compatibilidade entre a classe proposta para a via e a demanda de tráfego projetada.
02 – Projeto Preliminar	- Avalia o alinhamento horizontal e vertical, largura das faixas e dos acostamentos, superelevações, dispositivos de sinalização e proteção, facilidades para pedestres e ciclistas.
03 – Projeto Definitivo	Avalia as características do projeto geométrico, projeto de sinalização e marcação das vias, projeto de iluminação, drenagem e defensas. Nos casos de projetos desenvolvidos por mais de uma empresa, avalia-se a existência de uniformidade na aplicação dos padrões.
04 - Pré-abertura dos Projetos Novos ou Período de Construção	Avalia se o projeto original não sofreu alterações durante a fase de construção, visando assegurar que aspectos relacionados à segurança dos diversos usuários da via “tenham sido observados e que situações potenciais de risco tenham sido eliminadas”. As vistorias de pré-abertura de novos projetos devem ser realizadas no período diurno e noturno e também em dias secos e chuvosos, “o que possibilita a identificação de problemas de segurança de difícil ou impossível identificação em etapas anteriores”.
05 - Via em Operação	As inspeções ocorrem no período diurno e noturno, e devem contemplar a variação climática da região. “A realização de auditorias regulares permite que novas situações de risco sejam identificadas e corrigidas antes que resultem em acidentes”.

Fonte: AUSTROADS (2009)

De acordo com a AUSTROADS (2009), a ASV deve ser conduzida por profissionais independentes, experientes e com formação profissional adequada. Não existe um número ideal de pessoas para compor a equipe de auditoria, no entanto projetos mais significativos requerem pelo menos duas pessoas.

Para a análise das condições das rodovias na Austrália e Nova Zelândia, Austroads desenvolveu uma ferramenta, denominada de *Road Safety Audit Toolkit*, para ser utilizada em auditoria de segurança viária. Esta ferramenta ajuda os auditores a realizar as auditorias de segurança rodoviária nos diversos estágios do projeto de uma rodovia com base nas listas de verificações e permite gerar os relatórios. O *software* é gratuito e pode ser acessado pelo site: www.rsatoolkit.com.au.

Na orientação dos auditores para identificar as deficiências do projeto rodoviário, Austroads (2009) preparou uma lista contendo as principais características da rodovia a serem observadas quando da realização do processo de auditoria, apresentadas no Apêndice A.

3.4.2 Técnica Americana – FHWA

A técnica de auditoria de segurança viária desenvolvida pela Federal Highway Administration – FHWA foi obtida por meio de experiências adquiridas nos Estados Unidos e em outros países. É uma técnica focada na segurança rodoviária, considerada de baixo custo, pró-ativa, conduzida por uma equipe multidisciplinar, independente da equipe de projeto e o exame é formal (FHWA, 2006).

A implementação da técnica é realizada em oito etapas, a saber:

Etapa 01 – Identificação da rodovia ou projeto a serem auditados;

Etapa 02 – Seleção dos auditores;

Etapa 03 – Realização de reunião de pré-auditoria para analisar as informações do projeto;

Etapa 04 – Revisão dos dados do projeto e vistoria *in loco*;

Etapa 05 – Análises finais e preparação do relatório;

Etapa 06 – Apresentação dos resultados (relatório final) aos proprietários e projetistas;

Etapa 07 – Confecção e apresentação de respostas aos proprietários;

Etapa 08 – Incorporação das soluções apresentadas ao projeto, quando for o caso.

Segundo a FHWA (2006), as ASV podem ser realizadas em todas as fases do ciclo de um projeto de rodovia, mas quando aplicadas na fase de planejamento, as ASV oferecem mais oportunidades na geração de benefícios. Já na fase de construção, as ASV também oferecem benefícios, contudo as mudanças para melhorar o desempenho da segurança viária tornam-se mais difíceis, caras e a sua implementação é demorada.

Para orientar os profissionais (auditores), a FHWA (2006) elaborou vários checklists contendo os elementos a serem observados em cada fase do projeto, visando identificar deficiências de segurança. No Apêndice B, constam os checklists propostos pela FHWA

para as fases do projeto de planejamento, projeto básico e executivo, objeto do presente trabalho.

3.4.3 Técnica Irlandesa – NRA

A técnica Irlandesa de auditoria de segurança viária está contida no *Design Manual for Roads and Bridges – DMRB*, da *National Roads Authority – NRA* (2009). NRA (2009) define a auditoria de segurança como uma avaliação de um esquema viário, realizada a partir da fase de planejamento até a construção, antes que a rodovia seja aberta ao tráfego, para fins de identificação de potenciais problemas de segurança viária que possam prejudicar qualquer tipo de usuário e sugerir medidas para eliminar ou mitigar os problemas. Ainda segundo NRA (2009), um esquema viário é entendido como todas as obras que envolvem a construção de rodovias novas ou mudanças permanentes no layout das rodovias existentes.

Esta técnica, como as outras, também é conduzida por uma equipe multidisciplinar, com experiência em engenharia de segurança viária e independente da equipe de projeto. No entanto, a equipe deve ser composta, no mínimo, de duas pessoas, aprovadas pela autoridade máxima rodoviária (NRA, 2009). A ASV deve ser realizada em 04 fases distintas dentro do processo de concepção e construção de um projeto rodoviário, a saber:

Estágio F – na seleção do traçado;

Estágio 1 - na fase do projeto preliminar e antes da desapropriação de terras;

Estágio 2 – na conclusão do projeto básico (detalhamento do projeto);

Estágio 3 – na conclusão da obra (antes da abertura da rodovia para o tráfego).

A identificação de problemas de segurança rodoviária, na primeira fase do projeto (estágio 1), pode diminuir o número de revisões de projeto e reduzir custos na fase de detalhamento. A Fase 2 (estágio 2) envolve uma avaliação dos auditores no detalhe do projeto e operação do sistema, que inclui verificação dos elementos como a drenagem, iluminação pública e sinalização viária. A Fase 3 (estágio 3) é realizada na fase de construção do sistema após a conclusão da construção, mas antes da abertura do regime de trânsito (sempre que possível), e envolve uma avaliação da construção física para a segurança dos usuários da rodovia. Nesta última fase, é importante uma visita ao local

durante o dia e também à noite, devendo os auditores serem acompanhados da autoridade responsável pela rodovia.

Para NRA (2009), a equipe de auditoria pode utilizar checklist em seus trabalhos. Contudo, os checklists devem ser usados de forma inteligente, e não simplesmente como “um tick” de itens, e ainda recomenda-se que sejam utilizados no final do processo para garantir que nenhum item foi negligenciado. No Apêndice C, constam as principais características da via a serem checadas pelos auditores.

3.5 TÓPICOS CONCLUSIVOS

Um dos métodos utilizados para verificar a segurança a ser oferecida pela via aos usuários é a análise da consistência geométrica. A análise da consistência geométrica é uma ferramenta que avalia problemas de projeto.

Existem vários métodos desenvolvidos a partir de 1970, que avaliam a consistência do projeto geométrico. Os métodos podem ser agrupados nas seguintes áreas: operação do veículo quanto à velocidade e à dinâmica; geometria da rodovia; carga de trabalho dos motoristas, que permite analisar o tempo de resposta dos condutores às mudanças de traçado; e listas de verificação quanto à consistência de projeto. Quanto aos métodos baseados na velocidade, estes são utilizados para verificar inconsistências no projeto por meio da utilização da velocidade de operação (V85) e têm como foco a observação do comportamento dos veículos nas curvas dos alinhamentos horizontal e vertical.

Um dos métodos mais importantes para estudar a consistência geométrica é o proposto por Lamm *et al* (Trentin, 2007), que foi adotado no desenvolvimento do módulo de análise da consistência geométrica do software IHSDM.

Atualmente, o IHSDM tem dois módulos, um para análise de segmentos rodoviários e outro para interseções. No módulo destinado a avaliar os projetos de segmentos rodoviários, tanto na fase de projetos como em rodovias implantadas, há o módulo DCM (*Design Consistency Module*).

O outro método para avaliar a segurança de segmentos rodoviários é o que utiliza o Índice de Segurança Potencial (ISP), desenvolvido por Nodari (2003), determinado para segmentos rodoviários rurais pavimentados de pista simples. O ISP consiste em identificar segmentos críticos das rodovias brasileiras, potencialmente inseguros, a partir da análise de nove macrocategorias (superfície do pavimento, curva, interseções, sinalização horizontal e vertical, elementos longitudinais, seção transversal, usuários vulneráveis, laterais da rodovia e elementos gerais) e trinta e quatro características de rodovias. O valor do ISP varia de 1 a 10 e quanto menor o valor do ISP, o segmento é considerado “potencialmente inseguro” e, vice-versa, quanto maior o valor do ISP, mais potencialmente seguro é o segmento (Nodari, 2003). Esse método não se aplica para a avaliação de rodovias que estão ainda em fase de projeto (não implantadas).

A Auditoria de Segurança Viária é um exemplo de programa preventivo na identificação de deficiências geométricas de rodovias que potencialmente possam causar acidentes. No Brasil, a adoção do processo de Auditoria de Segurança Viária, como meio de obter ambientes viários mais seguros, deve ser aprimorada, já que poucos projetos são auditados em comparação com a experiência internacional. A experiência dos países que adotam a ASV de forma extensiva é reconhecida como um processo efetivo de melhoria da segurança viária, trazendo benefícios aos órgãos responsáveis pelo sistema viário (Schopf et al, 2004). Assim, os gestores ao tomarem conhecimento das deficiências geométricas da via planejam ações para mitigar os problemas detectados.

Segundo Schopf et al (2004), a experiência internacional indica que a ASV não aumenta a responsabilidade dos órgãos gestores que a adotam. No caso do Brasil, o Código de Trânsito Brasileiro (CTN, 1997) já estabelece, desde 1997, a responsabilidade dos órgãos e entidades executivos rodoviários da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios na promoção e verificação da segurança a ser oferecida pela via aos usuários, conforme dispõe o Art. 1º, §3º que:

“Os Órgãos e entidades componentes do Sistema Nacional de Trânsito respondem, no âmbito das respectivas competências, objetivamente, por danos causados aos cidadãos em virtude de ação, omissão ou erro na execução e manutenção de programas, projetos e serviços que garantam o exercício do direito do trânsito seguro”.

Em linhas gerais, as ASV trazem benefícios à segurança das rodovias nas quais são adotadas. Os escoceses estimam que a relação benefício-custo das ASV seja de 15:1 e os neo-zeolandeses avaliam essa relação em 20:1 (Hildebrand e Wilson, 1999 *apud* Schopf et al, 2004).

As diversas técnicas (AUSTROADS, FHWA e NRA) afirmam que é importante a condução da ASV por uma equipe independente da equipe de projeto e utilizando check list. No entanto, o check-list não é um procedimento de como fazer, mas apenas uma lista do que fazer. Essa sistemática não facilita a verificação específica de cada item, visando à segurança viária. Outra crítica é quanto à forma dos documentos dos check list que obrigam os revisores a trabalhar com vários documentos simultaneamente (manuais, normas, etc.).

Assim, para os técnicos dos órgãos gestores encarregados da análise de projetos rodoviários (especialmente dos elaborados por empresas contratadas para este fim) seria de grande utilidade dispor de um instrumento que permita avaliar o trabalho de forma prática e objetiva, permitindo antecipar ajustes no projeto que só seriam identificados posteriormente por procedimentos formais de ASV.

Os elementos de verificação, referidos nos métodos apresentados no presente capítulo, serão considerados no desenvolvimento do procedimento proposto no Capítulo 5.

4 ASPECTOS GERAIS DO PROJETO DE RODOVIAS

O projeto é apenas um elemento no processo global de desenvolvimento de uma rodovia (FHWA, 2004). Medidas que promovam a segurança viária, visando garantir conforto e segurança aos usuários, devem ser adotadas desde a fase de planejamento de uma rodovia até a sua abertura ao tráfego. E é durante as três primeiras fases - planejamento, desenvolvimento e desenho final - que a atuação conjunta dos projetistas e da comunidade interessada pode ter o maior impacto sobre as principais características do projeto final rodoviário.

Neste trabalho, os termos rodovia, projeto e projeto de rodovia são aplicados seguindo as definições constantes do glossário do extinto Departamento de Estradas e Rodagem (DNER, 1997), segundo as quais:

- **Rodovia (estrada de rodagem)** - é a “estrada que, tendo a sua plataforma devidamente preparada e pavimentada, se destina à circulação de veículos automotores”;
- **Projeto** - é o “conjunto de todos os elementos necessários e suficientemente completos para a execução de uma obra ou serviço, sendo representados de forma objetiva, precisa e detalhada (...)”;
- **Projeto de rodovia (projeto rodoviário)** - é o “projeto concernente à rodovia. Ele é constituído por diferentes estudos e projetos específicos. Conforme apresentado nas Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários (DNIT, 2006), as atividades a serem desenvolvidas na fase de projeto, visando o detalhamento da solução identificada na fase de anteprojeto, são:
 - Estudos topográficos;
 - Estudos de tráfego;
 - Estudos geotécnicos;
 - Estudos Geológicos;
 - Estudos Hidrológicos;
 - Estudos de Traçado;
 - Projeto geométrico;
 - Projeto de terraplenagem;

- Projeto de drenagem;
- Projeto de pavimentação;
- Projeto de interseções, retornos e acessos;
- Projeto de obras-de-arte especiais;
- Projeto de obras complementares;
- Projeto de sinalização;
- Projeto de paisagismo;
- Projeto de defensas e barreiras;
- Projeto de cercas;
- Projeto de desapropriação;
- Orçamento da obra;
- Plano de execução da obra;
- Avaliação e dimensionamento de obras-de-arte especiais existentes;
- Projeto de sinalização da rodovia durante a execução de obras e serviços; e
- Componente ambiental dos projetos de engenharia rodoviária.

Dado o objetivo geral do presente trabalho, este capítulo se concentrará na revisão dos elementos ligados às características de projeto de novas rodovias. Serão considerados os elementos do projeto geométrico, do projeto de interseções, retornos e acessos, projeto de sinalização e projeto de defensas e barreiras.

4.1 PROJETO GEOMÉTRICO

O projeto geométrico define as características geométricas do traçado em função das características de operação dos veículos, reação dos motoristas, segurança e eficiência das estradas e volume de tráfego (Pereira et al., 2010). Estas características são definidas levando em conta a classe da rodovia. Segundo LEE (2008), existem diferentes formas para se classificar um projeto de rodovia e cada país pode estabelecer os seus critérios ou adaptá-los de acordo com os critérios de outros países.

Para o estudo do projeto geométrico, este trabalho focará nos conceitos referidos nos documentos nacionais, especialmente no Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais (DNER, 1999) e no Manual de Implantação Básica de Rodovia (DNIT, 2010b), elaborados a partir de adaptações dos critérios de projeto adotados nas publicações da

American Association Of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), dos Estados Unidos. Cabe destacar que, embora o Manual de Projetos Geométrico de Rodovias Rurais seja tratado no meio técnico como uma norma, seus dispositivos constituem-se efetivamente em recomendações para a elaboração do projeto geométrico, e não em elementos normativos.

4.1.1 Classificação da rodovia

O Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais (DNER, 1999) utiliza a classificação técnica para a definição das características básicas dos projetos (velocidade, rampas, raios, larguras de pista, acostamento, distância de visibilidade, níveis de serviço, etc). Essas características são restringidas por considerações de custos, especialmente relacionados com a topografia da região, as condições geológicas e geotécnicas do terreno (cortes em rocha, aterros sobre solos moles, etc), a hidrologia e a hidrografia da região e a presença de benfeitorias ao longo da faixa de domínio.

Para a classificação técnica de um projeto geométrico de rodovia, o tipo de relevo (montanhoso, ondulado e plano) que a rodovia atravessa e o volume médio diário de tráfego (volume formado por diferentes categorias de veículos) são os parâmetros principais a serem considerados. As classes de projeto, em conjunto com as características gerais e os critérios de classificação técnica, são representadas na Tabela 4.1. Essas classes estão relacionadas, também, com a função da via no sistema viário (Classificação Funcional). Esta relação é mostrada na Tabela 4.2.

Tabela 4.1 – Critérios para classificação de rodovias

CLASSE DE PROJETO (1)	CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA (2)	VELOCIDADE DE PROJETO POR REGIÃO (km/h)		
			Plana	Ondulada	Montanhosa
	Via Expressa – controle				

(1) Como exemplo da compatibilização pretendida entre a classificação técnica e a funcional, menciona-se que as vias integrantes do Sistema Arterial Principal, conforme definido pelo DNIT, devem possuir as características básicas das Classes 0 e I, não devendo ser projetadas com base em padrões inferiores, a não ser no caso especial de rodovias pioneiras.

(2) Os volumes de tráfego bidirecionais indicados referem-se a veículos mistos e são aqueles previstos ao fim dos dez primeiros anos de operação da via.

(3) A ser decidido de acordo com as características da região e a finalidade da rodovia.

(4) Nível de Serviço: vide Highway Capacity Manual

Fonte: Manual de Implantação Básica de Rodovia (DNIT, 2010b)

Tabela 4.2 – Relação entre as classes funcionais e as de projeto

Sistema	Classes funcionais	Classes de projeto
Arterial	Principal	Classes 0 e I
	Primário	Classes I
	Secundário	Classes I e II
Coletor	Primário	Classes II e III
	Secundário	Classes III e IV
Local	Local	Classes III e IV

Fonte: DNER (1999)

A velocidade de projeto (velocidade diretriz) é o parâmetro básico associado à classificação de um projeto, pois a partir dela são determinados outros parâmetros da geometria viária. Segundo DNER (1999), a velocidade diretriz “é a maior velocidade com que um trecho viário pode ser percorrido com segurança, quando o veículo estiver submetido apenas às limitações impostas pelas características geométricas”. Assim, a Tabela 4.1 apresenta as velocidades diretrizes para cada classe de projeto.

4.1.2 Principais características do projeto geométrico

Os projetos de rodovia devem ser elaborados de forma criteriosa em virtude da interferência na segurança dos usuários da via, na capacidade de tráfego e na velocidade desenvolvida pelos veículos (velocidade operacional). A Figura 4.1 mostra o esquema dos principais elementos geométricos de uma rodovia.

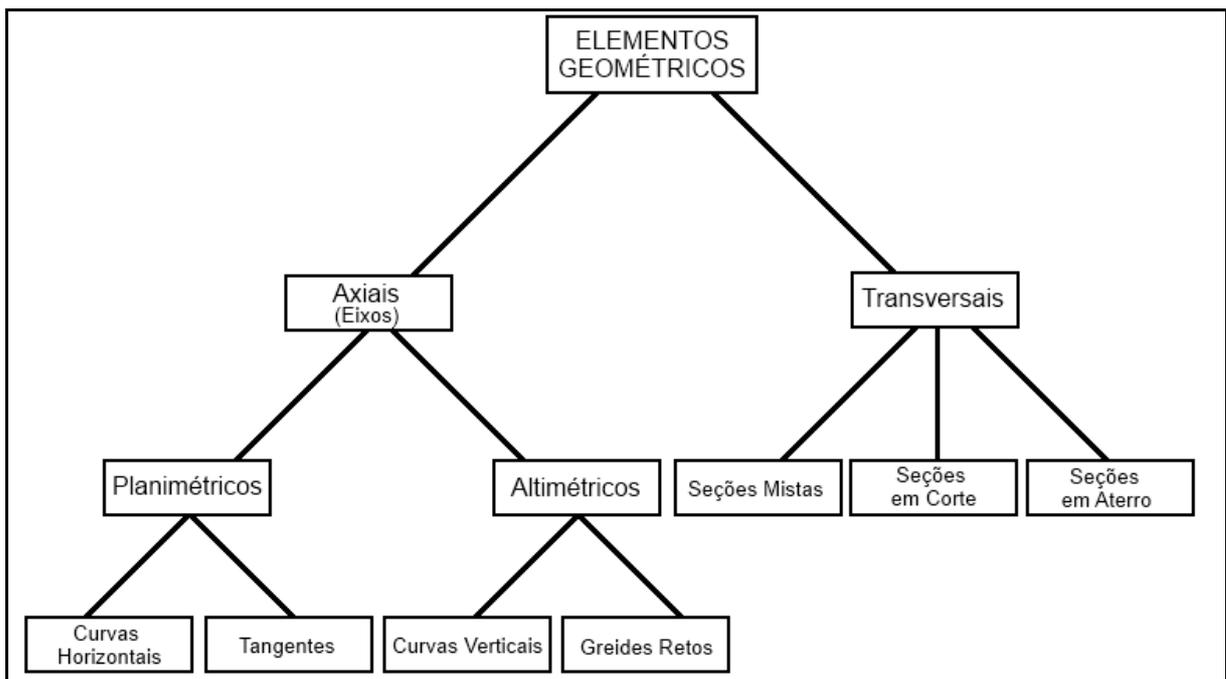


Figura 4.1 – Esquema dos principais elementos geométricos de uma rodovia

Fonte: Adaptada de Pontes Filho (1998)

O projeto geométrico pode, portanto, ser decomposto em três fases separadas (Lee, 2008): projeto em planta, projeto em perfil longitudinal e projeto dos elementos de seção transversal. Estas fases, juntamente com outros elementos específicos do projeto

geométrico (superelevação, superlargura, distância de visibilidade e terceira faixa nas rampas ascendentes e descendentes) são apresentados a seguir.

4.1.2.1 Projeto em Planta

O traçado de uma rodovia em planta é composto por trechos retos (tangentes) e curvas horizontais (à direita ou à esquerda). As curvas horizontais são os elementos utilizados para concordar os trechos retos que se interceptam. As curvas de concordância horizontal são diferenciadas em curvas circulares simples e curvas circulares dotadas de transição, ou simplesmente, curvas de transição, conforme representadas na Figura 4.2 e 4.3, respectivamente.

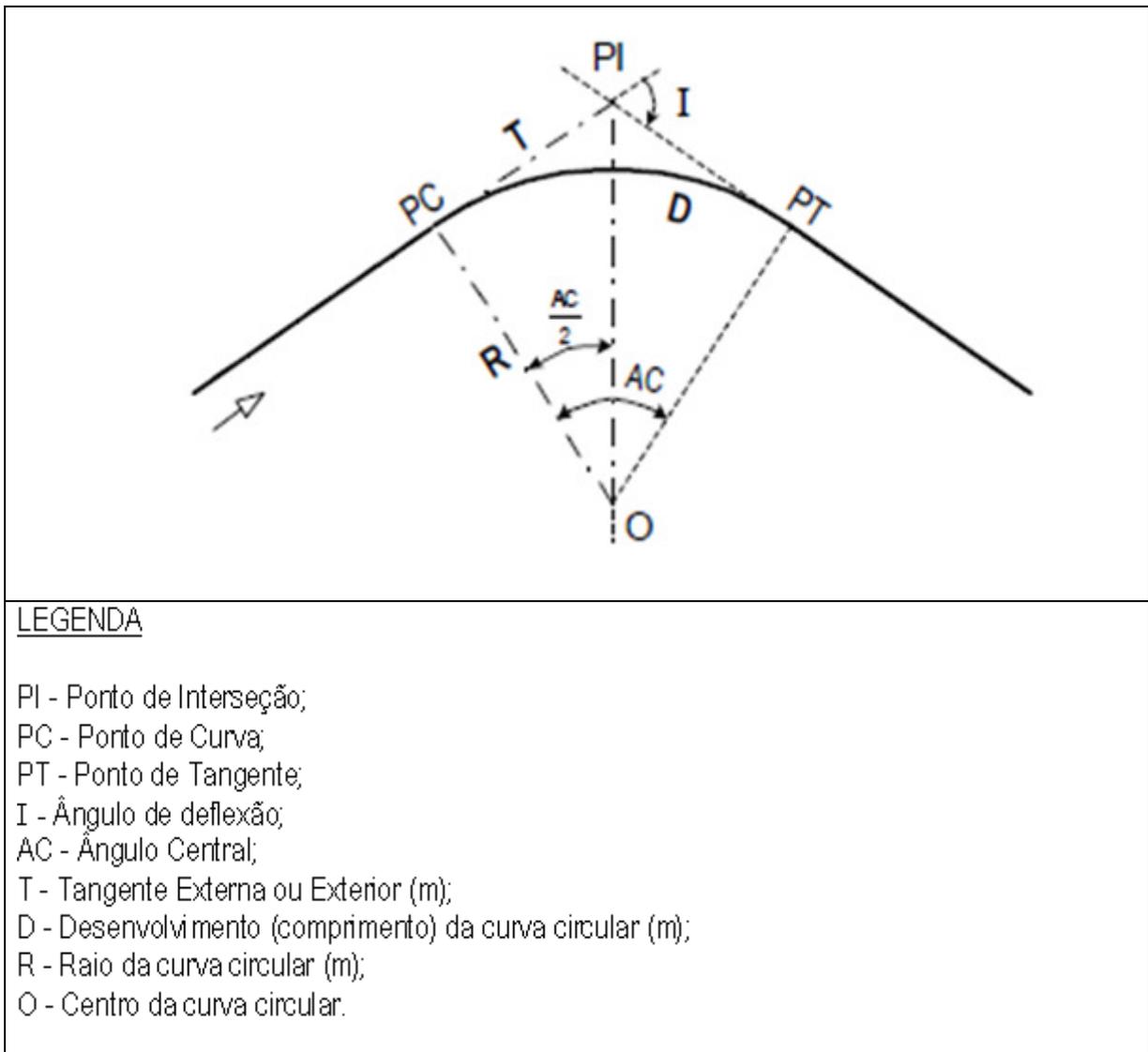
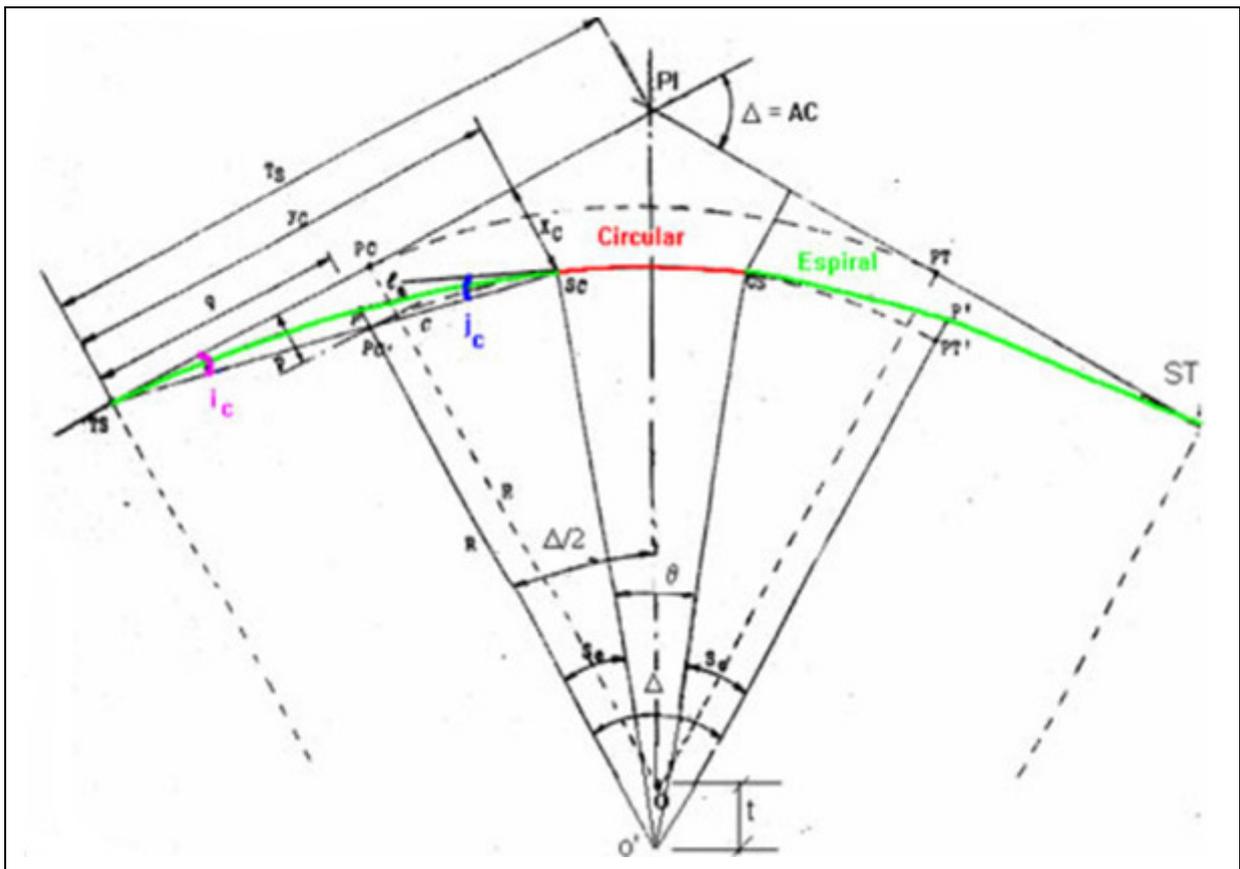


Figura 4.2 – Curva horizontal do tipo circular simples

Fonte: Lee (2008)



LEGENDA

TS = ponto Tangente-Espiral
 SC = ponto Espiral-Curva Circular
 CS = ponto Curva Circular-Espiral
 ST = ponto Espiral-Tangente
 PC' e PT' = recuos de PC e PT
 P e P' = pontos de passagem da espiral
 R = Raio da Curva Circular
 Δ = ângulo central ou deflexão das tangentes = $\theta + 2 \cdot Sc$
 Sc = ângulo central da transição
 θ = ângulo central da curva circular
 Le ou Lc = comprimento da curva de transição (escolhido)
 Yc e Xc = coordenadas de CS ou SC em relação ao TS ou ST
 p e q = coordenadas do recuo de PC e PT em relação à TS ou ST.
 c = corda da espiral;
 ic = ângulo entre a corda e a tangente em TS;
 jc = ângulo entre a corda e a tangente em SC

Figura 4.3 – Curva horizontal do tipo circular com transição

Fonte: Pontes Filho (1998)

Segundo DNER (1999) não são recomendados trechos retos longos (tangentes longas) no traçado de uma rodovia por ser um elemento do projeto de pouca adaptabilidade às

diversas formas da paisagem, exceto quando a topografia da região harmoniza-se com a paisagem, como, por exemplo, as regiões muito planas e os vales.

Ainda de acordo com DNER (1999), no traçado da rodovia o uso de curvas é mais recomendável por proporcionar um melhor campo de visibilidade ao condutor e estimular o senso de previsão. Isto não quer dizer que é aconselhável utilizar no traçado da rodovia curvas desnecessárias. O maior problema ocorre, portanto, quando há a junção entre curvas e tangentes. Nestes casos, DNER (1999) recomenda, por exemplo, que: □ nas extremidades de tangentes longas não devem ser projetadas curvas de pequeno raio; □ deve-se evitar o uso de curvas com raios muito grandes (maiores que 5.000 m), devido às dificuldades que apresentam para o seu percurso pelos motoristas; e □ raios de curvas consecutivas não devem sofrer grandes variações, devendo a passagem de zonas de raios grandes para zonas de raios pequenos ser feita de forma gradativa.

Os elementos das curvas horizontais são determinados de acordo com os procedimentos apresentados no Apêndice D. A apresentação dos principais elementos dessas curvas é feito a seguir.

a) Raio das curvas circulares

O raio mínimo das curvas circulares (ou do trecho circular das curvas compostas) é definido pelo DNER (1999) para cada uma das classes de rodovia, conforme mostrado no Apêndice D. Seu valor decorre dos valores da velocidade diretriz e da superelevação máxima definidos pela norma para cada classe.

Em termos do desenvolvimento (D) das curvas circulares, a Norma do DNER (1999) recomenda:

- no caso de ângulos centrais (AC) iguais ou inferiores a 5°: $D \geq 30 (10-AC)$, sendo D em metros e AC em graus;
- por razões de aparência geral, em curvas circulares dotadas de curvas de transição: $D \geq 0,5V$, sendo D em metros e V(velocidade diretriz) em Km/h.

Além da definição dos raios mínimos a serem observados em cada curva horizontal, a norma estabelece, também, critérios para a definição dos raios no caso de curvas sucessivas, conforme apresentado no Apêndice D.

b) Curvas de Transição

Curvas de transição são curvas especiais projetadas para permitir que ocorra uma passagem suave entre o trecho em tangente e a curva circular (Lee, 2008). A utilização de uma curva de transição tem por objetivo distribuir gradativamente o incremento da aceleração centrípeta e reduzir ao mínimo a possibilidade dos veículos invadirem a faixa de tráfego adjacente, bem como uniformizar a velocidade do veículo. Outras vantagens do uso das curvas de transição estão na acomodação da variação da superelevação, na implantação da superlargura e na eliminação das aparentes quebras de alinhamento nas confluências de curvas e tangentes (DNER, 1999).

DNER (1999) estabelece que o uso da curva de transição, nas concordâncias horizontais, é dispensável quando o raio (R) é superior aos valores indicados na Tabela 4.3, para diversas velocidades de projeto.

Tabela 4.3 – Raios de curva que dispensam a transição

Velocidade (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Raio (m)	170	300	500	700	950	1200	1550	1900	2300	2800

Fonte: DNER (1999)

A Clotoíde é a curva adotada como padrão para projetos rodoviários (DNER, 1999). A vantagem da sua utilização decorre principalmente da facilidade de locação, pois ocorre de forma análoga à curva circular, ou seja, por deflexão. Outra vantagem é que a Clotoíde pode ser locada nos dois sentidos, o que facilita a locação seguida dos dois ramos de transição. Por fim, DNER (1999) menciona outra vantagem da Clotoíde ao considerá-la com a curva que oferece “perfeito equilíbrio entre o crescimento da superlevação e o crescimento da aceleração centrífuga”.

Para a determinação do comprimento da curva de transição, DNER (1999) estabelece critérios para a definição de limites mínimos e máximos, além de critérios

complementares. Os critérios mínimos recomendados no manual brasileiro (DNER, 1999), que visam propiciar conforto e segurança ao usuário da via, são:

- critério da taxa máxima de aceleração centrífuga (critério do conforto): considera que os ocupantes do veículo não devem ser submetidos à taxa de variação de aceleração centrífuga (C) superior a: $C = -0,009V + 1,5$, sendo C em m/s^3 e V (velocidade diretriz) em Km/h;
- critério do comprimento mínimo absoluto: considera que o veículo deve percorrer o comprimento de transição em um tempo mínimo de 2 segundos, na velocidade de projeto, e que este comprimento deve ser, no mínimo, igual a 30m;
- critério da fluência ótica: aplicável somente para curvas em raio do trecho circular (R) superior a 800m, e estabelece que o comprimento de transição deve ser superior a (R/9);
- critério da máxima rampa de superelevação admissível: define que a variação da superelevação ao longo do comprimento de transição deve ocorrer de acordo com valores máximos de rampas definidos e com a velocidade de projeto adotada.

Todos esses critérios citados devem ser atendidos para determinar o comprimento mínimo de transição. As expressões específicas para o cálculo do comprimento mínimo da curva de transição são apresentadas no Apêndice D.

Para o cálculo do comprimento máximo da curva de transição da superelevação ($L_{máx}$), DNER (1999) estabelece dois critérios, que são: critério do máximo ângulo central da clotóide; e o critério do tempo de percurso. O primeiro critério define que o comprimento máximo da clotóide deve ser igual ao valor do raio da curva circular. No segundo critério, denominado de tempo de percurso, o comprimento máximo é calculado por meio da distância percorrida por um veículo na velocidade de projeto num tempo igual a oito segundos. No entanto, DNER (1999) sugere que para rodovias de alto padrão este critério pode ser desconsiderado.

Há ainda os critérios complementares, os quais o DNER (1999) considera para a fixação dos comprimentos de transição a utilizar nas concordâncias horizontais, tais como: critério do arredondamento (os valores devem ser arredondados para múltiplos de 10m); critério da extensão mínima com superelevação total; critério de aparência geral (também

denominado de critério das curvas reversas); e os critérios para concordâncias com curvas compostas.

4.1.2.2 Superelevação

Superelevação é a declividade transversal da pista nos trechos em curva e tem influência sobre a segurança e o conforto da viagem (Lee, 2008). É medida pela inclinação transversal da pista em relação ao plano horizontal, e é expressa em proporção (m/m) ou em porcentagem (%). A determinação da superelevação é feita a partir do estudo do movimento de um veículo em trajetória circular, com uma dada velocidade tangencial, numa pista inclinada transversalmente. O Manual do DNER (1999) estabelece valores máximos para a superelevação em função da velocidade diretriz para cada classe de rodovia. Esses valores resultam nos raios mínimos apresentados no Apêndice.

Há casos em que a superelevação é desnecessária. Estes casos são quando as curvas possuem raios muito grandes em relação à velocidade diretriz e as forças centrífugas são tão pequenas que podem ser desconsideradas. Para DNER (1999), os trechos em curva horizontal que se encontram nestas condições podem ser projetados nas mesmas condições consideradas para os trechos em tangentes (pista dotada de abaulamento para evitar o acúmulo de água pluviais). A Tabela 4.4 apresenta os valores dos raios (R) acima dos quais a superelevação é dispensável.

Tabela 4.4 - Raios que dispensam a superelevação

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	≥100
Raio (m)	450	800	1250	1800	2450	3200	4050	5000

Fonte: DNER (1999)

Então, para raios (R) menores dos que os indicados na tabela acima, é necessário a utilização da superelevação nos trechos em curva. O valor mínimo de superlevação admissível, conforme DNER (1999), é de 2%, e o valor máximo admissível para projetos de rodovias é de 12%. A Tabela 4.5 apresenta os valores máximos da superelevação admissíveis com os correspondentes tipos de situação em que se aplicam.

Tabela 4.5 – Valores máximos da superelevação admissíveis

Superlevação máxima ($e_{máx}$)	Tipos de situação aplicável
12%	Casos de melhorias e correção de situações perigosas existentes (taxa máxima prática admissível)
10%	Rodovias Classe 0 (em geral) e Classe I (regiões planas e onduladas)
8%	Classe I (região montanhosa) e demais classes
6%	Projetos em áreas urbanas com frequentes interseções
4%	Projetos em áreas com intensa ocupação do solo e com poucas condições para variar as inclinações transversais da pista

Fonte: DNER (1999)

4.1.2.3 Superlargura

A superlargura é a largura adicional das pistas de uma rodovia a ser implantada nos trechos em curva com a finalidade de acomodar os veículos na trajetória curva, onde os mesmos ocupam espaços laterais maiores que suas próprias larguras; e de compensar o fato de que os trechos em curva causam no usuário sensação de que a pista à frente foi estreitada.

O DNIT (2010b), no Manual de Implantação Básica de Rodovias, considera o valor da superlargura limitado a 0,30m e não sugere o arredondamento desses valores por múltiplos de 0,20m, conforme definido no Manual do DNER (1999). Assim, em função das diversas velocidades de projeto (30, 40, 60, 80 e 100 km/h) e considerando os diversos raios de curvatura para pista com duas faixas de tráfego, os valores da superlargura (Δ) a serem adotados são apresentados no Apêndice D.

Quanto à implantação da superlargura, esta pode ser disposta de duas formas: em alargamento assimétrico da pista, que ocorre quando a superlargura é totalmente disposta no lado interno da curva e a linha de divisão da pista não coincide com o eixo do projeto; em alargamento simétrico da pista, que ocorre quando a superlargura é dividida pela metade, sendo que uma metade é disposta no lado interno da curva e a outra metade no lado externo da curva e, ainda a linha de divisão da pista coincide com o eixo de projeto (DNER, 1999).

Para determinar a superlargura para pistas com mais de duas faixas, o DNER (1999) recomenda multiplicar os valores calculados (duas faixas) em 1,25, quando se tratar de três

faixas; e multiplicar por 1,50 quando for para determinar a superlargura para pistas com quatro faixas. AASHTO (1994 *apud* Lee, 2008) também sugere adotar os multiplicadores de 1,25 e 1,50. Entretanto, recomenda acréscimos ao valor da superlargura, correspondente ao caso básico (pista simples com duas faixas), para considerar veículos de dimensões maiores quando forem relevantes no tráfego.

4.1.2.4 Distância de Visibilidade

Distância de visibilidade é o comprimento da rodovia que é visível ao motorista de um veículo (Lee, 2008). No projeto geométrico de rodovias são consideradas as seguintes distâncias de visibilidade: de parada; de tomada de decisão; e de ultrapassagem.

Para o cálculo das distâncias de visibilidade, o DNER (1999) considera que a altura dos olhos do motorista com relação ao plano da pista igual a 1,10 m e a altura do veículo que se desloca em sentido contrário igual a 1,37 m.

A distância de visibilidade de parada (D_p) é a distância percorrida pelo veículo durante o tempo de percepção e reação (D_1) somada com a distância percorrida durante a frenagem do veículo (D_2). Para a determinação da D_p , o DNER (1999) considera que a menor altura de obstáculo que obriga o motorista a parar o veículo é igual a 0,15m, e o tempo de percepção e reação igual a 2,5 segundos. Levando em conta os critérios anteriormente referidos, o DNER (1999) apresenta valores mínimos absolutos e valores desejáveis para a distância de visibilidade de paradas (ver Tabela 4.6). Os valores desejáveis assumem que os veículos se deslocam a uma velocidade igual a velocidade diretriz, enquanto os valores mínimos absolutos consideram que em dias chuvosos os veículos se deslocam a uma velocidade média inferior à velocidade diretriz.

Tabela 4.6 – Distâncias de velocidade de parada

Veloc. Diretriz (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desejável (m)	30	45	65	85	110	140	175	210	255	310
Absoluta (m)	30	45	60	75	90	110	130	155	180	205

Fonte: Adaptada de DNER (1999)

O manual indica, também, que pode haver a necessidade de utilizar uma distância de visibilidade maior que a recomendada no caso da decisão imediata de parar o veículo. Isso pode acontecer em locais como travessias de áreas urbanas ou nas proximidades de interseções, em que o motorista pode encontrar situações de risco e tende a executar manobras de escape ao invés da parada total do veículo. Nesses casos, DNER (1999) sugere a utilização de distâncias de visibilidades superiores, chamadas de distâncias de visibilidade para tomada de decisão (D_{VD}), as quais são apresentadas na Tabela 4.7. Essas distâncias são aquelas que permitem aos motoristas espaço e tempo suficientes para tomar decisões adequadas ao se deparar com uma situação de risco inesperada ou de difícil percepção e, então, avaliar o problema, decidir a manobra que deve ser realizada e finalmente iniciar e completar com segurança a manobra necessária.

Tabela 4.7 – Distâncias de visibilidade para tomada de decisão (m)

V_{DIR} (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Simples parada	50	75	95	125	155	185	225	265	305
Desvio de obstáculo	115	145	175	200	230	275	315	335	375

Fonte: DNER (1999)

Tem-se, ainda, a distância de visibilidade de ultrapassagem (D_{VD}), elemento importante e essencial em rodovias, principalmente com pista simples e duas faixas de trânsito (uma para cada sentido do percurso), onde é frequente que um veículo efetue uma manobra de ultrapassagem de um veículo lento à sua frente. Segundo DNER (1999), para fins de projeto geométrico de rodovias, essa distância de visibilidade é a distância à frente do motorista que deve ser visível ao mesmo para que este possa executar com segurança a manobra de ultrapassagem.

A partir de estudos realizados pela AASHTO, o DNER (1999) recomenda a utilização de valores para D_{VD} , para diversas velocidades de projeto, conforme dados expostos na Tabela 4.8. Recomenda, também, que distâncias de visibilidade de ultrapassagem sejam disponíveis a intervalos entre 1,5km e 3,0km.

Tabela 4.8 – Distâncias de visibilidade de ultrapassagem

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
D _{VD} (m)	180	270	350	420	490	560	620	680	730	800

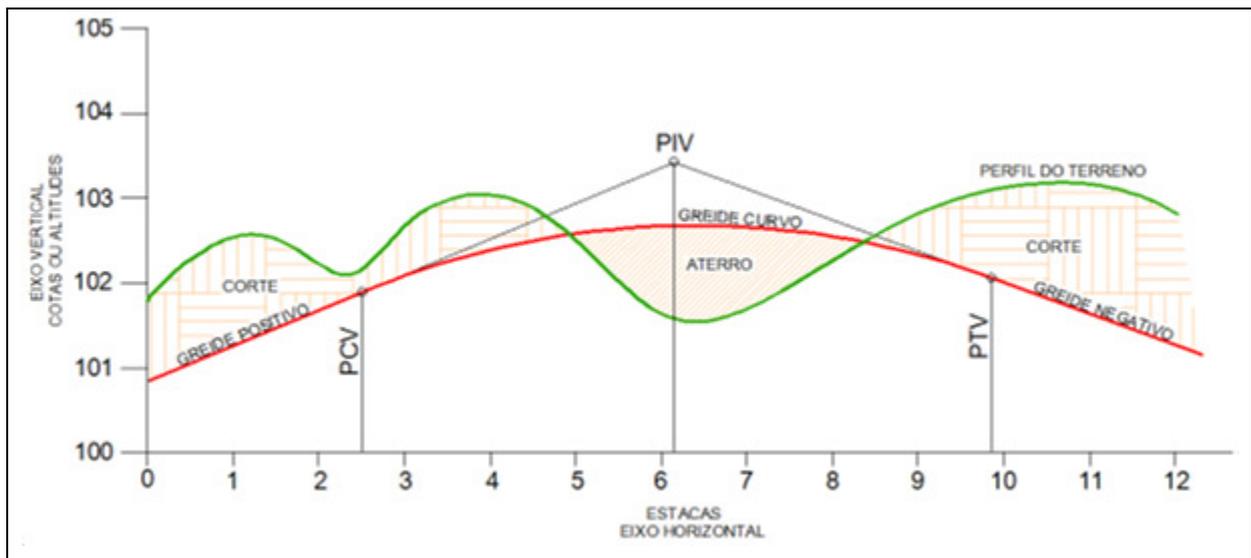
Fonte: DNER (1999)

Os valores mostrados na Tabela 4.8 consideram as seguintes condições: o veículo a ser ultrapassado viaja com velocidade constante; durante a ultrapassagem, a velocidade do veículo que está ultrapassando é 15 km/h superior à do veículo ultrapassado; e a velocidade do veículo que se desloca em sentido contrário na faixa oposta é igual a do veículo que fez a ultrapassagem.

O DNER (1999) destaca que a definição da D_{VD} com base em outros critérios pode levar a valores distintos dos apresentados na Tabela 4.8. Este é o caso, por exemplo, dos critérios adotados nos projetos de sinalização.

4.1.2.5 Projeto em perfil longitudinal

O traçado de uma rodovia em perfil é composto por trechos retos, denominados trechos retos do greide, e, também, por trechos em curva, denominados curvas verticais. Na Figura 4.4 são representados os elementos altimétricos básicos de um projeto de rodovia, sendo o comprimento da curva vertical referido como a projeção horizontal da distância entre o ponto inicial (PCV) e o ponto final (PTV) da curva.



Legenda:

PCV – ponto de curva vertical;

PIV – ponto de interseção vertical;

PTV – ponto de tangente vertical

Figura 4.4 - Elementos altimétricos de um projeto de rodovia

Fonte: Filho (1998)

a) Comprimento da curva vertical

Segundo DNIT (2010b), o perfil longitudinal da rodovia deve ser suave e uniforme para evitar quebras do alinhamento vertical e pequenos comprimentos de rampas diferentes. As concordâncias dos trechos retos do greide são feitas com curvas circulares (côncavas e convexas) de raio grande ou parábolas do 2º grau. Esta última é a mais recomendada pelo DNER (1999).

A cada curva vertical está associado um parâmetro de curvatura (K), que é obtido pela razão entre o comprimento da curva (L) e a respectiva diferença algébrica entre as declividades dos greides que se cruzam no ponto de interseção vertical correspondente (PIV), em módulo. Isto é: $K = \frac{L}{|A|}$, sendo K expresso em [m/%], L em [m] e A em [%].

O Manual do DNER (1999) define que o comprimento das concordâncias seja calculado com base em quatro critérios:

- Critério do mínimo valor absoluto: considera que o veículo deve percorrer a curva vertical em um tempo mínimo de 2 segundo, na velocidade de projeto, e que este comprimento deve ser no mínimo igual a 20,00m; este critério está associado à aparência do traçado;
- Critério da máxima aceleração centrífuga admissível: estabelece que a curva vertical deve ter um comprimento que assegure um valor máximo admissível para a aceleração radial decorrente do deslocamento do veículo na velocidade diretriz no ponto em que o raio de curvatura vertical é mínimo (raio mínimo da parábola). O valor máximo admissível para a aceleração radial é de 1,5% da aceleração da gravidade para as rodovias de elevado padrão e 5,0% da aceleração da gravidade para as demais rodovias. Este critério visa promover a segurança e o conforto dos usuários;
- Critério da drenagem: estabelece que para uma declividade de no mínimo 0,35% e comprimento máximo de 30 m, o parâmetro da curvatura (K) máximo admissível é de 43m/%, acima do qual o projetista deve prestar atenção com a drenagem longitudinal;
- Critério da distância de visibilidade: o cálculo do comprimento mínimo da projeção horizontal da parábola, tanto nas curvas convexas como nas curvas côncavas, deve assegurar que o motorista veja a frente uma distância mínima igual à distância de visibilidade de parada. Neste caso, o Manual estabelece valores específicos para o parâmetro de curvatura “K” (Kmin) associados tanto à distância de visibilidade de parada desejável quanto à mínima. Este critério é extremamente importante para assegurar o deslocamento seguro dos veículos.

As condições de visibilidade, do ponto de vista do projeto geométrico em rodovia são limitadas pelas mudanças de direção e declividade ao longo do traçado, em especial para curvas horizontais em trechos de corte e para as curvas verticais convexas. Já nas curvas verticais côncavas as restrições de visibilidade da rodovia são apresentadas no período noturno (Pellegrini, 2006).

b) Inclinação das tangentes verticais

Para a definição dos valores das rampas (inclinação positiva), o Manual do DNER (1999) recomenda inclinações máximas de acordo com as classes de rodovias. Esses valores são apresentados no Apêndice D. O referido Manual alerta que o uso desses valores deve ser evitado, na medida do possível e, ainda, acrescenta que os valores de rampas acima de 8% são limitados a 300 metros.

4.1.2.6 Terceira faixa nas rampas

Um dos aspectos importantes identificados pela Norma diz respeito à necessidade de implantação de terceira faixa em trechos de aclive, em função de determinadas combinações de valores de inclinação das rampas e sua extensão. Outro aspecto importante relacionado às rampas é a operação de veículos pesados com baixo desempenho (Pereira Neto, 2007). Assim, DNER (1999), com base em estudos realizados pela AASHTO (1994), recomenda a implantação de faixa adicional quando: (i) o fluxo de tráfego no aclive é maior que 200 veículos/hora e a taxa de fluxo de caminhões no aclive é maior que 10%; (ii) uma redução de velocidade de 15 km/h ou mais é esperada para um caminhão carregado típico; (iii) o nível de serviço da rampa é E ou F; e (iv) ocorre uma redução de dois ou mais níveis de serviço quando se passa do segmento plano da aproximação da rampa.

Além dos aspectos relacionados à implantação de faixas adicionais nos trechos em aclive, também é importante, quando necessário, a implantação dessas faixas nas rampas descendentes. Nos declives, os veículos de carga podem ter dificuldades associadas ao desempenho do sistema de freios, necessitando operar em velocidades mais baixas, e podendo ocasionar, semelhantemente ao observado nos trechos em aclive, a formação de pelotões (tráfego com intervalos entre veículos de 5 segundos ou menos) (Pereira Neto, 2007).

Estudo realizado por Lucas (2004) mostrou que uma terceira faixa é recomendada nos declives quando se verificar as seguintes condições com relação aos veículos rodoviários de carga:

- quando esses veículos atendem a Resolução nº 777/93 do CONTRAN (Brasil, 1993) e para rampas com declividades superiores a 5%. Neste caso, é necessário calcular o comprimento crítico das rampas (maiores do que 5.000 metros) a partir do qual o impacto dos veículos torna-se significativo e compromete o fluxo de veículos;

- quando esses veículos não atendem as exigências da Resolução nº 777/93 do CONTRAN e os problemas no sistema de freios começam a se manifestar em rampas de pequena declividade, de 2 ou 3% e compromete o fluxo de veículos.

4.1.2.7 Projeto dos elementos da seção transversal

Os principais elementos geométricos da seção transversal de uma rodovia estão representados na Figura 4.5 (pista simples) e Figura 4.6 (pista dupla), segundo Lee (2008).

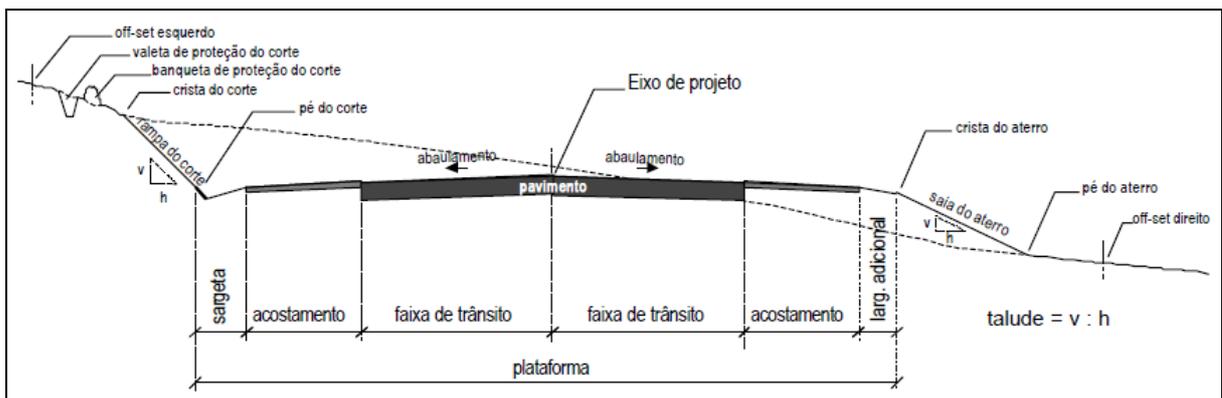


Figura 4.5 – Elementos de seção transversal: rodovias em pista simples
Fonte: LEE (2008)

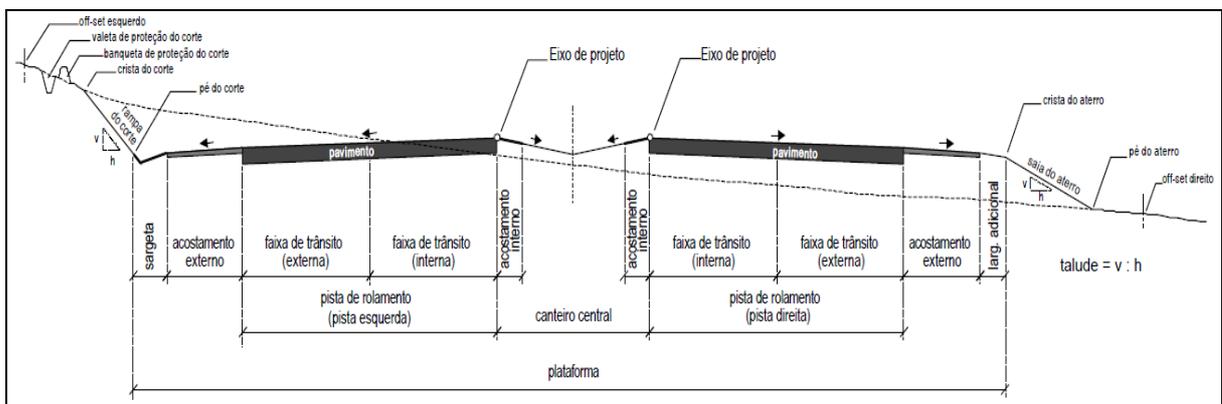


Figura 4.6 – Elementos de seção transversal: rodovias em pista dupla
Fonte: LEE (2008)

Com relação às características técnicas estabelecidas pelo Manual do DNER (1999) para o projeto das seções transversais, cabe destacar:

a) Largura da faixa de trânsito: é o espaço destinado ao fluxo de veículos e varia no intervalo de 2,50m a 3,60 m, dependendo da classe de projeto. Segundo Nodari (2003), uma das características mais importantes no desempenho seguro de rodovias rurais de pista simples é a largura da faixa de trânsito. Ratificando o mesmo entendimento, DNER (1999) destaca que trechos de pista simples onde transitam veículos comerciais e sem acostamentos pavimentados, o aumento da largura da faixa de trânsito contribui consideravelmente para o aumento da segurança viária.

b) Largura dos acostamentos: são faixas laterais, do lado externo das pistas, destinadas às: paradas de emergência dos veículos; faixa extra de rolamento para emergências; e proteção da estrutura do pavimento dos efeitos da erosão. Seu valor varia em função da classe de projeto. Estudos mostram que o aumento da largura dos acostamentos pavimentados em pista simples ajuda a diminuir os acidentes envolvendo apenas um veículo (Nodari, 2003). Contudo, quando a largura do acostamento pavimentado aumenta, também aumenta o número de acidentes envolvendo mais de um veículo, em decorrência da imprudência dos motoristas (Ivan et. al, 1999 *apud* Nodari, 2003).

c) Canteiro central: tem a finalidade de isolar as correntes de tráfego opostas em rodovias de pista dupla. A inclinação dos taludes dos canteiros, de modo a não constituir obstáculo para veículos desgovernados e dispensar o uso de defensas e barreiras, deve estar entre 1:1 e 1:6 (excepcionalmente, 1:4) (DNER, 1999).

d) Sarjetas de corte: os órgãos rodoviários (federal, municipal e estadual), geralmente, definem tamanhos mínimos para as sarjetas. A geometria deve ser definida a partir dos estudos de dimensionamento dos dispositivos de drenagem superficial.

e) Faixa de domínio: faixa de terra que envolve o eixo da rodovia projetada. Deve ter largura suficiente para acomodar as pistas de trânsito, canteiros, acostamentos, obras de arte, sinalização e cercas dos imóveis marginais à rodovia (faixas de recuo) e ainda permitir futuras ampliações na rodovia (DNER, 1997).

Por fim, as pistas, quanto à conformação e à declividade da seção transversal, são classificadas como abaulada (declividade transversal em dois sentidos) ou com caimento simples (declividade transversal constante). Segundo DNER (1999), há vantagens e desvantagens para o uso de cada tipo de pista, conforme apresentado na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Conformação das pistas

Seção transversal	Utilização	Vantagem	Desvantagem
Pista abaulada	- em rodovias de pista simples e mão dupla; e - em rodovias de pista dupla onde o traçado de cada pista é independente.	- facilita a drenagem; - aumenta a resistência do pavimento (efeito de arco); - afasta veículos em faixas adjacentes com sentidos opostos.	- na construção pode apresentar maiores dificuldades de execução; - operação dos veículos no cruzamento da crista;
Pista com caimento simples	- em rodovias de pista dupla e em pistas de mão única.	- reduz a necessidade de alguns dispositivos de drenagem; - construção; - simplifica a concepção da transição da superelevação.	- acúmulo de água na faixa de cota mais baixa; - constante desnível entre os bordos da pista.

Fonte: DNER (1999)

4.1.3 Análise das características geométricas sob a ótica da avaliação de projetos focada na segurança viária

O projeto de uma rodovia rural deve ser executado de modo a garantir que a rodovia atenda aos serviços a que se destina e assegure conforto e segurança aos usuários. Assim, quando da elaboração do projeto geométrico, diversos elementos devem ser considerados, principalmente os relativos aos fatores humanos, às condições do tráfego e aos elementos físicos.

Em relação aos elementos físicos, as normas brasileiras estabelecem diversas características geométricas, especialmente as relacionadas com a velocidade de projeto a ser adotada na via, visando garantir segurança viária a ser oferecida aos usuários de rodovias rurais. Como principais elementos geométricos destacam-se: distância de visibilidade; curvas horizontais e verticais; superelevação; superlargura; rampas máximas,

e largura dos elementos da seção transversal.

As características geométricas da rodovia afetam as condições de segurança de diversas maneiras, influenciando (TRB, 1987 *apud*, Nodari, 2003): a habilidade do motorista em manter o controle do veículo e identificar situações e características perigosas; as consequências de uma saída de pista de um veículo desgovernado; e o comportamento e, também, a atenção dos condutores.

Nesse sentido, segundo Lee (2008), para que uma rodovia torne-se segura é necessário que as menores distâncias de visibilidade sejam longas o suficiente para permitir que o motorista de um veículo, desempenhando a velocidade de projeto, possa parar o veículo quando avistar um obstáculo ou ajustar a velocidade de deslocamento, a fim de evitar o acidente.

Outro fator relacionado à segurança são as curvas horizontais e verticais. Tais curvas podem apresentar restrições ao deslocamento dos veículos e estudos realizados observaram que em curvas horizontais aproximadamente 60% de todos os acidentes ocorrem com veículos que saem da rodovia (Lamm et al., 1999 *apud* DNIT, 2010a) e que a proporção de acidentes em pavimentos molhados é elevada nessas curvas (DNIT, 2010a). E ainda, quanto maior a redução da velocidade solicitada pela curva, maior será a probabilidade de erro do condutor e acidentes, tanto por aproximação de outro veículo, derrapagem e saída de pista, bem como quando há redução de velocidade inesperadamente em curva isolada com raio pequeno (DNIT, 2010a).

Outro item importante para aumentar a segurança e conforto dos condutores e passageiros é a adoção de superelevação e superlargura nos trechos em curva. Estudo realizado pelo *Transportation Research Board* (TRB) verificou que, em locais com deficiência da superelevação, ocorrem mais acidentes do que em locais com essa característica geométrica adequada (FITZPATRIK et al., 2000 *apud* Nodari, 2003). Para acomodar os veículos de carga compostos por várias unidades e manter segurança nas rodovias, a superlargura é adotada em curvas horizontais com raios pequenos (DNIT, 2010a). No entanto, a existência de acostamentos pavimentados, que provê espaço para acomodação dos veículos ajuda a diminuir a necessidade da adoção de superlargura (Nodari, 2003).

As rampas são características do alinhamento vertical do projeto geométrico. A inclinação e o comprimento das rampas contribuem para a ocorrência de acidentes. De acordo com vários estudos realizados verificou-se que: acidentes ocorrem mais comumente em trechos em rampas (DNIT, 2010a); nas descidas e em subidas há grande frequência de acidentes, principalmente envolvendo veículos de carga, tendo em vista as diferenças de velocidades nessas condições (DNIT, 2010a); em rampas descendentes, o número de acidentes é 63% maior do que em rampas ascendentes (FHWA, 1992a *apud* DNIT, 2010a).

Por fim, a implantação de faixa adicional consiste em uma das soluções para tornar as viagens mais econômicas, seguras, com redução da quantidade de acidentes, e confortáveis. Segundo o DNER (1999), a faixa adicional, utilizada em rampas ascendente, é destinada ao tráfego de veículos lentos, principalmente os de carga. Além disso, as faixas adicionais são obras de melhoria de baixo custo e menor impacto ambiental, se comparadas às obras de duplicação de rodovias (Melo e Setti, 2007). Outro ponto a destacar é a importância do projeto de faixa adicional em rampas descendentes nos casos em que a combinação da inclinação de rampa com seu comprimento comprometem de modo significativo as condições de frenagem dos veículos pesados (Lucas, 2004). Em alguns casos específicos, esse comprometimento pode justificar a implantação de áreas de escape, com o objetivo de reter os caminhões sem freios de modo a evitar acidentes. Segundo (Zanolli e Setti, 2004) os tipos mais comuns de áreas de escape são: as rampas de escape (saídas pavimentadas ou não em rampas íngremes) e as caixas de retenção (caixas de brita nas laterais dos declives). Sendo que as caixas de brita são mais seguras que as rampas de escape (Witthford, 1992 *apud* Zanolli e Setti, 2004).

4.2 PROJETO DE INTERSEÇÕES, RETORNOS E ACESSOS

A segurança e a eficiência operacional de uma rodovia rural dependem também do projeto, condições de operação e qualidade da manutenção das interseções e locais de acesso. O projeto de interseções pode ser considerado o item mais crítico no projeto de uma rodovia, pois as interseções são áreas que exigem muito da atenção dos condutores de veículos, principalmente quando essas são amplas, podendo confundir os motoristas nas aproximações (Da Costa e Figueiredo, 2001). Para tanto o projeto de interseções deve buscar assegurar circulação ordenada dos veículos e manter o nível de serviço da rodovia,

de modo a garantir a segurança nas áreas em que as suas correntes de tráfego sofrem a interferência de outras correntes, internas ou externas (DNIT, 2005).

Neste trabalho, o estudo do projeto de interseções, retornos e acessos, abordará os conceitos referidos nos documentos nacionais, especialmente no Glossário de Termos Técnicos Rodoviários (DNER, 1997), no Manual de Projetos de Interseções (DNIT, 2005) e no Manual de Implantação Básica de Rodovias (DNIT, 2010a), cabendo destacar as seguintes definições:

- Acessos – são interseções de uma rodovia com uma via de ligação a propriedades marginais, de uso particular ou público;
- Interconexão – interseção onde ocorrem cruzamentos de correntes de tráfego em níveis diferentes e ramos de conexão entre vias. É denominada também de interseção em desnível ou em vários níveis;
- Interseção – confluência, entroncamento ou cruzamento de duas ou mais vias;
- Interseção Canalizada: solução em que os movimentos do tráfego têm suas trajetórias definidas pela sinalização horizontal, por ilhas e outros meios, com o objetivo de minimizar os seus conflitos;
- Interseção em Gota – tipo de ilha divisória utilizado frequentemente em interseções, com formato que lembra uma gota d'água;
- Interseção em nível – interseção onde os cruzamentos de correntes de tráfego ocorrem no mesmo nível;
- Interseção Mínima: solução sem nenhum controle especial, aplicável normalmente onde o volume horário total (dois sentidos) em termos de Unidade de Carro de Passeio (UCP) da via principal for inferior a 300 e o da via secundária for inferior a 50;
- Ramos de interseção – pistas que conectam vias que se interceptam ou as ligam a outras vias ou ramos;
- Retorno – dispositivo de uma rodovia que permite a veículos de uma corrente de tráfego a transferência para a corrente de sentido contrário;
- Rótula (rotatória) – interseção na qual o tráfego circula num só sentido (anti-horário) ao redor de uma ilha central;
- Rótula vazada: solução em que as correntes diretas da via principal atravessam uma ilha central, em torno da qual as demais correntes circulam no sentido anti-horário;

- Interseção sem sinalização semafórica (luminosa): típica de zonas rurais onde o fluxo é controlado por sinalização horizontal e vertical;
- Interseção com sinalização semafórica (luminosa): típica de zonas urbanas onde o fluxo é controlado por semáforo.

4.2.1 Classificação das interseções

As interseções podem ser em nível e em desnível. As interseções em desnível são aquelas utilizadas quando existem vias e/ou ramos da interseção que se cruzam em cotas diferentes. Nas interseções em nível, ao contrário das em desnível, as vias se interceptam na mesma cota do ponto comum. Estas são classificadas em função do número de ramos (três ou “T”, quatro ou múltiplos ramos), das soluções adotadas (mínima, gota, canalizada, rótula e rótula vazada), e quanto ao controle de sinalização (sem sinalização semafórica e com sinalização semafórica). As interseções em nível ainda podem ser divididas em três subgrupos: cruzamento, quando uma via é cortada por outra; entroncamento, quando uma via começa ou termina em outra; e rotatória (Pimenta e Oliveira, 2004).

Para a escolha do tipo de interseção, DNIT (2005) argumenta que não existem critérios gerais de projeto. Porém, o projetista de transporte ao analisar os fatores relacionados com a condição da topografia, a geografia local, o volume do tráfego, a capacidade de escoamento do tráfego, o custo da obra, a segurança e o conforto dos usuários das vias, adota uma ou outra solução específica de interseção. Quanto à capacidade de escoamento do tráfego, o principal aspecto a observar é que as interseções escolhidas não resultem em locais favoráveis a congestionamentos de veículos, de modo a não gerar restrições ao escoamento do tráfego.

4.2.2 Principais características geométricas de interseções

A definição das características geométricas das interseções segue o mesmo princípio para o cálculo dos elementos de uma rodovia. Segundo DNIT (2005), o projetista ao calcular os elementos de uma interseção poderá utilizar especificações menos exigentes do que em projeto de rodovias de trechos contínuos, tendo em vista algumas diferenças no comportamento que o condutor adota ao se aproximar destas áreas, tais como a redução da velocidade. Desta forma, segue um resumo das principais características geométricas de

interseções em nível. Os critérios específicos para a consideração de cada uma dessas características são apresentados no Apêndice D.

4.2.2.1 Distâncias de Visibilidade

As distâncias de visibilidade são um dos principais elementos do projeto geométrico de interseções. Estes parâmetros são referidos no Manual de Projeto Geométrico de Interseções do DNIT (2005) como padrões de visibilidade proporcionados aos motoristas, de maneira que os condutores de veículos tenham uma visão desimpedida da interseção e acessos, possam sempre tomar as decisões necessárias (ajustar a velocidade do veículo ou parar) e, então iniciar uma manobra de travessia e finalmente concluí-la com segurança. Contudo, quando não houver possibilidade de acomodar uma adequada distância de visibilidade, as velocidades de aproximação devem ser controladas no cruzamento por um tipo de controle a fim de reduzir as velocidades em função da distância disponível (DNIT, 2005).

A distância de visibilidade necessária nas interseções é calculada com base nas características do veículo de projeto e de acordo com a velocidade do veículo, da distância percorrida durante os tempos de percepção, reação e frenagem (DNIT, 2005). Assim, a cada aproximação da via secundária, o motorista deve ter a área de visibilidade necessária e o trinômio - distância, tempo e velocidade - indica o triângulo de visibilidade livre necessário, conforme Figura 4.7.

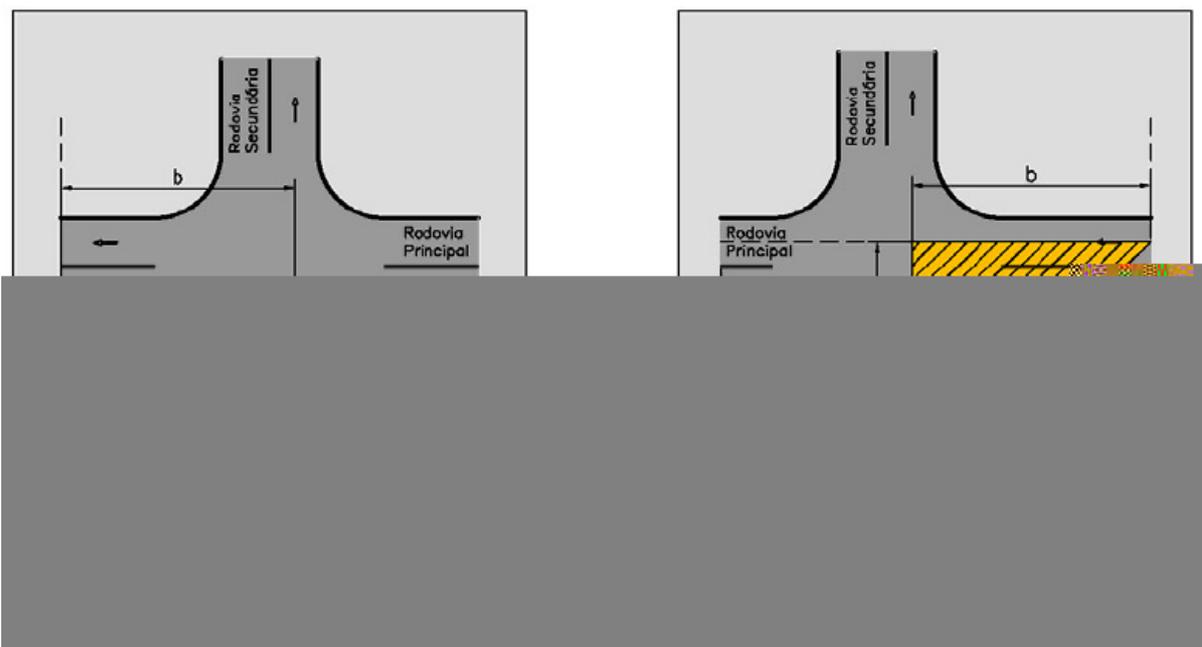


Figura 4.7 – Triângulo de visibilidade para tráfego em movimento e parado

Fonte: DNIT (2005)

Os triângulos de visibilidade devem ser livres de obstáculos cujas alturas possam obstruir a visão dos motoristas. Os obstáculos podem ser: postes, árvores, dispositivos de drenagem, defensas, muretas, muros (principalmente de arrimo), prédios, placas de sinalização, barreiras rígidas, meios-fios, taludes de corte, cercas vivas, árvores e canteiros de tratamento paisagístico.

Os triângulos de visibilidade e suas dimensões dependem dos dispositivos de controle de tráfego nas interseções, já que oferecem aos condutores diferentes restrições legais e diferentes comportamentos. Desta forma, de acordo com o dispositivo de controle utilizado, existem diferentes procedimentos para determinar as distâncias de visibilidade.

Por fim, tem-se a distância de visibilidade de parada que permite ao condutor, cuja vista está a uma altura de 1,10 m da pista, parar o veículo antes de alcançar um obstáculo com altura de 0,15m (DNIT, 2005). Essa distância é um elemento essencial para a segurança e eficiência do tráfego e está diretamente relacionada à distância percorrida durante o tempo de percepção, decisão e reação do condutor, cerca de 2,5s, a partir do momento em que o motorista vê o obstáculo e, ainda fornece a distância percorrida do início da frenagem até a completa parada do veículo.

As distâncias de visibilidade de parada em interseções rodoviárias são calculadas em função das velocidades diretrizes e estão apresentadas na Tabela 4.10, segundo valores de projeto adotados pelo DNIT (2005). Essas distâncias devem ser consideradas em todos os ramos, no alinhamento horizontal e vertical. A comparação das Tabelas 4.6 e 4.10 confirmam esta situação.

Tabela 4.10 - Distância de visibilidade de parada

Veloc. Diretriz (Km/h)	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Mínima (m)	15	20	30	45	60	75	90	110	130	155	180	205
Desejada (m)	15	20	30	45	65	85	110	140	175	210	255	310

Fonte: DNIT (2005)

4.2.2.2 Curvas Horizontais

Nas interseções podem ser usadas as curvas circulares simples, as compostas de dois ou três centros, ou as com transição em espiral. DNIT (2005) afirma que os projetos mais modernos de rodovias utilizam as curvas de transição, especialmente, em espiral. Contudo, estas curvas apresentam a desvantagem de envolverem cálculos mais complexos e são de difícil locação em campo.

Em um projeto de interseção, devem-se considerar vários aspectos ao adotar um tipo ou outro de curva. Os aspectos estão relacionados com a segurança dos pedestres, o ângulo de giro (quanto menor o ângulo, maior o raio, e vice-versa), os veículos (tipo, volume e a velocidade dos veículos); e os custos das desapropriações (raios maiores aumentam o custo das desapropriações). O Apêndice D apresenta os valores de raios mínimos necessários para a conversão de veículos de projeto em interseções.

Segundo DNIT (2005), os projetistas, com base no tráfego, devem usar o maior veículo de projeto que gira no local para a escolha do tipo de curva. Após o cálculo dos raios mínimos das curvas, calcula-se o comprimento mínimo das curvas em espirais e curvas compostas, com base na velocidade de projeto e raios da curva central (ver Apêndice D). Para DNIT (2005), nas curvas compostas, os raios devem ser inferiores a 1,75m e no máximo a 2m, de maneira a obter “um projeto sem variações bruscas de direção”.

4.2.2.3 Largura de Ramos e espaço livre lateral

Como mencionado anteriormente, os ramos são pistas que conectam vias ou outros ramos entre si. As suas larguras são constituídas pelas larguras da faixa de rolamento, do acostamento e/ou da faixa de segurança e, ainda, devem obrigatoriamente permitir que um veículo imobilizado seja ultrapassado, exceto quando em ramos de pequenas extensões (DNIT, 2005). As recomendações do DNIT (2005) para o cálculo das larguras de ramos são apresentadas no Apêndice D.

Nas interseções em áreas rurais, deve ser previsto os acostamentos ou faixas de segurança. Os acostamentos, normalmente, são à direita e os veículos pesados os utilizam como pista de giro (DNIT, 2005). As larguras mínimas dos acostamentos são apresentadas no Apêndice D.

4.2.2.4 Faixas de Mudança de Velocidade

Faixas de mudança de velocidade são faixas auxiliares para manobras utilizadas na rodovia para reduzir o potencial de acidentes. Estas faixas visam proporcionar espaço ideal para que os veículos que entram na rodovia, com uma velocidade mais baixa do que a de projeto, tenham tempo de acelerar e atingir a velocidade da via ou, ainda, desacelerar ao sair da via sem provocar conflitos ao fluxo de tráfego (DNIT, 2005).

Nas interseções de vias de alta velocidade e com volume de tráfego elevado é importante a utilização destas faixas, com largura e comprimento suficientes para a execução das variações de velocidade. Outros fatores, além da velocidade e volume de tráfego, são importantes para a inclusão das faixas auxiliares, tais como: percentagem de veículo pesado, e capacidade e tipo da rodovia.

Existem dois tipos de faixas de mudanças de velocidade, considerados satisfatórios quando bem projetados, que são: *taper*, utilizado como transição para deslocamento lateral para uma faixa paralela, segundo um ângulo muito pequeno, no início de uma faixa de desaceleração, no fim de uma faixa de aceleração e no início e fim das terceiras faixas

(DNER, 1999); paralelo, utilizado quando há um trecho de faixa auxiliar constante e em rodovias até a Classe I.

A Figura 4.8 indica os dois tipos de faixas de mudança de velocidade.

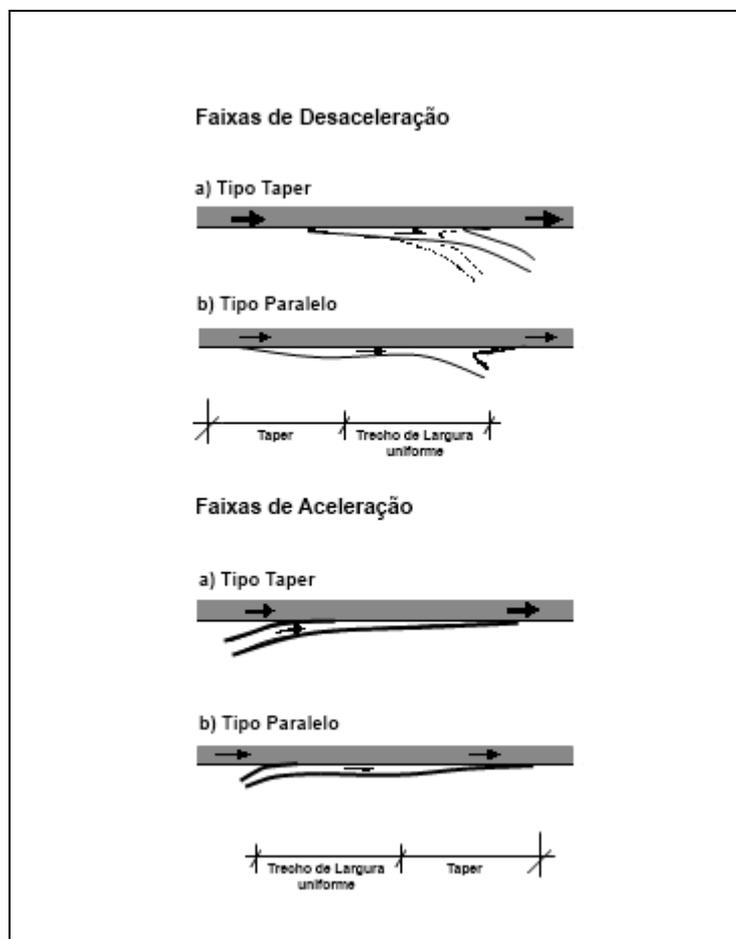


Figura 4.8 – Tipos de faixas de mudança de velocidade

Fonte: DNIT (2005)

Para o cálculo do comprimento do *taper*, DNIT (2005) considera adequado adotar um tempo médio de 3,5 segundos, que corresponde ao tempo necessário para desempenhar uma velocidade de deslocamento lateral de 1m/s para uma largura de 3,50m. O Apêndice D apresenta os comprimentos do *taper*, conforme as velocidades diretrizes da rodovia.

Para as faixas de mudança de velocidade do tipo paralelo, os comprimentos dos trechos de desaceleração e aceleração devem ter, pelo menos, a largura normal de uma faixa de trânsito em plena via. Em rodovias contendo trânsito intenso de veículos pesados, DNIT

(2005) argumenta que poderá haver necessidade de adotar valores de comprimentos das faixas de mudança de velocidade maiores que as recomendados, conforme tabelas apresentadas no Apêndice D.

4.2.2.5 Faixas de conversão à esquerda

As faixas de conversão à esquerda são faixas auxiliares destinadas aos veículos que desejam realizar manobras à esquerda (DNER, 1999). Estas visam à melhoria da segurança e operação nas interseções e funcionam como faixas de desaceleração e aceleração. Segundo DNIT (2005), nas rodovias rurais a conveniência da utilização das faixas de conversão está mais relacionada às condições de segurança do que aos volumes de tráfego, já que estas faixas reduzem efetivamente os números de acidentes por colisões traseiras ou laterais em interseções com ou sem iluminação.

Quanto à conveniência de utilizar as interseções com faixas de conversão à esquerda em rodovias de pistas simples, DNIT (2005) recomenda adotar os valores da AASHTO (2004), apresentados no Apêndice D.

Os projetos das faixas de conversão à esquerda levam os motoristas a adotar velocidades seguras e efetuar a transição suave para essas faixas. Para isso, é necessário que as faixas tenham pelo menos 3,0 m de largura e também tenham adequadas distâncias de visibilidade para ver o tráfego oposto.

Os canteiros centrais e as ilhas de tráfego são elementos utilizados nos projetos de interseções para desencorajar ou proibir movimentos indesejáveis e proteger pedestres e ciclistas. Quando o excedente do canteiro central for menor que 1,20m, pode-se reduzir a largura das faixas de conversão para 2,70 m e, ainda, quando se tratar de faixas deslocadas com ilhas divisórias, a largura dessas faixas deve estar no limite de 3,60 m a 4,20m (DNIT, 2005).

O comprimento das faixas de mudança de velocidade é constituído de *taper*, comprimento da desaceleração e comprimento para armazenamento de veículos (ver valores no Apêndice D).

4.2.2.6 Superelevação

Os critérios usuais utilizados nos projetos de rodovias também devem ser adotados nos projetos de interseções. Sendo recomendável, de acordo com DNIT (2005), proporcionar as maiores superelevações nos trechos circulares de interseções, especialmente nas curvas fechadas em declives.

O Apêndice D apresenta os valores a serem adotados para a superelevação de acordo com as velocidades de projeto e raios de curva.

4.2.2.7 Curvas verticais

As concordâncias dos trechos retos do greide são feitas com curvas circulares (côncavas e convexas) de raio grande ou parábolas do 2º grau. As curvas côncavas limitam a distância de visibilidade no período noturno e as curvas convexas são limitantes da distância de visibilidade nos períodos noturnos e diurnos (Coelho, 2010). As curvas verticais empregadas nas interseções seguem os mesmos critérios usuais utilizados nos projetos de rodovias, conforme já abordado neste trabalho.

4.2.3 Características geométricas dos acessos

Os acessos adequadamente projetados, em locais escolhidos, visam atender às necessidades dos usuários e devem interferir o mínimo possível no tráfego da rodovia (DNIT, 2006). As características geométricas dos acessos quanto à distância de visibilidade e faixas de mudanças de velocidade seguem os mesmos cálculos das interseções, já abordados neste trabalho (ver subitens 4.2.2.1 e 4.2.2.4).

Além dos valores mencionados no subitem 4.2.2.1, segundo DNIT (2005), as distâncias de visibilidade não podem ser inferiores a 200m e devem ser suficientes para uma tomada de decisão com relação a desvio de obstáculos, conforme valores da Tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Distâncias mínima de visibilidade para construção de acesso

Veloc de projeto para a rodovia (km/h)	≤70	80	90	100	110	120
Dist. Mínima de Visibilidade (m)	200	230	275	315	335	375

Fonte: DNIT (2006)

Tem-se, ainda, que a distância entre os acessos, interseção, ponte, viaduto, posto de pesagem, seguem as seguintes exigências (DNIT, 2006):

- em rodovia de pista simples, ou em pista dupla sem separação física, a distância entre dois acessos não pode ser inferior a 500m;
- em rodovia de pista dupla com separação física, a distância é, no mínimo, de 500 m, para acessos do mesmo lado da rodovia, e de 200 m, quando os acessos estão posicionados em lados opostos e a separação física é feita por canteiro central com meios-fios;
- a distância entre um acesso e uma ponte/viaduto deve ser de 500 m;
- a distância entre um acesso e um posto de pesagem/posto de pedágio/posto da Polícia Rodoviária Federal deve ser de 1.000 m.

4.3 PROJETO DE SINALIZAÇÃO VIÁRIA

Os projetos de sinalização rodoviária devem ser elaborados de forma criteriosa em virtude da sua importância para a promoção da segurança na circulação dos veículos. A sinalização viária é uma das medidas adotadas para prevenção e/ou redução de acidentes de trânsito. O Código de Trânsito Brasileiro – CTB, Anexo I da Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 (Brasil, 1997) define sinalização como o “conjunto de sinais de trânsito e dispositivos de segurança dispostos na via com a finalidade de garantir sua utilização adequada e possibilitar fluidez no trânsito e maior segurança”.

Na implantação da sinalização viária, é importante garantir aos usuários da via a eficácia dos sinais, levando em consideração os seguintes princípios, de acordo com o Manual de Sinalização do Trânsito – Volume IV- Sinalização Horizontal (CONTRAN, 2007a):

- legalidade: obedecer ao CTB e legislação complementar;
- suficiência: possibilitar a compreensão do objetivo da sua utilização, usando dispositivos em quantidade compatível com a necessidade;

- padronização: seguir os padrões estabelecidos na legislação;
- uniformidade: adotar critérios semelhantes para a sinalização de situações similares;
- clareza: transmitir mensagens objetivas de fácil compreensão;
- precisão e confiabilidade: corresponder à situação existente; ter credibilidade;
- visibilidade e legibilidade: ser vista e lida, no caso de placas, à distância necessária para permitir sua interpretação em tempo hábil para a tomada de decisão; e
- manutenção e conservação: estar permanentemente limpa, conservada, visível e devidamente fixada.

A sinalização rodoviária é composta pela sinalização horizontal, sinalização vertical, dispositivos auxiliares, sinalização semafórica e sinalização de obras. Também os gestos de agentes da autoridade de trânsito e de condutores são considerados pelo Anexo II do CTB como parte integrante da sinalização. Todos esses componentes estão padronizados de acordo com o que determina o CTB, e o Conselho Nacional de Trânsito está elaborando o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, composto pelos seguintes volumes: I – Sinalização Vertical de Regulamentação; II – Sinalização Vertical de Advertência; III – Sinalização Vertical de Indicação; IV – Sinalização Horizontal; V – Sinalização Semafórica; VI – Sinalização de Obras e Dispositivos Auxiliares.

Desses, já foram aprovados e publicados os volumes I, II e IV. Os demais estão em fase de elaboração. Assim, na elaboração dos projetos de sinalização viária devem ser respeitados tanto o Anexo II do CTB quanto os volumes do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito que já foram aprovados pelo CONTRAN.

Nas rodovias federais, é de responsabilidade do DNIT e, também da ANTT, por meio das concessionárias, implantar, manter e operar o sistema de sinalização, os dispositivos e os equipamentos de controle viário (Brasil, 1997). Para efeito desta pesquisa, somente será considerado o projeto de sinalização horizontal, vertical e dispositivos auxiliares (exceto os dispositivos de uso temporário).

4.3.1 Sinalização Horizontal

A sinalização horizontal é constituída por marcas pintadas sobre o pavimento da rodovia, representando um conjunto de sinais integrados por linhas, marcações, símbolos ou

legendas em tipos e cores diversas. Essa sinalização tem como finalidade regulamentar, advertir e/ou indicar aos usuários da via, de forma a torná-la mais eficiente e segura tanto em relação às condições climáticas adversas (neblina e chuva) quanto às condições de geometria da rodovia (DAER, 2006). Outra finalidade da sinalização horizontal é orientar o tráfego noturno ao fornecer aos motoristas a delimitação das faixas de trânsito e do bordo da pista (DNIT, 2010c).

A sinalização horizontal é classificada em cinco tipos: marcas longitudinais, que separam e ordenam os fluxos de tráfego e regulamentam a ultrapassagem; marcas transversais, que ordenam os deslocamentos de veículos (frontais) e de pedestres, induzem a redução de velocidade e indicam posições de parada em interseções e travessia de pedestres; marcas de canalização, que direcionam os fluxos veiculares em situações que provoquem alterações na trajetória natural, como nas interseções, nas mudanças de alinhamento da via e nos acessos; marcas de delimitação e controle de parada e/ou estacionamento, que delimitam e controlam as áreas onde o estacionamento ou a parada de veículos é proibida ou regulamentada; inscrições no pavimento, que orientam e advertem o condutor quanto às condições de operação da via (DNIT, 2010c).

Nas rodovias, o tipo de sinalização horizontal mais comum são as marcas longitudinais. Essas também são chamadas de linhas longitudinais e têm a função de definir os limites da pista de rolamento, orientar a trajetória dos veículos, regulamentar as possíveis manobras de mudança de faixa ou de ultrapassagem e, ainda regulamentar as faixas de uso exclusivo ou preferencial de ônibus ou bicicletas e faixas reversíveis. Essas linhas possuem largura variável em função da velocidade regulamentada na rodovia e devem ter largura de 10cm, para velocidade menores a 80km/h, e largura de 15 cm, para velocidades superiores ou iguais a 80km/h (CONTRAN, 2007a).

As marcas longitudinais, de acordo com a função, classificam-se em (CONTRAN, 2007a):

- linhas de divisão de fluxos opostos (LFO): separam os movimentos veiculares de sentidos contrários e regulamentam a ultrapassagem e os deslocamentos laterais;
- linhas de divisão de fluxos de mesmo sentido (LMS): “separam os movimentos veiculares de mesmo sentido e regulamentam a ultrapassagem e a transposição”;
- linhas de borda (LBO): linha simples contínua branca que delimita a parte da pista destinada ao fluxo de veículos, estabelecendo o limite lateral da via. Sua utilização é

recomendada quando o acostamento não for pavimentado ou quando for pavimentando de cor semelhante ao acostamento, antes e ao longo de curvas mais acentuadas, em rodovias de trânsito rápido;

- linhas de continuidade (LCO): linha simples tracejada branca ou amarela que dá continuidade a outras demarcações longitudinais que sofreram quebra no seu alinhamento visual, em trechos longos ou em curvas; e
- marcas longitudinais específicas: visam a segregação do tráfego e o reconhecimento imediato dos usuários.

Dentre as marcas longitudinais, uma das que afetam de modo mais severo as condições de segurança são as LFO. Essas linhas são de cor amarela e podem ser contínuas (proibida a ultrapassagem) ou tracejadas (ultrapassagem permitida). De acordo com DNIT (2010c) e DAER (2006), as LFO, com a finalidade de proibir a ultrapassagem, são aplicadas nos seguintes casos: em rodovias de pista simples; nos trechos com insuficiência de visibilidade para realizar ultrapassagem; nos locais de áreas de transição de largura de pista; nos trechos onde existam pontes estreitas; e outros.

As distâncias de visibilidade para ultrapassagem variam em função das velocidades de projeto e estão representadas na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Distância mínima de Visibilidade de Ultrapassagem

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

Fonte: MUTCD (2003 *apud* CONTRAN, 2007a)

Segundo CONTRAN (2007a) nas pontes, viadutos e túneis devem ser utilizadas linhas de proibição de ultrapassagem, com início a 150,00 m antes da obra de arte e término 80,00m depois, de acordo com o sentido do tráfego. Já para DNIT (2010c), o comprimento mínimo

a ser adotado para as LFO é de 152 metros. A Figura 4.9 apresenta a utilização de linhas de proibição de ultrapassagem em pontes, segundo CONTRAN (2007a).

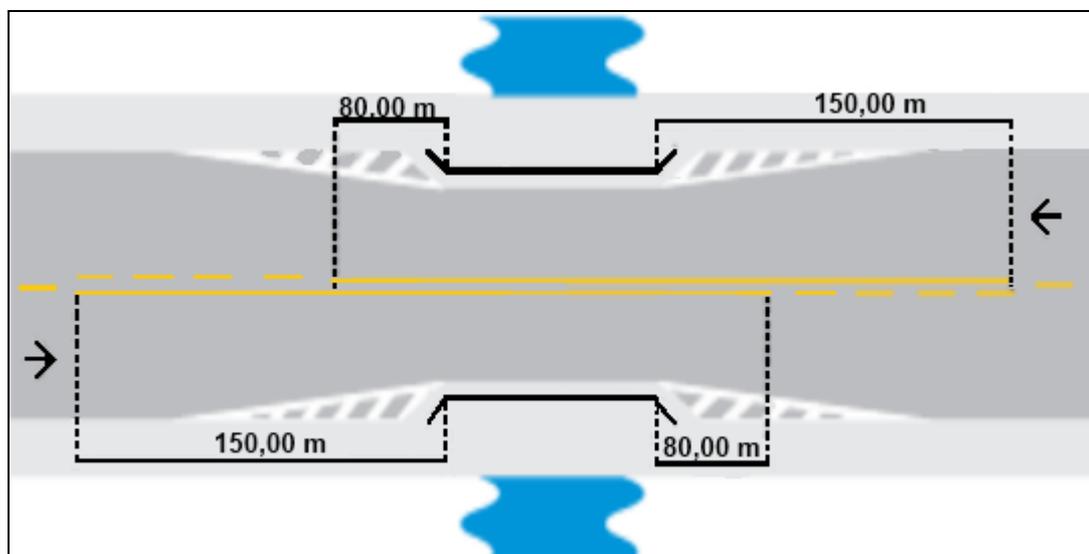


Figura 4.9– Utilização de linhas de proibição de ultrapassagem

Fonte: CONTRAN, 2007

Nas curvas verticais e horizontais, considerando que a altura de visada do observador em relação à superfície do pavimento é de 1,2 metros, a proibição de ultrapassagem em uma rodovia ocorre a partir do ponto em que a distância de visibilidade é menor do que a estabelecida na Tabela 4.12. Na Figuras 4.10 e 4.11, estão representados os traçados da zona de proibição de ultrapassagem, respectivamente, nas curvas verticais e horizontais, a partir do projeto geométrico da rodovia em perfil.

No que diz respeito às marcas transversais, cabe destacar as faixas de travessia de pedestres, as linhas de retenção e as linhas de estímulo à redução de velocidade como elementos que afetam diretamente a segurança de todos os usuários das vias. Segundo CONTRAN (2007a), as Linhas de Retenção (LRE) devem ser usadas antecedendo as faixas de pedestres, cruzamento com ciclovias e ferrovias, nas aproximações de interseções semaforizadas e em locais que sua utilização seja necessária, por questões de segurança. O comprimento da LRE deve abranger toda a largura da pista de tráfego e quando houver faixa de pedestres, a LRE deve ser colocada a 1,60m do início da referida faixa.

Já as Linhas de estímulo a redução de velocidade (LRV) podem ser utilizadas em curvas e declives acentuados, cruzamentos rodoferroviários, ondulações transversais e outros locais

que os estudos técnicos indiquem (CONTRAN, 2007a). Essas linhas são marcas compostas por várias linhas contínuas de cor branca, colocadas transversalmente ao fluxo de veículos, com espaçamento entre si variável e decrescente no sentido do tráfego. As LRV visam transmitir aos condutores a sensação de aumento de velocidade e fazer com os motoristas reduzam a velocidade dos veículos até a desejável ao atingir o final das linhas.

Finalmente, as faixas de travessia de pedestres (FTP) são linhas dispostas transversalmente ao eixo da via, para determinar a área destinada à travessia de pedestres e regulamentar a prioridade de passagem dos pedestres em relação aos veículos (CONTRAN, 2007a). Essas faixas devem ser utilizadas em locais com semáforos ou não, no qual o volume de pedestres for significativo, tais como escolas, hospitais, postos de saúde, entre outros.

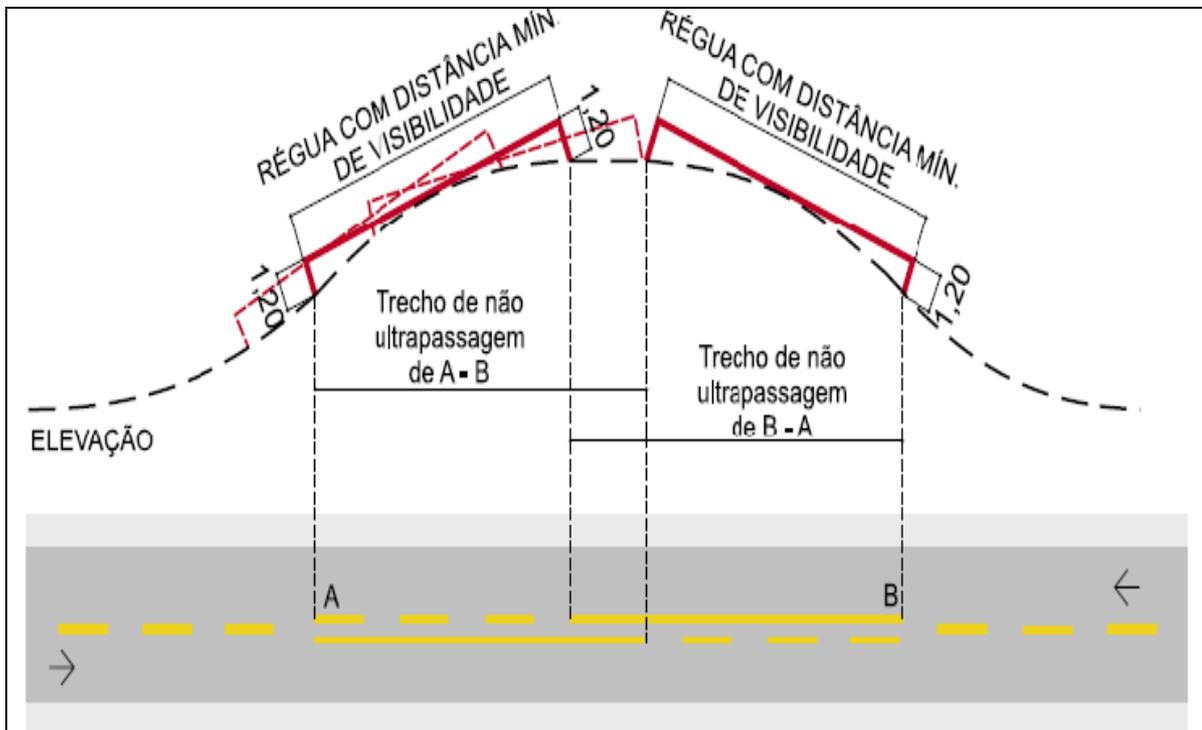


Figura 4.10– Distância de Visibilidade de Ultrapassagem em curva vertical

Fonte: CONTRAN (2007a)

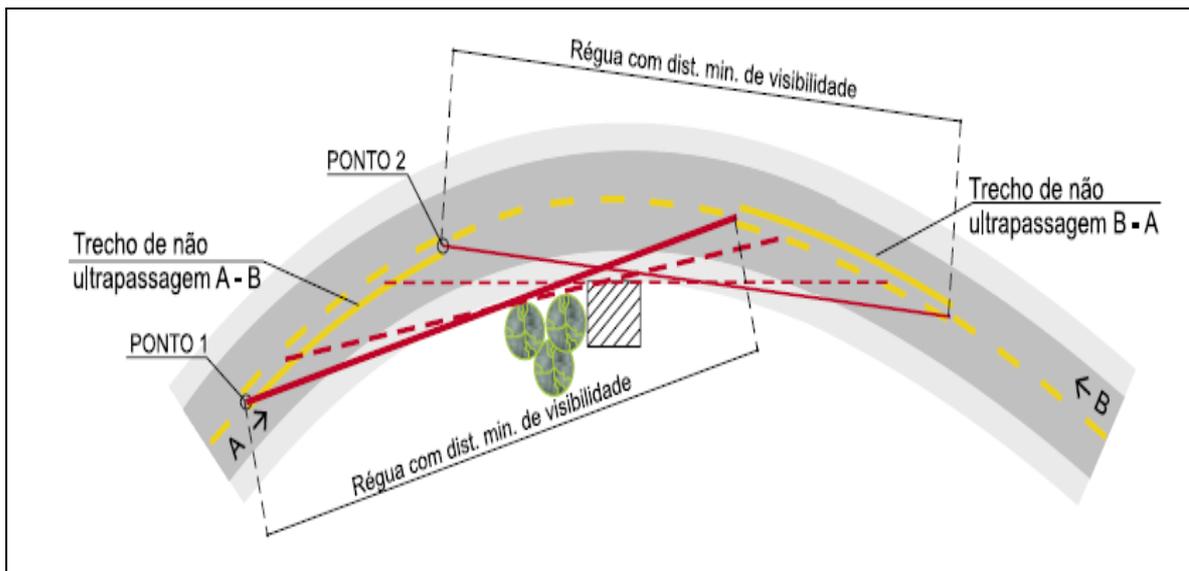


Figura 4.11 – Distância de Visibilidade de Ultrapassagem em curva horizontal

Fonte: CONTRAN (2007a)

Além das questões referentes às LFO, a verificação completa do projeto de sinalização horizontal deve considerar as recomendações apresentadas no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, especificamente no Volume IV – Sinalização Horizontal (CONTRAN, 2007a).

4.3.2 Sinalização Vertical

A sinalização vertical é estabelecida por meio de placas, painéis ou dispositivos auxiliares, situados na posição vertical e implantados à margem da rodovia ou suspensos sobre ela. Esse tipo de sinalização tem a função de regulamentar o uso da via, advertir para situações potencialmente perigosas ou problemáticas, fornecer indicações, orientar e informar aos usuários, bem como fornecer mensagens educativas (DNIT, 2010c).

Para que a utilização do dispositivo de sinalização vertical seja eficaz é preciso que a implantação da sinalização esteja dentro do campo visual do usuário da rodovia, que possua mensagens expostas de forma objetiva e clara, e que as mensagens estejam legíveis para os motoristas. A ilegibilidade das placas está relacionada à falta de manutenção, seja por parte dos órgãos públicos ou da empresa responsável pela manutenção da via ou a problemas de dimensão das placas, sinais e/ou letras utilizadas.

Além do mais, para ajudar no entendimento por parte do motorista, as placas são padronizadas de acordo com o tipo de mensagem que pretendem transmitir e os símbolos e legendas devem ser similares aos especificados no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volumes I, II e III do CONTRAN. Quanto à visualização das cores, a sinalização deve manter-se inalterada tanto de dia quanto de noite.

Os sinais, de acordo com a funcionalidade, podem ser classificados nos seguintes tipos: Sinais de regulamentação; Sinais de advertência; e Sinais de indicação. A Tabela 4.13 apresenta um breve resumo das principais categorias de sinais verticais, objetivos e respectivas cores e formas.

Tabela 4.13 – Principais categorias de sinalização vertical

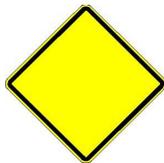
Sinais	Objetivo	Cor	Forma
Regulamentação	Notificar o usuário sobre as permissões, restrições, proibições e obrigações que governam o uso da rodovia	- Fundo: branco - Símbolo: preta - Tarja: vermelha - Orla: vermelha - Letras: preta	Circular 
Advertência	Chamar a atenção dos usuários para situações potencialmente perigosas, obstáculos ou restrições existentes, na rodovia ou nas adjacências, indicando a natureza dessas situações à frente, quer sejam permanentes ou eventuais	- Fundo: amarela - Símbolo: preta - Orla interna: preta - Orla externa: amarela - Legenda: preta	Quadrada 

Tabela 4.13 – Principais categorias de sinalização vertical (Continuação)

Sinais	Objetivo	Cor	Forma
Indicação Placas de Identificação	Orientar os usuários da via no deslocamento, fornecendo as mensagens de direção, sentido e distâncias, exceto em relação a nomes de rodovias.	- Fundo: verde - Orla interna: branca - Orla externa: verde - Tarja: branca - Legenda: branca	Retangular 
	Orientar os usuários da via no deslocamento, fornecendo mensagens dos nomes de municípios, regiões, logradouros, rodovias/estradas, pontes, viadutos, passarelas, túneis e pedágios.	- Fundo: azul - Orla interna: branca - Orla externa: azul - Tarja: branca - Legenda: branca	Retangular 
	Identificar as rodovias e estradas federais	- Fundo: branca - Orla interna: preta - Orla externa: branca - Tarja: Preta - Legenda: preta	Brasão 
	Identificar as rodovias e estradas estaduais	- Fundo: branca - Orla interna: preta - Orla externa: branca - Legenda: preta	
Indicação Placas de Educação	Fornecer aos motoristas preceitos gerais que o ajudem a praticar uma direção segura na rodovia e, ainda, procedimentos básicos de segurança a serem adotados em situações de caráter, tanto geral, como a mensagem “OBEDEÇA À SINALIZAÇÃO”, como específico, como no caso da mensagem “TRECHO SUJEITO A NEBLINA”.	- Fundo: branca - Orla interna: preta - Orla externa: branca - Tarja: preta - Legendas: preta - Pictograma: preta	Retangular 
Indicação Placas de Serviços Auxiliares	Informar os usuários quanto à existência de serviços ao longo da via, tais como: postos de abastecimento, restaurante, hotel, aeroporto, informação turística, pedágio, borracheiro, etc.	Fundo: Azul Quadro interno: branca - Seta: branca - Legenda: branca - Pictograma fundo: branca - Pictograma figura: preta	Retangular e quadro interno quadrado 

Tabela 4.13 – Principais categorias de sinalização vertical (Continuação)

Sinais	Objetivo	Cor	Forma
<p>Indicação</p> <p>Placas de Distância de Atrativos Turísticos</p>	<p>Sinalizar locais que sejam de interesse turístico e geradores de viagens.</p>	<p>- Fundo: Marrom - Orla interna: branca - Orla externa: marrom - Legendas: branca - Pictograma fundo: branca - Pictograma figura: preta</p>	<p>Retangular</p> 

Fonte: Adaptada de CONTRAN (2007b)

No tocante ao posicionamento da sinalização vertical, as placas são instaladas na rodovia tanto na lateral, especialmente na margem direita da via, quanto suspensas sobre a pista. Em vias com três ou mais faixas de trânsito, segundo CONTRAN (2007b) e CONTRAN (2007c), deve-se também colocar as placas no lado esquerdo da via. Em todos os casos, os sinais posicionados na margem da rodovia devem manter certa distância da via, sempre dentro do campo visual do motorista. Para manter uma boa visibilidade e leitura dos sinais, as placas são instaladas na vertical de maneira a formar um ângulo de 93° a 95° em relação ao sentido do fluxo de tráfego com o objetivo de evitar reflexos provocados pela incidência de faróis de veículos ou de raios solares sobre a placa.

De acordo com CONTRAN (2007b) e CONTRAN (2007c), nas rodovias em área rural, a altura e o afastamento lateral de instalação das placas são definidos da seguinte maneira:

- altura das placas: mínimo de 1,20m a contar da borda inferior da placa à superfície da pista de rolamento,
- altura das placas suspensas: mínima é de 5,50m;
- afastamento lateral: mínimo de 1,20m do bordo externo do acostamento, ou pista, quando o acostamento não existir. Para placas suspensas o afastamento deve ser 1,80m entre o suporte e o bordo externo do acostamento ou pista;
- afastamento lateral de vias com dispositivos de proteção contínua (defensas ou barreiras): é de 0,80m a contar do dispositivo.

Além da altura e afastamento lateral que devem ser observados na instalação da sinalização, também é importante considerar a distância mínima necessária para sua visibilidade. A distância de visibilidade necessária para a visualização do sinal de

regulamentação (ver Figura 4.12) é composta pela distância de percurso na velocidade de projeto, correspondente ao tempo de percepção e reação, acrescida da distância que vai desde o ponto limite do campo visual do motorista até o sinal (DNIT, 2010c).

O CONTRAN (2007b), para o caso de vias com velocidade elevada recomenda manter uma distância mínima de 50m entre placas para garantir a leitura dos sinais. Apresenta, também, recomendações específicas para o posicionamento das placas em função do tipo de sinal. Destaca-se aqui os procedimentos definidos para o posicionamento das placas com o sinal R-19 (Velocidade Máxima Permitida) e para os sinais R-1 (Parada Obrigatória) e R-2 (Dê a Preferência).

Nas interseções, a sinalização de regulamentação de preferência de passagem a ser implantada é classificada em dois tipos: de “Parada Obrigatória” (R-1) e “Dê a Preferência” (R-2). O sinal de parada obrigatória dos veículos (R-1), conhecido também como sinal de Pare, é um dispositivo eficiente de controle de tráfego nas interseções e seu uso deve ser restringido às “situações em que a parada de veículos for realmente necessária” e que a simples redução da velocidade for considerada perigosa para o trecho (CONTRAN, 2007c).

Junto às interseções, o sinal de Pare deve ser utilizado antes de o motorista cruzar uma interseção sem controle de semáforo ou “em vias transversais, junto a interseções consideradas preferenciais, devido suas condições geométricas, de volume de tráfego ou continuidade física” ou ainda nas interseções quando a via secundária apresentar visibilidade limitada (CONTRAN, 2007c). Esse sinal deve ser implantado no lado direito da rodovia, podendo ser acompanhado pela linha de retenção (LRE) e da palavra “PARE” pintada no pavimento.

Segundo CONTRAN (2007c), nas rodovias a placa R-1 deve ser o colocada no mínimo a 1,5m, e no máximo a 15m do meio-fio ou do bordo da pista transversal. Já para DNIT (2010), o sinal pode ser posicionado no mínimo a 1,5m, e no máximo a 5,0m (situação sem canalização) em relação à via principal.

O sinal de “Dê a preferência” tem como objetivo fazer com que o veículo ao entrar na via principal reduza a velocidade ou, se necessário, pare o veículo e respeite a preferência do

fluxo de veículos que circulam na via principal. O posicionamento desse sinal deve ser antes das interseções, no lado direito da rodovia, e a uma distância entre 1,5m a 15m do “prolongamento do meio-fio ou bordo da pista transversal ou canteiro central” (CONTRAN, 2007).

Destaca-se que a análise do projeto de sinalização vertical de regulamentação deve levar em conta os princípios gerais da sinalização viária e as demais recomendações do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, constantes do Volume I – Sinalização Vertical de Regulamentação (CONTRAN, 2007b).

A Tabela 4.14 apresenta as distâncias mínimas de colocação das placas com relação à velocidade de projeto, segundo Manual de Sinalização (DNIT, 2010c).

Tabela 4.14 – Sinalização de Regulamentação - Distâncias mínimas x Velocidade

Velocidade de Projeto (Km/h)	Distância mínima de visibilidade (m)
40	70
60	85
80	105
100	120
110	130

Fonte: DNIT (2010c)

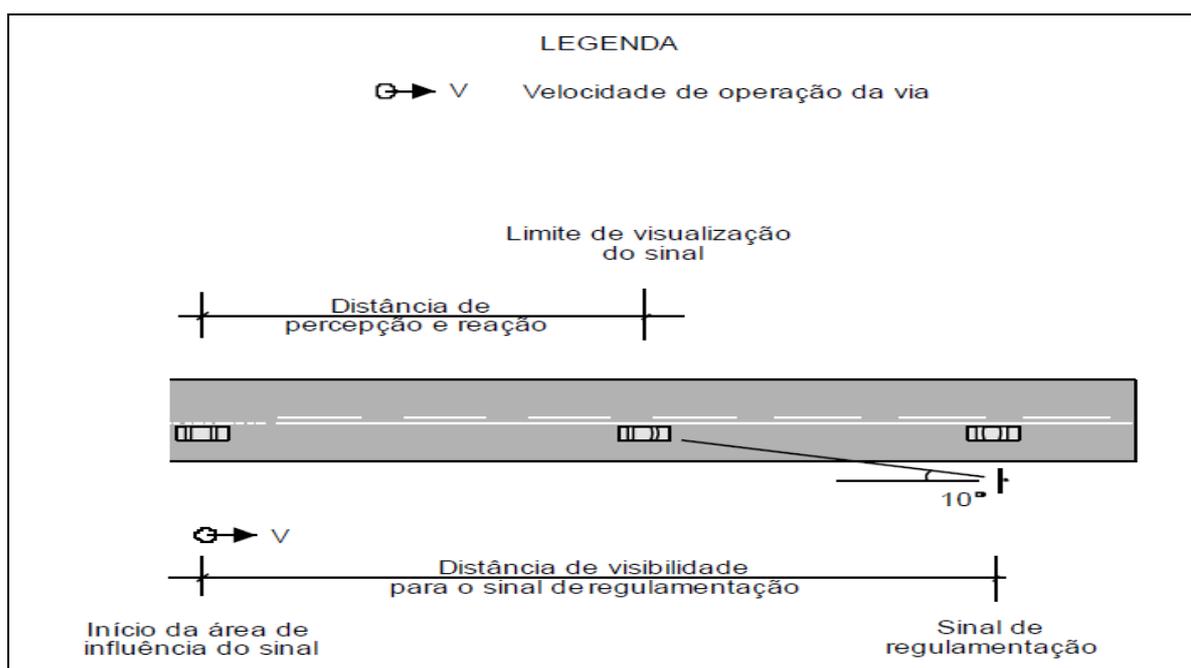


Figura 4.12 – Posicionamento da sinalização de regulamentação- distância de visibilidade

Fonte: DNIT (2010c)

Para a visualização da sinalização de advertência, CONTRAN (2007c) determina que as distâncias de visibilidade e a distância de desaceleração e/ou manobra devem ser observadas quando do posicionamento do sinal. A Tabela 4.15 relaciona as distâncias mínimas de visibilidade de acordo com as velocidades de aproximação, para um tempo de reação e percepção de 2,5s e na Tabela 4.16 estão indicadas as distâncias mínimas necessárias para desaceleração e/ou manobra entre a placa e o ponto crítico com base na velocidade de aproximação do veículo e na velocidade final para garantir segurança.

Tabela 4.15 – Sinalização de Advertência - Distâncias mínimas x Velocidade

Velocidade de aproximação (Km/h)	Distância mínima de visibilidade (m)
40	60
50	70
60	80
70	85
80	95
90	105
100	115
110	125
120	135

Fonte: CONTRAN (2007c)

Tabela 4.16 – Sinal de Advertência – Distâncias mínimas de desaceleração e/ou manobra

Velocidade Aproximação (km/h)	Distância de desaceleração e/ou manobra – (m):												
	Veloc. km/h	zero	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
40	Distância (m)	31	29	23	14	-							
50		48	46	41	31	17	-						
60		69	68	62	52	39	21	-					
70		95	93	87	77	64	46	25	-				
80		123	122	116	106	93	75	54	29	-			
90		156	154	149	139	125	108	87	62	33	-		
100		193	191	185	176	162	145	123	98	69	37	-	
110		232	231	226	216	203	185	164	139	110	77	41	-
120		278	276	270	260	247	230	208	183	154	122	85	44

Fonte: CET (1978 *apud* Contran, 2007)

Na Figura 4.13 está representada a distância mínima de visibilidade, na qual também está incluído o trecho anterior à placa, em que o condutor deixa de visualizar o sinal de advertência (trecho crítico), do ponto onde a trajetória do veículo forma um ângulo de 10° em relação à placa.



Figura 4.13– Posicionamento da sinalização de advertência - distância de visibilidade
Fonte: CONTRAN (2007c)

Dentre os diferentes sinais da sinalização vertical de advertência, cabe especial destaque aos empregados nas curvas horizontais. Estes se aplicam a curvas isoladas (sinais A-1a, A-1b, A-2a e A-2b) e a sequências de curvas (A-3a e A-3b, A-4a, A-4b, A-5a e A-5b).

Segundo CONTRAN (2007c), esses tipos de sinalização devem ser utilizados sempre que existir curva horizontal em rodovias em que as velocidades de aproximação acarretem manobras que comprometam a segurança dos usuários da via.

O que ocorre quando as curvas enquadrarem-se nas condições indicadas na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 – Sinalização de curvas – Fatores geométricos

Sinal	Tipo de curva	Raio da curva (R)	Ângulo central (α)	Velocidade (V)
A-1a e A-1b	Curva acentuada	$R \leq 60$	$\alpha > 30^\circ$	$V \leq 45$
		$60 < R \leq 120$	$\alpha \geq 45^\circ$	$45 \leq V \leq 60$
A-2a e A-2b	Curva	$60 \leq R < 120$	$30^\circ \leq \alpha < 45^\circ$	-
		$120 \leq R < 450$	$\alpha \leq 45^\circ$	
A-4a e A-4b	Curva acentuada “S”	$R \leq 60$	$\alpha > 30^\circ$	$V \leq 45$
		$60 < R \leq 120$	$\alpha \geq 45^\circ$	$45 \leq V \leq 60$
A-5a e A-5b	Curva em “S”	$60 \leq R < 120$	$30^\circ \leq \alpha < 45^\circ$	-
		$120 \leq R < 450$	$\alpha \leq 45^\circ$	

Obs: Os sinais A-3a e A-3b são utilizados quando existir a sequência de 3 ou mais curva horizontais sucessivas. Estas curvas devem estar separadas por tangentes menores que 120m.

Fonte: Adaptada de CONTRAN (2007c)

De acordo com CONTRAN (2007c), tem-se a situação de curva em “S” quando duas curvas sucessivas reversas possuem entre si um trecho em tangente com comprimento inferior a 120m. Já sinais de pistas sinuosas à esquerda ou à direita são utilizados para advertir os motoristas da existência de três ou mais curvas horizontais sucessivas separadas por tangentes menores que 120m.



Figura 4.14 – Sinalização de advertência em curva acentuada em S

Fonte: CONTRAN (2007c)

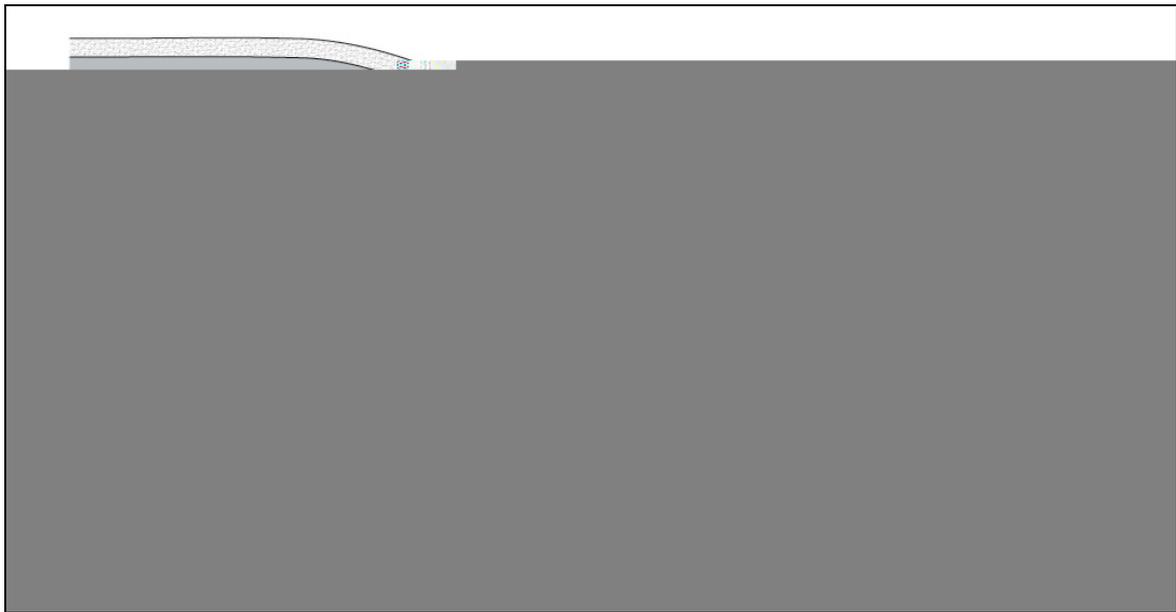


Figura 4.15 – Sinalização de advertência em curva em S

Fonte: CONTRAN (2007c)

Outro sinal de advertência muito importante nos projetos de sinalização é o que indica aos usuários, principalmente aos condutores de veículos de carga, o início de uma rampa acentuada em descidas (sinais A-20a). As rampas que justificam a implantação de

sinalização vertical são as aquelas que se enquadram nos fatores geométricos da via, indicados na Tabela 4.18.

Tabela 4.18- Declive acentuado - condições de rampa

Greide (%)	Extensão (m)
5	1000
6	600
7	300
8	230
9	150

Fonte: DER-SP (2006 *apud* DNIT, 2010c)

A exemplo do referido na sinalização vertical de regulamentação, a análise do projeto de sinalização vertical de advertência deve levar em conta as disposições do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, apresentadas no seu Volume II – Sinalização Vertical de Advertência (CONTRAN, 2007c).

Outro tipo de sinalização vertical utilizada é a denominada sinalização dinâmica. Essa é exposta por meio de painéis de mensagem variável (fixo ou móvel) e tem como objetivo fornecer aos usuários informações em tempo real sobre condições da rodovia, do tráfego e climáticas (DNIT, 2010c). Também informam sobre a localização de incidentes, rotas alternativas e confirmação de percurso, e a existência e localização de serviços de atendimento ao usuário.

Cabe destacar também a sinalização de indicação, que se destina a orientar os usuários da rodovia, fornecer as informações necessárias para a definição das direções e sentidos a serem seguidos, e apresentar informações quanto às distâncias a serem percorridas nos diversos segmentos do trajeto (DNIT, 2010c).

Na sinalização de indicação, um dos elementos importantes para a promoção da segurança, especialmente em rodovias de pista dupla com mais de uma faixa de tráfego por sentido, são as placas de identificação de saídas. Com base nas informações dessas placas, usadas nas proximidades das saídas, e também das placas de pré-sinalização que são colocadas a uma distância das saídas para orientar os motoristas a mudar de faixa e colocar o veículo

em posição próxima para a saída em segurança, evita-se manobras bruscas de mudança de faixa junto aos pontos de saída.

Cabe destacar que o volume do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito que tratará da sinalização de indicação ainda não foi aprovado pelo CONTRAN. Desse modo, as orientações constam do Manual de Sinalização do DNIT (2010c).

4.3.3 Dispositivos Auxiliares

Os dispositivos auxiliares são previstos no Anexo II do CTB e são elementos que podem ser empregados no pavimento ou junto da rodovia, ou ainda em obstáculos próximos, de modo que a torná-la segura e eficiente (Brasil, 2008). De acordo com a função, os dispositivos auxiliares são classificados como: dispositivos delimitadores; dispositivos de canalização; dispositivos de sinalização de alerta; alterações nas características do pavimento; dispositivos de proteção contínua; dispositivos luminosos; dispositivos de proteção a áreas de pedestres e/ou ciclistas; e dispositivos de uso temporário.

Esses dispositivos terão sua utilização tratada no Volume VI do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, que está em fase de elaboração no CONTRAN. Na ausência de uma regulamentação nacional pelo CONTRAN sobre critérios e condições de uso dos dispositivos auxiliares, hoje o DNIT e diferentes órgãos rodoviários estaduais estabelecem critérios próprios. Este trabalho focou-se nas orientações apresentadas pelo DNIT, dada sua abrangência nacional.

DNIT (2010c) denomina os dispositivos auxiliares como dispositivos auxiliares de percurso. O objetivo desses dispositivos é sinalizar os trechos potencialmente perigosos para propiciar aos motoristas de veículos melhor visibilidade a situações que requeiram mais atenção, principalmente em curvas acentuadas ou em trechos sujeitos à neblina (DNIT, 2010c).

DNIT (2010c) recomenda o uso dos seguintes dispositivos nas rodovias:

- balizadores: dispositivos refletorizados instalados na área lateral da pista e têm como objetivo melhorar as condições de visibilidade noturna, direcionar os veículos quando

houver má visibilidade causada por condições adversas de tempo, e realçar o contorno de curvas acentuadas oferecendo uma melhor visualização do traçado da via.

- marcadores de obstáculos: indicados para assinalar obstruções na via, tais como: canteiros estreitos separadores de pistas, guarda-corpos de pontes estreitas, emboques de túneis, pontilhões, passagens sob viadutos e redução da largura da rodovia devido a obras;

- delineadores: indicados para assinalar o alinhamento da borda (sinalização de alerta). São posicionados em curvas acentuadas e nas transições com diminuição de largura de pista. Tipos de delineadores são as tachas, tachões, botões, calotas e prismas.

Os dispositivos auxiliares são das cores amarelo e preto, as mesmas cores dos sinais de advertência, com exceção dos balizadores. Segundo DNIT (2010c), os balizadores estão em desuso em virtude da existência de novos dispositivos de alerta, fabricados em material resistente às intempéries.

Quanto ao posicionamento dos dispositivos auxiliares (balizadores, marcadores de obstáculos e delineadores) na rodovia, esses serão apresentados no Apêndice D.

4.4 PROJETO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO (DEFENSAS E BARREIRAS)

Os dispositivos de proteção são previstos no Anexo II do CTB e de acordo com a função, esses dispositivos são classificados como: Dispositivos para Fluxo de Pedestres e Ciclistas: (Gradis de Canalização e Retenção; Dispositivos de Contenção e Bloqueio); Dispositivos para Fluxo Veicular (Defensas Metálicas; Barreiras de Concreto; Dispositivos Anti-ofuscamento). Dado o propósito desta dissertação, o foco desta seção é nas defensas metálicas e barreiras de concreto.

As barreiras e defensas são dispositivos de proteção colocados de forma permanente ao longo de rodovias, interseções, ramos e acessos. Estes dispositivos são confeccionados em material flexível, maleável, semi-maleável ou rígido e têm por objetivos: manter, redirecionar ou reter os veículos desgovernados nas rodovias; evitar ou dificultar a

interferência de um fluxo de veículos sobre o fluxo oposto, áreas adjacentes ou obstáculos; e impedir que pedestres ultrapassem um local determinado (DER-SP, 2005).

A escolha do tipo de dispositivo de segurança (defensas ou barreiras) a ser utilizado no projeto de rodovias, segundo ABNT (2007), deve considerar algumas características, tais como: (i) desempenho, se os dispositivos são estruturalmente aptos para conter e redirecionar o veículo desgovernado; (ii) deflexão, se os dispositivos não excedem o espaço físico disponível para deflexão; (iii) condições do local, a distância da pista e a declividade do terreno podem excluir o uso de algum dispositivo; (iv) compatibilidade, os dispositivos devem ser compatíveis com o terminal de ancoragem planejado e também devem ser capaz de fazer a transição com outros sistemas adjacentes; (v) manutenção, dispositivos flexíveis e semi-rígidos necessitam uma manutenção maior do que os dispositivos rígidos após uma colisão.

4.4.1 Barreiras de Concreto

As barreiras de concreto são dispositivos de proteção rígidos e contínuos, projetados para resistir a uma solicitação transversal de, no mínimo, 200kN (ABNT, 2004). Visam redirecionar veículos eventualmente desgovernados à pista, amenizando danos aos motoristas e ocupantes do veículo.

Segundo DER-SP (2005), as barreiras de concreto são indicadas para proteção nos locais onde as defensas não podem atingir os seus objetivos pretendidos, pois as defensas necessitam de espaço para a deformação elástica provocada pelo impacto e alguns locais não dispõem desse espaço. Os tabuleiros das pontes e viadutos e a separação de pistas de sentidos contrários nos segmentos sem canteiro central são alguns dos lugares que não dispõem de espaço suficiente para a deformação das defensas.

As barreiras de concreto podem ser simples, quando dotadas de uma superfície de deslizamento e são geralmente utilizadas em pistas duplas e canteiros centrais, ou duplas, quando possuírem duas superfícies de deslizamentos e usadas em bordas externas de pistas (ABNT, 2004). Os perfis adotados são do tipo New Jersey e do tipo F com pelo menos 3m de comprimento (ver Apêndice D).

Segundo GOLD (1998), há vantagens e desvantagens no uso das barreiras de concreto. Dentre as vantagens destacam-se a longa duração, custo mínimo de manutenção e melhor encaixe no contexto urbano. Quanto às desvantagens, destaca-se que as barreiras de concreto não amortecem impactos fortes. Assim, estas não são recomendadas para locais onde possa haver o choque de veículos com ângulos superiores a 20° e 25°.

4.4.2 Defensas Metálicas

Defensas metálicas são dispositivos de proteção contínuos e deformáveis que possuem forma, resistência e dimensões adequadas para absorver grande quantidade de energia cinética do impacto, podendo impedir que veículos desgovernados saiam da pista causando choques, tombamentos, capotamentos ou colisões (ABNT, 1999). Este dispositivo de segurança atua como verdadeira barreira de contenção minimizando a gravidade dos acidentes.

As defensas podem ser de seis tipos (simples, dupla, maleável, semimaleável, semi-rígida e rígida) e são utilizadas em canteiro centrais, pistas em desnível, aterros altos em tangentes, junto a curvas de raio pequeno (curvas perigosas), nas entradas e saídas de pontes, viadutos e pórticos, como proteção de elementos agressivos junto à pista e nas vias margeando rios, lagos e valas (ABNT, 1999).

Alguns requisitos são necessários para a utilização das defensas. Embora alguns já tenham sido abordados no subitem 2.2.2 deste trabalho, com base na NBR154486 ABNT (2007), segue um breve relato quanto à necessidade de dispositivos de segurança nos canteiros centrais, nos aterros, pistas em desnível, quando houver obstáculos fixos na rodovia e trânsito de caminhões. Na apresentação desses requisitos leva-se em conta apenas a situação de rodovias em fase de projeto, para as quais, portanto, não se dispõe de dados reais de volume de tráfego e de ocorrências de acidentes.

4.4.2.1 Canteiros centrais

Segundo ABNT (2007), a verificação da necessidade do uso de dispositivos de proteção em canteiros centrais atravessáveis, situados em rodovias de alta velocidade, é analisado

em função da largura do canteiro e do tráfego médio diário previsto. Os critérios a serem adotados são apresentados no Apêndice D.

4.4.2.2 Nos aterros

Nos aterros, conforme já mencionado neste trabalho (subitem 2.2.2), para verificar a necessidade de proteção lateral devem ser considerados a altura, declividade dos taludes, presença esperada de pedestres e ciclistas próximos à rodovia e, também, obstáculos laterais nas vias. Para tanto, ABNT (2007) recomenda o uso de ábaco (ver Apêndice D).

4.4.2.3 Pistas em desnível

Para as pistas em desnível, o emprego das defensas é analisado em relação a medida do desnível (a) e a distância entre os bordos dos pavimentos (L), observando os seguintes critérios (ABNT, 1999):

- a) Caso $a/L < 1/4$, as defensas podem ser duplas, desde que $L < 6,0$ m/
- b) Caso $a/L \geq 1/4$, devem ser instaladas duas defensas simples, uma junto a cada pista;
- c) Caso as pistas em desnível estejam em patamares distintos, mesmo que $a/L < 1/4$, devem-se usar duas defensas simples uma junto a cada pista.

4.4.2.4 Obstáculos fixos na rodovia

Quando houver obstáculos fixos nas laterais da rodovia, os dispositivos de segurança (defensas) podem ser utilizados analisando a distância do obstáculo, a velocidade diretriz da rodovia e o VDM estimado (Veículo Diário Médio), por meio do ábaco mostrado no Apêndice D. Este assunto foi abordado no subitem 2.2.2 deste trabalho.

4.4.2.5 Trânsito de caminhões

Devem ser projetadas defensas com altura de lâminas de 75cm nas rodovias em que o volume previsto de caminhões é superior ou igual a 30% do VDM estimado (ABNT, 1999). Se o volume dos caminhões for inferior a 30% do VDM, as lâminas devem ser de 65cm.

4.4.2.6 Faixa de rolamento

Segundo DNIT (2010d) as defensas devem ser instaladas a uma distância mínima de 1,0m da borda da faixa de rolamento da rodovia. Podendo ser diminuída para 0,5m quando a crista do talude de aterro estiver a menos de 1,5m da borda da faixa de rolamento. Neste caso, tendo pouco solo atrás dos postes da defesa, o espaçamento entre postes deverá ser reduzido para 2m e o comprimento do poste deverá ser aumentado para 2,5m.

4.5 TÓPICOS CONCLUSIVOS

As rodovias rurais geralmente apresentam índices de acidentes fatais superiores às vias urbanas, em virtude do aumento da velocidade praticada pelos condutores, aumento da porcentagem de caminhões nas rodovias e das características técnicas de projeto (geométrico, interseções, sinalização e dispositivos de proteção) inferiores às desejáveis para as atuais condições das vias (DNIT, 2010a). Melhorias nos projetos de rodovias rurais mais atentos à segurança podem evitar que acidentes de trânsito ocorram. Para tanto, os projetos devem observar os requisitos mínimos necessários referentes a seus diversos elementos, tais como:

- Largura de faixas e acostamentos, número de faixas, em razão do volume e velocidade de projeto, e da porcentagem prevista de caminhões;
- Raios de curva e distância de visibilidade de ultrapassagem de acordo com a velocidade de percurso;
- Distância de visibilidade de parada;
- Projeto de interseções compatíveis com a localização do dispositivo e velocidade e características do fluxo de tráfego;
- Interação de veículos de carga (CVC) com o tráfego geral e características básicas de projeto recomendados para rodovias federais; e
- Sinalização Extensiva seguindo os preceitos do Manual Brasileiro de Sinalização de Tráfego (CONTRAN, 2007a, b e c).

No projeto geométrico, a velocidade de projeto é o parâmetro básico para a determinação das características geométricas da via, visando garantir segurança aos usuários. Têm-se as curvas horizontais, a superelevação, a superlargura, a distância de visibilidade, a curva vertical, a largura da faixa de trânsito, a largura dos acostamentos, o canteiro central, e a faixa de ultrapassagem como os principais elementos geométricos.

Dentre os elementos de projeto, as faixas de ultrapassagem são essenciais nas rodovias rurais. As faixas são utilizadas em terreno plano ou ondulado, quando restrições a ultrapassagens são criadas por distâncias de visibilidade limitadas ou grandes volumes de tráfego (DNIT, 2010a). Um comprimento de faixa entre 0,8 a 3,2 km é considerado bom, além das extensões dos tapers para adição e redução de faixa, e ainda a sinalização deve informar o início dessa faixa. A implantação dessas faixas deve ser considerada em rodovias de pista simples onde trechos com distâncias de visibilidade de ultrapassagem distam entre si mais do que 3 km.

Em trechos de rodovias onde há interseções, algumas características, segundo DNER (1998) aumentam o risco de acidentes, tais como: ausência de capina em interseções com trechos em curva; interseções em trechos em aclive e declive; interseções em fundo de vales precedidos por dois trechos em declive; e interseções em ângulos muito agudos. De acordo com DNIT (2010a), pesquisas mostram que as interseções e os acessos a propriedades marginais contribuem por cerca da metade dos acidentes em rodovias rurais. Portanto, no intuito de prevenir que acidentes ocorram na área de influência das interseções e acessos, é importante que no momento do planejamento e execução de novos projetos de rodovias sejam realizados estudos das características geométricas desses elementos de descontinuidade da rede viária.

Dentre as características geométricas das interseções e acessos, destaca-se a distância de visibilidade como a mais relevante na segurança viária, que deve permitir aos motoristas nas aproximações visualizar os veículos das demais aproximações, e as faixas de mudanças de velocidade, que promovem espaços adequados para as manobras de aceleração, desaceleração ou conversão, permitindo realizar movimentos sem interferir no fluxo de tráfego de passagem.

A sinalização viária também é responsável por promover segurança nas rodovias rurais

sendo composta por sinalização horizontal, vertical, dispositivos auxiliares, sinalização semafórica e sinalização de obras. A mensagem passada aos condutores por meio das placas de sinalização deve ser objetiva e de fácil compreensão, concisa, legível e apresentada com antecedência necessária para a tomada de decisão. Estudo americano indica que o uso adequado das placas de sinalização representa uma redução de 29% na taxa de acidentes fatais (OGDEN, 1996 *apud* Nodari, 2003).

Nas rodovias rurais, a sinalização horizontal mais comum é a constituída pelas marcas longitudinais (linhas de divisão de fluxos opostos, linhas de divisão de fluxos de mesmo sentido, linhas de borda, linhas de continuidade e marcas longitudinais específicas), que servem para orientar os condutores a se posicionarem e conduzirem os veículos corretamente ao longo da rodovia. Das marcas longitudinais, as que mais afetam as condições de segurança nas vias são as linhas de divisão de fluxos opostos (LFO). Estas têm a finalidade de proibir a ultrapassagem e são utilizadas em rodovias de pista simples, nos trechos com insuficiência de visibilidade para realizar ultrapassagem, nos locais de áreas de transição de largura de pista e nos trechos onde existe ponte estreita (DNIT, 2010c) e (DAER, 2006).

Visando contribuir para a operação segura nas curvas horizontais, a sinalização de advertência deve ser implantada em rodovias para advertir os motoristas e fazer com os esses diminuam a velocidade do veículo nas aproximações de curvas que possam acarretar manobras perigosas. Outro sinal de advertência muito importante é o aquele que adverte os condutores, principalmente os de veículos de carga, do início de uma rampa acentuada em descida.

A sinalização de regulamentação de preferência de passagem (“Parada Obrigatória” e “Dê a Preferência”) é um dispositivo eficiente de controle de tráfego nas interseções. Esta sinalização deve ser utilizada antes de o condutor cruzar a interseção sem controle por semáforo e as placas com os sinais de regulamentação devem ser dispostas a uma distância de visibilidade adequada para a parada obrigatória, principalmente nas aproximações com velocidades elevadas. Outro elemento chave na promoção da segurança viária é a velocidade limite estabelecida para as vias (ou trechos viários), definida por meio do sinal R-19.

Segundo Marques (2012), a definição de velocidade limite deve buscar a segurança de todos os usuários da rodovia e promover a fluidez em níveis compatíveis com as necessidades de deslocamento ao longo da via. Contudo, a definição de velocidade realizada tanto por órgãos do exterior quanto do Brasil com base em estudos de engenharia ressoa-se, em geral, da falta de elementos objetivos que levem à adoção de valores similares para vias com características semelhantes.

Uma das principais dificuldades enfrentadas pela maioria dos órgãos responsáveis pela operação das rodovias é a falta de definição da importância relativa dos fatores usualmente considerados na definição de velocidade limite. O procedimento proposto e aplicado por Marques (2012) possibilitou conhecer a ordem de importância e os pesos dos fatores que influenciam na determinação da velocidade limite para vias novas e existentes nos órgãos pesquisados, por meio do uso do Método de Análise Hierárquica. Esse resultado poderá apoiar a decisão dos órgãos gestores na determinação de uma velocidade limite que proporcione maior segurança aos usuários no âmbito dos estudos de engenharia. Cabe ressaltar que é necessária maior abrangência da pesquisa para a obtenção de um resultado aplicável em nível nacional.

Por fim, as barreiras de concreto e as defensas metálicas são dispositivos de proteção colocados de forma permanente ao longo de rodovias. Estes dispositivos têm por objetivos: manter, redirecionar ou reter os veículos descontrolados nas rodovias; evitar ou dificultar a interferência de um fluxo de veículos sobre o fluxo oposto, áreas adjacentes ou obstáculos; e impedir que pedestres ultrapassem um local determinado (DER-SP, 2005). Esses dispositivos são elementos chave para a elaboração de projetos dentro do contexto de rodovias que perdoam.

As barreiras de concreto são indicadas para proteção nos locais onde as defensas não podem atingir os seus objetivos pretendidos, já que as defensas metálicas necessitam de espaço para a deformação elástica provocada pelo impacto e alguns locais não dispõem de espaço (DER-SP, 2005). Os tabuleiros das pontes e viadutos e a separação de pistas de sentidos contrários nos segmentos sem canteiro central são alguns dos locais para o uso das barreiras de concreto. Já as defensas metálicas são usadas em canteiros centrais, pistas em desnível, aterros altos em tangentes, junto a curvas de raio pequeno (curvas perigosas), nas entradas e saídas de pontes, viadutos e pórticos, como proteção de elementos agressivos junto à pista e nas vias margeando rios, lagos e valas (ABNT, 1999).

5 PROCEDIMENTO PROPOSTO PARA ANÁLISE DE PROJETO

Este capítulo contém o procedimento proposto para avaliar sistematicamente os projetos de rodovias novas, situadas em áreas rurais, visando à verificação das condições de segurança viária. Os elementos de projeto selecionados para inclusão nas diferentes etapas do procedimento foram os que se revelaram mais diretamente ligados à promoção da segurança dos usuários da rodovia, a partir dos conteúdos apresentados nos Capítulos 2 a 4 desta Dissertação.

A definição final do procedimento, na forma descrita no presente Capítulo foi fruto, também, de ajustes realizados após uma avaliação dos técnicos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, da Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT e do Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal – DER/DF, bem como por dois outros técnicos que atuam na fiscalização rodoviária em órgãos federais de controle interno e externo.

5.1 ESTRUTURA GERAL DO PROCEDIMENTO

A Figura 5.1 apresenta o fluxograma contendo as etapas do procedimento proposto. O detalhamento dos critérios a serem considerados na avaliação de cada elemento são apresentados no Apêndice D.

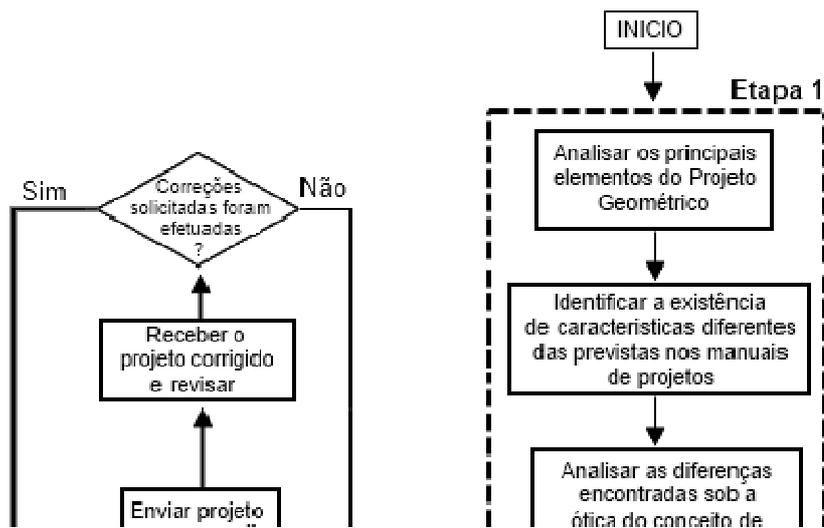


Tabela 5.1– Elementos de projeto geométrico

Categoria	Elementos de projeto
1 - Projeto Geométrico – Em Planta	1 - Raio da curva circular (R)
	2 – Raios de curvas sucessivas ($R_{sucessivas}$)
	3 – Comprimento das curvas circulares (Dc)
	4 – Comprimento da curva de transição (Lc)
	5 – Superelevação (e)
	6 – Superlargura (S)
	7– Distância de Visibilidade de Parada (D)
	8– Distância de Visibilidade de Ultrapassagem (D_{VU})
2 - Projeto Geométrico – Em Perfil	9 – Inclinação das tangentes verticais (i)
	10 – Comprimento da curva vertical côncava e convexa (L)
3 – Projeto Geométrico – Terceira Faixa	11 – Implantação da terceira faixa em trecho em aclave
	12 – Implantação da terceira faixa em trecho em declive
	13 – Implantação de faixas de ultrapassagem
	14 – Largura da terceira faixa em trecho em aclave ($L_{3a\ faixa}$)
	15 – Largura do acostamento em trecho em aclave nas terceira faixa (L_{acost})
4 - Projeto Geométrico – Seção Transversal	16 – Largura das faixas de trânsito (LF)
	17 – Largura dos acostamentos: externos (LA_{ext}) e internos (LA_{int})
	18 – Declividade transversal da pista (e) e do acostamento (AC) nos trechos em tangente e em curva.
	19 – Largura dos canteiros centrais ($L_{central}$)
	20 – Talude dos canteiros centrais ($i_{central}$)

Tabela 5.1 – Elementos de projeto geométrico (Continuação)

Categoria	Elementos de projeto
5 - Projeto de Interseções	21 – Velocidade de projeto nas rotatórias (V)
	22 – Comprimento dos trechos de entrecruzamento das rotatórias (L)
	23 – Pista rotatória
	24 – Distância no triângulo de visibilidade (Dtv)
	25 – Distância de visibilidade de parada (D)
	26 – Raios para bordos de pista de conversão (R_{bordos})
	27 – Condições mínimas para pistas de conversão
	28 – Raios das curvas em interseções (R_{curvas})
	29 – Comprimentos de curvas espirais (L_{espiral})
	30 – Comprimentos de curvas compostas ($L_{\text{curvas compostas}}$)
	31 – Largura das pistas de conversão
	32 – Largura do acostamento ou espaço lateral equivalente
	33 – Faixas de mudança de velocidade
	34 – Comprimento do <i>taper</i> nas faixas de mudança de velocidade (L)
	35 – Comprimento das faixas de mudança de velocidade (aceleração/desaceleração)
	36 – Faixas de giro à esquerda
	37 – Dimensões das faixas de giro à esquerda
38 – Taxa de superelevação nas curvas	
39 – Dimensões mínimas para retornos em U – larguras mínimas do canteiro central.	

Essa etapa consiste, também, na identificação de elementos com características diferentes das previstas nos manuais de projeto. Inclui ainda a análise das diferenças encontradas sob a ótica do conceito de “Flexibilidade no Projeto”, tais como demonstrado na Tabela 5.2.

Na medida em que os elementos forem analisados, e forem identificadas diferenças entre as características existentes e as previstas nos manuais de projeto, registrar essas diferenças (ver Tabela 5.2). Posteriormente, levando em conta as justificativas apresentadas no memorial do projeto, verificar se as diferenças observadas são justificáveis sob a ótica do conceito de “Flexibilidade no Projeto”. Registrar essa avaliação no formulário apropriado (ver Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Resultado da Avaliação do Projeto Geométrico

RODOVIA: _____						
Item	Estaca		Elementos que não atendem as especificações dos Manuais	Diferença encontrada	Justificativa no memorial é aceitável?	
	Início	Fim			Sim	Não

Finalmente, elaborar uma lista de correções a serem efetuadas no projeto, contendo as diferenças não aceitáveis. Como atividade final da Etapa 1 tem-se o envio do projeto para correção e revisão.

5.1.2 Atividades da Etapa 2

A Etapa 02 consiste na verificação dos elementos fixos que, dentro do conceito de “Rodovias que Perdoam”, exigem dispositivos de proteção. O resultado dessa etapa deve ser registrado, conforme Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Resultado da avaliação dos elementos fixos

Estacas		Elementos	Condição Observada	Necessita de dispositivos de proteção	
Início	Fim			Sim	Não
		Obstáculos isolados	Tipo: _____ Distância Bordo da Pista: _____ m		
		Obstáculo contínuo	Tipo: _____ Distância Bordo da Pista: _____ m		
		Talude de corte	Inclinação: (V)____: (H)____ Altura: _____m Distância da base ao bordo da pista: _____m		

Tabela 5.3 – Resultado da avaliação dos elementos fixos (Continuação)

Estacas		Elementos	Condição Observada	Necessita de dispositivos de proteção	
Início	Fim			Início	Fim
		Talude de aterro	Inclinação: (V)____: (H)____ Altura: _____m Distância da base ao bordo da pista: _____		
		Talude transversal	Inclinação: (V)____: (H)____ Altura: _____m		
		Canteiro central	Largura: _____m Inclinação de talude acentuado entre as duas pistas (quando houver): (V)____: (H)____		
		Estrutura de drenagem	Tipo de seção: _____ Inclinação do talude frontal: (V)____: (H)____ Inclinação do talude posterior: (V)____:(H)____		

5.1.3 Atividades da Etapa 3

A Etapa 03 tem como objetivo identificar e listar as condições de geometria que requerem sinalização horizontal e vertical, de acordo com a Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Resultado da avaliação das condições da geometria que requerem sinalização

Estaca		Condição observada
Início	Fim	
		Trecho sem visibilidade para ultrapassagem
		Proximidade de locais com restrição de largura de pista (pontes estreitas), independente da existência ou não de visibilidade.
		Segmentos onde haja possibilidade de conflitos, com tráfego entrando e saindo da pista (áreas de interseções e acessos)
		Sequência de curvas horizontais: R1: _____m; R2: _____m; R3: _____m Tangente entre curvas (1 e 2)
		Aproximações de rotatórias
		Rampa acentuada em declive
		Rampa acentuada em aclave
		Segmentos diferenciados de velocidade diretriz

Tabela 5.4 – Resultado da avaliação das condições da geometria que requerem sinalização (Continuação)

Estaca		Condição observada
Início	Fim	
		Ponto de saída da rodovia
		Travessia de Pedestre

5.1.4 Atividades da Etapa 4

Nessa etapa são identificados os principais elementos dos projetos de sinalização (vertical e horizontal) e do projeto de dispositivos de proteção, segundo o conceito de rodovias que perdoam. Os principais elementos de projeto e categorias selecionados estão descritos na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Elementos do projeto de sinalização e do projeto de dispositivos de proteção

Categoria	Elementos de projeto
1 – Projeto de Sinalização Horizontal	1 - Linha de proibição de ultrapassagem (LFO-4) em rodovias de pista simples
	2 - Linha simples seccionada (LFO-2) em rodovias de pista simples
	3 - Linhas de proibição de mudança de faixa (linha simples contínua – LMS-1)
	4 - Linha simples seccionada (LMS-2)
	5 - Linhas de borda de pista (LBO)
	6 - Linhas de Retenção (LRE)
	7 - Linhas de Dê a Preferência (LPD)
	8 - Linhas de Estímulo à Redução de Velocidade (LRV)
	9 - Faixa de travessia de pedestres
	10 - Demais elementos – aspectos especiais do alinhamento em planta, perfil e seção transversal etc.
2 – Projeto de Sinalização Vertical	11- Placas empregadas em curvas horizontais
	12 – Placas empregadas em rampas acentuadas
	13 – Placas em interseções
	14 – Demais elementos – aspectos relacionados com a sinalização vertical de advertência.
	15 – Placa Parada Obrigatória
	16 – Placa Dê a Preferência
	17 – Limite de Velocidade
	18 – Demais elementos - aspectos relacionados com a sinalização vertical de regulamentação
	19 – Placas de Indicação

Tabela 5.5 - Elementos do projeto de sinalização e do projeto de dispositivos de proteção (Continuação)

Categoria	Elementos de projeto
3 – Dispositivos Auxiliares	20 – Delineadores, balizadores e marcadores de obstáculos
4 - Projeto de Dispositivos de Proteção (Defensa e Barreiras) – segundo o conceito de “Rodovias que Perdoam”	21 – Largura da zona livre (área livre)
	22 – Drenagem lateral
	23 – Proteção lateral (defensas metálicas, barreiras de concreto, defensas de cabos ou outros elementos de proteção) em taludes
	24 – Proteção em canteiros centrais
	25 – Comprimento necessário de um sistema de proteção lateral (rígido ou flexível)
	26 – Proteção lateral utilizando sistemas rígidos (barreiras de concreto)

A presença desses elementos é verificada em conjunto com os resultados apresentados nas Tabelas 5.3 e 5.4. Se os elementos dos projetos de sinalização e de dispositivos de proteção não contemplarem algumas das situações críticas identificadas, então deverão ser indicadas as devidas correções nos respectivos projetos.

5.2 LISTA DE VERIFICAÇÃO PARA PROJETOS DE RODOVIAS RURAIS – REVISÃO DA SEGURANÇA VIÁRIA

As condições a serem observadas e o correspondente critério de avaliação de cada elemento de projeto a ser analisado, referidos na seção 5.1, são apresentados a seguir.

Na Tabela 5.6 são detalhados os elementos referidos na Tabela 5.1 para o “Projeto Geométrico – Em Planta”, enquanto na Tabela 5.7 são detalhados os elementos do “Projeto Geométrico – Em Perfil”. Os elementos referidos na Tabela 5.1 para o “Projeto Geométrico – Terceira Faixa”, “Projeto Geométrico – Seção Transversal” e “Projeto de Interseções” são detalhados nas Tabelas 5.8, 5.9 e 5.10, respectivamente.

Os aspectos ligados à sinalização viária e os dispositivos de proteção (indicados na Tabela 5.5) são abordados em detalhe nas Tabelas 5.11. a 5.14.

Tabela 5.6 – Projeto Geométrico – Em Planta

Categoria: Projeto Geométrico – Em Planta			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
1 - Raio da curva circular (R)	$R \geq R_{\min}$	R_{\min} - calculado conforme Apêndice D	Manual do DNER (1999) págs. 70 a 72.
2 - Raios de curvas sucessivas ($R_{\text{sucessivas}}$)	<p>Critérios desejáveis:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zona I – sucessão desejável - Zona II – sucessão boa - Zona III – sucessão aceitável - Zona IV – sucessão a evitar quando possível 	Relação entre os raios de curvas sucessivas, conforme Apêndice D.	Manual do DNER (1999) pág. 66.
3 - Comprimento das curvas circulares (D_c)	$D_c \geq D_{c_{\min}}$	$D_{c_{\min}} = 0,56 \times V$ $V =$ velocidade diretriz (km/h) Para ângulos centrais $\leq 5^\circ$: - $D_{c_{\min}} = 30 (10-AC)$ $AC =$ ângulo central em graus	Manual do DNER (1999) pág. 63.
4 - Comprimento da curva de transição (L_c)	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar se a curva de transição é dispensável. • Se a curva for necessária: $L_{c_{\min}} \leq L_c \leq L_{c_{\max}}$ 	Raio de curva que dispensa a transição (Apêndice D) Cálculo de L_c , conforme Apêndice D	Manual do DNER (1999) págs. 106 a 114.

Tabela 5.6 – Projeto Geométrico – Em Planta (Continuação)

Categoria: Projeto Geométrico – Em Planta			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
5 – Superelevação (e)	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar se a superelevação é dispensável. 	R_{min} - Calculado em função da velocidade diretriz e da taxa máxima de superelevação (ver Apêndice D).	Manual do DNER (1999) pág. 71.
	<ul style="list-style-type: none"> • Se não for dispensável: $e = e_{máx} \times \left(\frac{2R_{mín} - R_{mín}}{R} - \frac{R_{mín}}{R^2} \right) \text{ e } e \geq 2\%$ <p>Onde:</p> <p>$e_{máx}$ =superelevação máxima admissível (m/m);</p> <p>R = raio da curva (m);</p> <p>$R_{mín}$ = raio mínimo (m).</p>	$e_{máx}$ - Definido pelo DNER em função da característica da via (ver Apêndice D).	Manual do DNER (1999) págs. 98 a 99.

Tabela 5.6 – Projeto Geométrico – Em Planta (Continuação)

Categoria: Projeto Geométrico – Em Planta			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
6 – Superlargura (S)	$S = L_T - L_B$ $L_T =$ Largura da pista em curva (m) $L_B =$ Largura básica da pista em tangente (m) $S \geq 0,40\text{m}$	<ul style="list-style-type: none"> Para pistas com “N” faixas: $L_T = \{N (G_C + G_L) + (N - 1)G_{BD}\} + FD$ Onde: $L_T =$ largura total da pista em curva (m); $L_B =$ largura básica da pista em tangente (m) $G_C =$ gabarito estático do veículo em curva (m) $G_L =$ gabarito lateral do veículo em movimento (m) $G_{BD} =$ gabarito requerido pelo balanço dianteiro (m) $FD =$ folga dinâmica (m) $G_C = Lv + E^2/(2R)$ Onde: Para veículo de projeto CO $Lv =$ Adota-se como de 2,60 m; $E =$ Adota-se como de 6,10 m. $R =$ raio da curva circular (m) $G_{BD} = \sqrt{R^2 + BD(2E + BD - R)}$ Onde: Para veículo de projeto CO $BD=1,20\text{m}$ e $E=6,10\text{m}$ $FD = V/10(\sqrt{R})$ Onde: $V =$ velocidade diretriz (m/s) Valores de L_B, G_C, G_L e da superlargura para pistas com duas ou mais faixas, conforme Apêndice D. 	<ul style="list-style-type: none"> Manual do DNER (1999): - Valores de G_L tabelados em função da largura da pista, conforme pág. 76. - Valores tabelados para a superlargura (pista de 2 faixas) em função da velocidade e do raio de curva, conforme págs. 77 a 81; - Valores tabelados para a superlargura (pista de 3 e 4 faixas) em função da velocidade e do raio de curva, conforme pág. 82. Manual de Implantação Básica de Rodovia (DNIT, 2010), valores tabelados em função da velocidade diretriz e do raio de curvatura para pista com duas faixas de tráfego, conforme págs. 147 e 148. SHU HAN LEE – Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias, págs. 140 a 143.

Tabela 5.6 – Projeto Geométrico – Em Planta (Continuação)

Categoria: Projeto Geométrico – Em Planta			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
7- Distância de Visibilidade de parada (D)	$D = 0,7V + \frac{V^2}{255 (f_i + i)}$ <p>Onde: V = velocidade diretriz (km/h); f_i = coeficiente de atrito longitudinal; i = greide (m/m); positivo no sentido ascendente e negativo no descendente.</p> <p>Admitindo i = 0:</p> $D \geq D_{desejável} \text{ ou } D \geq D_{min}$	<p>Verificação em planta e perfil, para toda a extensão da via, através do gabarito de visibilidade.</p> <p>Os valores de D_{min} e $D_{desejável}$ para i=0 são apresentados no Apêndice D.</p>	<p>Manual do DNER (1999):</p> <p>D_{min} - valor tabelado em função da velocidade, conforme pág. 54;</p> <p>$D_{desejável}$ - valor tabelado em função da velocidade, conforme pág. 55.</p> <p>Uso do gabarito de visibilidade – página 61.</p>
8- Distância de Visibilidade de Ultrapassagem (D _{VU})	$D_{VU} \geq D_{VU_{min}}$ <p>Verificar se a condição é atendida a intervalos entre 1,5 km e 3,0 km.</p>	<p>Verificação em planta e perfil, para toda a extensão da via, através do gabarito de visibilidade.</p> <p>Os valores de $D_{VU_{min}}$ são apresentados no Apêndice D.</p>	<p>Manual do DNER (1999):</p> <p>$D_{VU_{min}}$ - valor tabelado em função da velocidade, conforme pág. 60.</p> <p>Uso do gabarito de visibilidade – página 61.</p>
Obs: Os elementos devem ser verificados a partir da definição da Classe da Rodovia, relevo da região onde a rodovia será implantada, velocidade diretriz e a escolha do veículo de projeto			

Tabela 5.7– Projeto Geométrico – Em Perfil

Categoria: Projeto Geométrico – Em Perfil			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
1 - Inclinação das tangentes verticais (i)	$ i \leq i_{máx}$	$i_{máx}$ - rampa máxima definida para a classe e relevo da rodovia (ver Apêndice D)	Manual do DNER (1999), pág. 122 a 124.
2 - Comprimento da curva vertical côncava e convexa (L)	$L_{min} \leq L \leq L_{máx}$	<ul style="list-style-type: none"> • $L = \frac{K}{ A }$ <p>Onde:</p> <p>L - comprimento da curva (m); K - parâmetro da parábola (m/%); A - módulo da diferença algébrica entre as declividades dos greides que se cruzam no ponto de interseção vertical</p> <ul style="list-style-type: none"> • L_{min} - calculado conforme Apêndice D. • $L_{máx}$ - calculado conforme Apêndice D. 	Manual do DNER (1999), páginas 124 a 128.

Tabela 5.8 – Projeto Geométrico – Terceira Faixa

Categoria: Projeto Geométrico – Terceira Faixa			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
1 – Implantação da terceira faixa em trecho em aclive	<p>Volume de veículos na faixa de subida é maior do que 200veic/h com mais de 10% de caminhões, e:</p> <ul style="list-style-type: none"> - previsão de redução de velocidade para os caminhões $\geq 15\text{km/h}$; ou - nível de serviço na rampa igual a E ou F; ou - redução de dois ou mais níveis de serviço na rampa em comparação com o trecho plano. 	<p>Comprimento do <i>taper</i> e da faixa, conforme Apêndice D.</p> <p>Nível de serviço nos trechos em nível e em rampa conforme resumo apresentado no Apêndice D.</p>	<p>Manual do DNER (1999) págs. 177 a 183.</p> <p>PONTES FILHO, G. (1998) – Estradas de Rodagem – Projeto Geométrico, págs. 290 a 308.</p>
2 – Implantação da terceira faixa em trecho em declive	<ul style="list-style-type: none"> • Rampas com declividades superiores a 5%, quando os veículos rodoviários de carga atendem a Resolução nº 777/93. • Rampas de pequena declividade, de 2 ou 3%, quando esses veículos não atendem as exigências da Resolução nº 777/93 do CONTRAN, e os problemas no sistema de freios começam a comprometer o fluxo de veículos. 	<p>$i > 5\%$ - utilizar o programa desenvolvido por Lucas (2004) para verificar o comprimento crítico das rampas, a partir do qual o impacto dos veículos torna-se significativo, compromete o fluxo e justifica a construção de faixas adicionais.</p> <p>Ver alguns exemplos no Apêndice D.</p>	<p>LUCAS, M. J (2004) - Faixas adicionais para trechos de rodovias com declives longos considerando os aspectos técnicos da frenagem de veículos de carga. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.</p>
3 – Implantação de faixas de ultrapassagem	<ul style="list-style-type: none"> • Em rodovias de pista simples e que os trechos com distâncias de visibilidade de ultrapassagem estão espaçados em mais de 3km. 	<p>Largura da 3ª faixa e acostamento, conforme Apêndice D</p>	<p>Manual do DNER (1999) págs. 177 a 183.</p>
4 – Largura da terceira faixa em trecho em aclive ($L_{3a\text{ faixa}}$)	$L_{3a\text{ faixa}} \geq L_{min}$	$L_{min} = 3,00\text{m}$	<p>Manual do DNER (1999) pág. 181.</p>
5 – Largura do acostamento em trecho em aclive (L_{acost}) nas terceiras faixas	$L_{acost} \geq L_{min}$	$L_{min} = 1,20\text{m}$	<p>Manual do DNER (1999) pág. 181.</p>

Tabela 5.9 – Projeto Geométrico – Seção Transversal

Categoria: Projeto Geométrico – Seção Transversal			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
1 - Largura das faixas de trânsito (LF)	Valores definidos no Manual do DNER (1999), conforme Apêndice D.	Classe do projeto e relevo da região onde a via será construída.	Manual do DNER (1999), pág.142.
2 - Largura dos acostamentos: externos (LA_{ext}) e internos (LA_{int})	Valores definidos no Manual do DNER (1999), conforme Apêndice D.	Classe do projeto e relevo da região onde a via será construída.	Manual do DNER (1999) - largura dos acostamentos externos, pág.144; - largura dos acostamentos internos, pág. 144.
3 - Declividade transversal da pista (e) e do acostamento (AC) nos trechos em tangente e em curva.	Valores definidos no Manual do DNER (1999), conforme Apêndice D.	Tipo do trecho (tangente e curva) e tipo de pavimento.	Manual do DNER (1999), págs. 146 a 149.
4 - Largura dos canteiros centrais ($L_{central}$)	Valores definidos no Manual do DNER (1999), conforme Apêndice D.	Classe do projeto	Manual do DNER (1999) pág.154.
5 - Talude dos canteiros centrais ($i_{central}$)	$a < i_{central} < b$ a= 1:10 b= 1:6 (excepcionalmente, 1:4)	A inclinação deve ser determinada com base em estudos geotécnicos.	Manual do DNER (1999) pág.154.

Tabela 5.10 – Projeto de Interseções

Categoria: Projeto de Interseções			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
1 - Velocidade de projeto nas rotatórias (V)	$V_{min} \leq V \leq V_{desejável}$ V= velocidade de projeto da pista rotatória	$V \leq V_{projeto\ da\ rodovia}$ V_{min} e $V_{desejável}$, apresentado no Apêndice D.	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 180.
2 - Comprimento dos trechos de entrecruzamento das rotatórias (L)	$L \geq L_{min}$	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade de projeto da pista rotatória. • Valores definidos no Manual de Interseções DNIT (2005), conforme Apêndice D 	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 181.
3 - Pista rotatória	$2 \leq n^{\circ} \text{ faixas} \leq 4$ Larg = 3,60m		Manual de Interseções DNIT (2005), pág. 181.
4 - Distâncias no triângulo de visibilidade (Dtv)	<ul style="list-style-type: none"> • Depende do tipo de controle de tráfego na interseção: <ul style="list-style-type: none"> - sem controle; - controlado pela sinalização de parada obrigatória na rodovia secundária; - controlada pela sinalização de Dê a Preferência na rodovia secundária; - controlada pela sinalização "PARE" em todas as aproximações. • Valores definidos no Manual de Interseções DNIT (2005), conforme Apêndice D. 	Dependendo do tipo de controle de tráfego, pode ser: <ul style="list-style-type: none"> - Velocidade diretriz da via de aproximação e greide da aproximação; ou - velocidade diretriz da rodovia principal e veículo de projeto; ou - velocidade diretriz e greide da rodovia secundária; ou - velocidade diretriz da rodovia principal e da secundária. 	Manual de Interseções DNIT (2005) - Calculada em função da velocidade diretriz e do dispositivo de controle de tráfego utilizado, conforme págs. 213 a 229.

Tabela 5.10 – Projeto de Interseções (Continuação)

Categoria: Projeto de Interseções			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
5 - Distância de Visibilidade de parada (D)	$D = 0,7V + \frac{V^2}{255 (f_i + i)}$ <p>V = velocidade diretriz (km/h); f_i = coeficiente de atrito longitudinal; i = greide (m/m); positivo no sentido ascendente e negativo no sentido descendente.</p> <p>Admitindo $i = 0$: $D \geq D_{\text{desejável}}$ ou $D \geq D_{\text{mín}}$</p>	<p>Verificação em planta e perfil, para toda a extensão da via, através do gabarito de visibilidade.</p> <p>Os valores de $D_{\text{mín}}$ e $D_{\text{desejável}}$ são apresentados no Apêndice D.</p>	<p>Manual de Interseções DNIT (2005):</p> <p>$D_{\text{mín}}$ - valor tabelado em função da velocidade, conforme pág. 234.</p> <p>$D_{\text{desejável}}$ - valor tabelado em função da velocidade, conforme pág. 234.</p> <p>Manual do DNER (1999): Uso do gabarito de visibilidade - pág. 61.</p>
6 - Raios para bordos de pista de conversão (R_{bordos})	$R_{\text{bordos}} \geq R_{\text{mínbordos}}$	<ul style="list-style-type: none"> • Ângulo de giro e veículo de projeto. • Valores definidos no Manual de Interseções DNIT (2005), conforme Apêndice D. 	<p>Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 236.</p>

Tabela 5.10 - Projeto de Interseções (Continuação)

Categoria: Projeto de Interseções			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
7 - Condições mínimas para pistas de conversão	<ul style="list-style-type: none"> • Raio do bordo interno da pista e classificação do projeto (Condição A, B e C). • <u>Condições de conversão:</u> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Condição A</i> - Permite a conversão de veículos VP com facilidade, e de veículos CO com restrições. - <i>Condição B</i> - Permite a conversão de veículos CO com facilidade, e de veículos SR com invasão das faixas adjacentes; e - <i>Condição C</i> - Permite a conversão dos veículos SR sem invasão das faixas adjacentes. 	Valores definidos no Manual de Interseções DNIT (2005), conforme Apêndice D.	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 241.
8 - Raios das curvas em interseções (R_{curvas})	$R_{curvas} \geq R_{min\ curvas}$	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade de projeto. • Valores definidos no Manual de Interseções DNIT (2005), conforme Apêndice D 	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 242.
9 - Comprimentos de curvas espirais ($L_{espiral}$)	$L_{espiral} \geq L_{min\ espiral}$	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade de projeto da curva de conversão. • Valores definidos no Manual de Interseções DNIT (2005), conforme Apêndice D. 	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 248.
10 - Comprimentos de curvas compostas ($L_{curvas\ compostas}$)	$L_{curvas\ compostas} \geq L_{min\ curvas\ compostas}$	<ul style="list-style-type: none"> • Raio da Curva Central • Valores definidos no Manual de Interseções DNIT (2005), conforme Apêndice D. 	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 249.

Tabela 5.10 – Projeto de Interseções (Continuação)

Categoria: Projeto de Interseções			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
11 – Largura das pistas de conversão	<p>Condição do tráfego:</p> <p>A – predominância de veículo tipo VP;</p> <p>B – presença de veículos tipo CO condiciona o projeto;</p> <p>C – presença de veículos tipo O condiciona o projeto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Raio do bordo interno da pista (m); condição do tráfego e tipo de operação. • Nas curvas de raio muito pequeno as larguras devem ser determinadas por tentativas, utilizando o gabarito do veículo de projeto. 	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 251.
12 – Largura do acostamento ou espaço lateral equivalente	<ul style="list-style-type: none"> • Condição do ramo; trechos curtos; ou trechos médios a longos. • Se houver barreira rígida lateral a largura deve ser acrescida de 0,60m para compensar o atrito lateral. • Quando os volumes de tráfego forem altos, os acostamentos à direita deverão ser pavimentados ou estabilizados em uma largura pelo menos de 1,20m. 	Valores definidos no Manual de Interseções DNIT (2005), conforme Apêndice D	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 256.
13 – Faixas de mudança de velocidade	Critérios definidos no Manual de Interseções do DNIT (2005), conforme Apêndice D.	Velocidade da via, volume de tráfego, percentagem de veículos pesados, capacidade e tipo da rodovia.	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 257.
14 – Comprimento do <i>taper</i> nas faixas de mudança de velocidade (L)	$L \geq L_{\min}$	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade diretriz da rodovia • Valores definidos no Manual de Interseções DNIT (2005), conforme Apêndice D 	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 261.

Tabela 5.10 – Projeto de Interseções (Continuação)

Categoria: Projeto de Interseções			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
15 - Comprimento das faixas de mudança de velocidade (aceleração/desaceleração)	$Comprimento \geq Comprimento_{min}$	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade diretriz e velocidade de segurança no início/fim do trecho circular da curva de conversão (faixa de aceleração/desaceleração), para greides de até 2%. • Valores definidos no Manual de Interseções DNIT (2005), conforme Apêndice D 	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 262.
16 - Faixas de giro à esquerda	Critérios para adoção definidos no Manual de Interseções DNIT (2005), conforme Apêndice D	Volume oposto (veic/h), velocidade média de operação e volume de tráfego avançado.	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 269.
17 - Dimensões das faixas de giro à esquerda	$Comprimento \geq Comprimento_{min}$	<ul style="list-style-type: none"> • Geometria da interseção e características do tráfego. • Valores definidos no Manual de Interseções DNIT (2005), conforme Apêndice D 	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 278.
18- Taxa de superelevação nas curvas	$Superelev = Superelev_{recomendada}$	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade de projeto e raio da curva • Valores definidos no Manual de Interseções DNIT (2005), conforme Apêndice D 	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 286.

Tabela 5.10 – Projeto de Interseções (Continuação)

Categoria: Projeto de Interseções			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
19 - Dimensões mínimas para retornos em U – larguras mínimas do canteiro central.	Largura do canteiro central $\geq 7m$ Tipo de retorno (A, B ou C).	Tipo de retorno, tipo de manobra e tamanho dos veículos. <u>Tipo de retorno</u> <i>Tipo A</i> - A largura do canteiro central é suficiente para incluir totalmente a envoltória do deslocamento do veículo de projeto sem invasão das faixas de trânsito adjacentes ao canteiro/ <i>Tipo B</i> - A largura do conjunto canteiro central e pista oposta é suficiente para incluir totalmente a envoltória do deslocamento do veículo de projeto. <i>Tipo C</i> - A largura do conjunto canteiro central, pista oposta e acostamento é suficiente para incluir totalmente a envoltória do deslocamento do veículo de projeto.	Manual de Interseções DNIT (2005) pág. 380.

Tabela 5.11– Sinalização Horizontal

Categoria: Sinalização Horizontal			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
1 - Linha de proibição de ultrapassagem (LFO-4) em rodovias de pista simples	Trechos onde a distância de visibilidade para a realização de ultrapassagem (DVU) for $< DVU_{min}$	<ul style="list-style-type: none"> • A distância mínima de visibilidade de ultrapassagem varia em função da velocidade do tráfego, conforme Tabela 01, pág. 19, do MBST, Volume IV. • Comprimento mínimo $\geq 150m$ • Dist. Mínima entre duas LFO, relativas ao mesmo sentido de tráfego $\geq 120m$ • Nas pontes, viadutos e túneis as LFO-4 devem ser utilizadas com início 150,0m antes da obra de arte e término 80,00m depois. 	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (MBST) - Volume IV - Sinalização Horizontal.
2 - Linha simples seccionada (LFO-2) em rodovias de pista simples	Trechos em que DVU $\geq DVU_{min}$	Medidas do traço e espaçamento são definidas em função da velocidade do tráfego, conforme Tabela da pág. 13 do MBST, Volume IV..	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume IV - Sinalização Horizontal.
3 - Linhas de proibição de mudança de faixa (linha simples contínua - LMS-1)	Interseções ou em locais com faixa específica para movimento de conversão.	<ul style="list-style-type: none"> • Comp = 30m; • Deve ter extensão mínima de 15 metros, com extremidade situada na Linha de Retenção (LRE). 	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume IV - Sinalização Horizontal - pág. 22 e 23.
	Em pontes, túneis e viadutos estreitos.	Deve exceder os limites da obra de arte em, pelo menos, 15m antes e depois.	

Tabela 5.11 – Sinalização Horizontal (Continuação)

Categoria: Sinalização Horizontal			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
4 - Linha simples seccionada (LMS-2)	Pode ser utilizada em toda extensão ou em trechos de via de sentido único de circulação ou de via de sentido duplo com mais de uma faixa por sentido, onde a transposição e a ultrapassagem entre faixas de mesmo sentido são permitidas.	As medidas de traço e espaçamento são definidas em função da velocidade regulamentada, conforme tabela da pág. 24 do MBST, Volume IV.	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume IV - Sinalização Horizontal.
5 - Linhas de borda de pista (LBO)	É utilizada: <ul style="list-style-type: none"> - quando o acostamento não é pavimentado; - quando o acostamento é pavimentado e de cor semelhante a superfície de rolamento; - quando há curvas acentuadas; - na transição da largura da pista; - em locais que existem obstáculos próximos a pista ou apresentam situação com potencial de risco; - no local há com frequência condições climáticas adversas à visibilidade, tais como chuva e neblina; - em vias sem guia; - em vias com iluminação insuficiente, que não permitam boa visibilidade dos limites laterais da pista; - em rodovias e vias de trânsito rápido; - nos trechos urbanos, onde se verifica um significativo fluxo de pedestres. 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocação da LBO de 0,10m a 0,20m dos limites da pista de rolamento; • Quando existir barreira física, a LBO deve estar no mínimo a 0,50m em vias rurais. 	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume IV - Sinalização Horizontal - pág. 27.

Tabela 5.11 – Sinalização Horizontal (Continuação)

Categoria: Sinalização Horizontal			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
6 - Linhas de Retenção (LRE)	É utilizada: - em todas as aproximações de interseções semaforizadas; - em cruzamento rodocicloviário; - em cruzamento rodoferroviário; - junto a faixa de travessia de pedestre; - em locais onde houver necessidade por questões de segurança.	$0,30m \leq largura \leq 0,60m$ Deve ser locada a uma distância mínima de 1,00m do prolongamento do meio fio da pista de rolamento transversal, quando não existir faixa para travessia de pedestre.	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume IV – Sinalização Horizontal, págs. 38 e 39.
7 - Linhas de Dê a Preferência (LPD)	Pode ser utilizada em aproximação com via que tem a preferência, geralmente caracterizada por volume de tráfego e/ou velocidade mais elevada, onde as condições geométricas e de visibilidade do acesso permitam o entrelaçamento dos fluxos.	$0,20m \leq largura \leq 0,40m$ Deve ter medidas de traço e espaçamento iguais com dimensões de 0,50m	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume IV – Sinalização Horizontal, págs. 45 a 46.
8 - Linhas de Estímulo à Redução de Velocidade (LRV)	Deve ser utilizada antes de curvas acentuadas, cruzamentos rodoferroviários e ondulações transversais.	A largura da linha varia de acordo com a velocidade regulamentada para o tráfego, conforme tabela da pag. 41 do MBST, Volume IV.	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume IV – Sinalização Horizontal, págs. 41 a 44.

Tabela 5.11 – Sinalização Horizontal (Continuação)

Categoria: Sinalização Horizontal			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
9 - Faixa de travessia de pedestres (FTP)	Deve ser utilizada em locais onde haja necessidade de ordenar e regulamentar a travessia de pedestres.	Ocupa toda a largura da pista.	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume IV - Sinalização Horizontal, págs. 46 a 48.
	A FTP-1 (tipo zebra) deve ser utilizada em locais, semaforizados ou não, onde o volume de pedestres é significativo nas proximidades de escolas ou polos geradores de viagens, em meio de quadra ou onde estudos de engenharia indicarem sua necessidade.	<ul style="list-style-type: none"> • largura das linhas varia de 0,30 m a 0,40 m; • distância entre as linhas é de 0,30m a 0,80m; - extensão mínima das linhas é de 3,00 m, podendo variar em função do volume de pedestres e da visibilidade, sendo recomendada 4,00 m 	
	A FTP-2 (tipo paralela) pode ser utilizada somente em interseções semaforizadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Largura das linhas varia de 0,40 m a 0,60m. • Distância mínima entre as linhas é de 3,00m, sendo recomendada 4,00 m. 	
10 - Demais elementos	Aspectos especiais do alinhamento em planta, perfil e seção transversal, bem como da operação prevista para o tráfego da via que requeiram o uso de marcas de canalização e/ou inscrições no pavimento devem ser objeto de uma análise detalhada e global do projeto de sinalização, que está fora do escopo da presente dissertação.	Devem ser observadas as dimensões e demais características estabelecidas pelo Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito para cada elemento empregado no projeto	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume IV - Sinalização Horizontal, págs. 56 a 101.

Tabela 5.12– Sinalização Vertical

Categoria: Sinalização Vertical			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
1 - Placas empregadas em curvas horizontais	<ul style="list-style-type: none"> • São utilizadas sempre que existir curva horizontal em rodovias em que as velocidades de aproximação acarretem manobras que comprometam a segurança dos usuários. • Devem ser utilizadas sempre que existir uma sequência de três ou mais curvas horizontais sucessivas, que possam comprometer a segurança do trânsito. • Devem ser utilizadas sempre que existir, adiante, duas curvas acentuadas sucessivas formando “S”, que possam comprometer a segurança do trânsito. 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocada no lado direito da via • Os sinais em curvas devem ser utilizados quando enquadrarem nas condições expostas no Apêndice D. 	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume II – Sinalização Vertical de Advertência, págs. 32 a 46.
2 - Placas empregadas em rampas acentuadas	Devem ser utilizadas sempre que existir um declive ou aclive acentuado, que possa comprometer a segurança dos ocupantes dos veículos ou demais usuários da via.	<ul style="list-style-type: none"> • Colocada no lado direito da via • Rampas em declive que justificam a implantação da sinalização são aquelas que se enquadram nos fatores geométricos da via, indicados no Apêndice D. 	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume II – Sinalização Vertical de Advertência, pág. 79 a 80. Manual de Sinalização DNIT (2010), págs. 127 e 128.

Tabela 5.12 – Sinalização Vertical (Continuação)

Categoria: Sinalização Vertical			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
3 – Placas em interseções	<ul style="list-style-type: none"> • Grupos de sinais: cruzamento de vias, vias laterais, entroncamentos oblíquos e confluências, interseção em “T” ou bifurcação em “Y”, interseção em círculo, junções sucessivas contrárias. • A sinalização deve ser feita com base nas características de cada situação, observando o local e o ponto de vista do condutor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocada no lado direito da via. Onde houver restrições à visibilidade da placa em pista com sentido único, recomenda-se seu uso nos dois lados da pista. • Devem ser utilizadas em cruzamento de vias, vias laterais, entroncamentos oblíquos e confluências, interseção em “T” ou bifurcação em “Y”, interseção em círculo, junções sucessivas contrárias. 	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume II – Sinalização Vertical de Advertência, págs. 47 a 64.
4 – Demais elementos – Sinalização vertical de Advertência	Aspectos do controle de tráfego, interferência de transporte, condições da superfície da pista, perfil longitudinal, traçado da pista, obras, sentido de circulação, situação de risco eventual, pedestre e ciclistas, restrições de dimensões e peso de veículos, e sinalização especial de advertência devem ser objeto de uma análise detalhada e global do projeto de sinalização que está fora do escopo da presente dissertação.		Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume II – Sinalização Vertical de Advertência

Tabela 5.12 – Sinalização Vertical (Continuação)

Categoria: Sinalização Vertical			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
5 Placa de Parada Obrigatória	<ul style="list-style-type: none"> • Sua utilização deve se restringir às situações em que a parada de veículos for realmente necessária, sendo insuficiente ou perigosa a simples redução da velocidade, ou quando ocorrer uma das condições abaixo: <ul style="list-style-type: none"> - onde o risco potencial, ou a ocorrência de acidentes, demonstre sua necessidade; - nas interseções sem controle por semáforo, em área que tenha grande número de interseções semaforizadas; - nas passagens de nível não semaforizadas; - em vias transversais, junto a interseções com vias consideradas preferenciais, devido suas condições geométricas, de volume de tráfego ou continuidade física; - em interseções em que a via considerada secundária apresenta visibilidade restrita. 	<ul style="list-style-type: none"> • A placa deve ser colocada no lado direito da via/pista. Onde houver restrições à visibilidade da placa em pista com sentido único, recomenda-se seu uso nos dois lados da pista. • Em vias urbanas, a placa deve ser colocada no máximo a 10,0 m do prolongamento do meio-fio ou do bordo da pista transversal. • Em vias rurais, a placa deve ser colocada no mínimo a 1,5 m, e no máximo a 15,0 m do prolongamento do meio-fio ou do bordo da pista transversal. 	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume I – Sinalização Vertical de Regulamentação, págs. 39 a 41.

Tabela 5.12 – Sinalização Vertical (Continuação)

Categoria: Sinalização Vertical			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
6 – Placa Dê a preferência	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizada para controlar o fluxo que vai entrar em uma via com preferência de passagem somente se houver boa intervisibilidade entre os veículos que se aproximam e quando ocorrer uma ou mais das seguintes condições: <ul style="list-style-type: none"> -uso do sinal R-1 “Parada Obrigatória” for considerado demasiado restritivo; -se deseja alterar a regra de direito de passagem, estabelecida no art. 29, Inciso III do CTB; -nos acessos às vias que têm preferência de passagem, de forma a garantir o fluxo contínuo dos veículos da via preferencial. 	<ul style="list-style-type: none"> • - Em vias urbanas, a placa deve ser colocada antes da interseção, no lado direito da via/pista, no máximo a 10,0 m do prolongamento do meio-fio ou bordo da pista transversal ou canteiro central. • -Em vias rurais, a placa deve ser colocada antes da interseção, no lado direito da via/pista, no mínimo a 1,5 m e no máximo a 15,0m do prolongamento do meio-fio ou bordo da pista transversal ou canteiro central • A placa deve ser colocada no lado direito da via/pista. Onde houver restrições à visibilidade da placa em pista com sentido único, recomenda-se seu uso nos dois lados da pista 	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume I – Sinalização Vertical de Regulamentação, págs. 42 a 44.

Tabela 5.12 – Sinalização Vertical (Continuação)

Categoria: Sinalização Vertical			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
7- Limite de velocidade	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizada ao longo da via, de forma a manter o condutor informado sobre a velocidade limite. • Deve ser instalada junto aos principais acessos, para assinalar a velocidade máxima permitida no trecho aos usuários que ingressam na pista. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diretrizes para regulamentação da velocidade máxima em vias rurais e distâncias máximas entre placas (ver Apêndice D). • A placa é colocada à direita da rodovia e perpendicular ao sentido de tráfego. • Em rodovias com 3 ou mais faixas de trânsito por sentido é preciso colocar a placa também do lado esquerdo da via. 	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume I – Sinalização Vertical de Regulamentação, págs. 45 a 60.
8 – Demais elementos – Sinalização vertical de regulamentação	Aspectos do sentido de circulação, movimentos de circulação, normas especiais de circulação, controle das características dos veículos que transitam na via, estacionamento, e trânsito de pedestres e ciclistas devem ser objeto de uma análise detalhada e global do projeto de sinalização, que está fora do escopo da presente dissertação.		

Tabela 5.12 – Sinalização Vertical (Continuação)

Categoria: Sinalização Vertical			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
9 – Placas de indicação	<p>São utilizadas para:</p> <ul style="list-style-type: none"> - orientar os usuários da via no curso de seu deslocamento; - fornecer as informações necessárias para a definição das direções e sentidos a serem seguidos pelos motoristas; - fornecer informações quanto às distâncias a serem percorridas nos diversos segmentos do trajeto; - informar os usuários quanto à existência de serviços ao longo da via (postos de abastecimento e restaurantes), a ocorrência de pontos geográficos de referência etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • As placas posicionadas na margem da via (geralmente na margem direita) devem ser: <ul style="list-style-type: none"> - Colocadas a uma distância mínima de 1,20 m da borda do pavimento e não devem ultrapassar 3,0 metros. - colocadas a uma altura livre, $\geq 1,50\text{m}$ medida da borda inferior da placa ao nível da pista. • As placas suspensas sobre a via devem: <ul style="list-style-type: none"> - ser colocadas ao bordo externo do acostamento ou pista seja $\geq 1,50\text{m}$; - ser colocada a uma altura livre $\geq 5,50\text{m}$, medida da borda inferior da placa ao nível da pista. 	Manual de Sinalização do DNIT (2010), págs. 152 a 155.

Tabela 5.13– Dispositivos Auxiliares

Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
<p>1- Delineadores, balizadores e marcadores de obstáculos</p>	<p>São utilizados para:</p> <ul style="list-style-type: none"> - sinalizar os trechos potencialmente perigosos para propiciar aos motoristas de veículos melhor visibilidade a situações que requeiram mais atenção, principalmente em curvas acentuadas ou em trechos sujeitos à neblina; - no pavimento ou junto da rodovia, ou ainda em obstáculos próximos, de modo que a torná-la segura e eficiente; 	<ul style="list-style-type: none"> • Balizadores: auxilia o percurso e utilizados na área lateral da pista. • Marcadores de obstáculos: assinala obstruções na via e estreitamento de pista, pontes, viadutos etc. • Delineadores: assinala o alinhamento da borda (sinalização de alerta). São posicionados em curvas acentuadas e nas transições com diminuição de largura de pista. Tipos: tachas, tachões, botões, calotas e prismas. • Distâncias entre delineadores em trechos de curva ver Apêndice D. • Posicionamento e espaçamento das tachas e tachões ver Apêndice D. 	<p>Manual de Sinalização do DNIT (2010), pág. 209.</p> <p>Manual de Sinalização do DNER (1999a), pág. 139.</p>

Tabela 5.14 – Projeto de Dispositivos de Proteção

Categoria: Projeto de Dispositivos de Proteção (segundo o conceito de “Rodovias que Perdoam”)			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
1 – Largura da zona livre (área livre)	<ul style="list-style-type: none"> • Lc de aproximadamente 9m em trechos retos. • Velocidade de projeto ≥ 60 km/h. • VDM (veículo diário médio). • Declividade lateral do talude de corte e aterro. 	$ZL_c = L_c \times K_{ce}$ (em curva) Onde: ZL_c - zona livre na parte externa das curvas; L_c - largura da zona livre calculada K_{ce} - fator de correção da curva Valores de K_{ce} e ábaco para o cálculo de L_c apresentados no Apêndice D.	ABNT NBR 15486/2007 – Segurança no tráfego – Dispositivos de contenção viária – Diretrizes.
2 – Drenagem lateral	Verificar com base na inclinação dos taludes frontal (V1/H1) e posterior (V2/H2), se a seção de drenagem projetada é adequada.	Ábacos para determinar as seções de drenagem desejáveis são apresentados no Apêndice D.	ABNT NBR 15486/2007 – Segurança no tráfego – Dispositivos de contenção viária – Diretrizes.
3 – Proteção lateral (defensas metálicas, barreiras de concreto, defensas de cabos ou outros elementos de proteção) em taludes	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar a distância de obstáculos fixos ao bordo da pista (Dof): - em curva - $Dof < ZL_c$; - em tangente - $Dof < L_c$. • Avaliar a altura e declividade dos taludes de aterro. • Avaliar a presença esperada de pedestres e ciclistas próximos à rodovia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Valor calculado de L_c e ZL_c • Ábaco para verificar a necessidade de proteção nos taludes é apresentado no Apêndice D. 	ABNT NBR 15486/2007 – Segurança no tráfego – Dispositivos de contenção viária – Diretrizes.

Tabela 5.14 - Projeto de Dispositivos de Proteção (Continua;ao)

Categoria: Projeto de Dispositivos de Proteção (segundo o conceito de “Rodovias que Perdoam”)			
Elementos de projeto	Condição a ser observada	Elemento para avaliação	Referência
4 – Proteção em canteiros centrais	<ul style="list-style-type: none"> • Largura do canteiro central; • Inclinação dos taludes do canteiro central; • Velocidade de projeto ≥ 60 km/h. 	Ábaco para verificar a necessidade de proteção nos canteiros centrais é apresentado no Apêndice D.	ABNT NBR 15486/2007 – Segurança no tráfego – Dispositivos de contenção viária – Diretrizes.
5 – Comprimento necessário de um sistema de proteção lateral	<ul style="list-style-type: none"> • É aquele necessário para fornecer proteção a um veículo desgovernado de modo a não atingir um obstáculo fixo, sendo estabelecido pela ABNT (2007) um ângulo máximo de impacto de 15°. 	No Apêndice D está ilustrado o procedimento para determinar o comprimento necessário do sistema de contenção lateral para tráfego unidirecional e bidirecional, respectivamente	ABNT NBR 15486/2007 – Segurança no tráfego – Dispositivos de contenção viária – Diretrizes.
6 – Proteção lateral utilizando sistemas rígidos (barreiras de concreto)	<ul style="list-style-type: none"> • Instalar em locais onde há restrição de espaço entre a pista e o obstáculo fixo. • Utilizada em tabuleiros das pontes e viadutos e na separação de pistas de sentidos contrários nos segmentos sem canteiro central e que não dispõem de espaço suficiente para a deformação das defensas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar barreiras projetadas para resistir a uma solicitação transversal de, no mínimo, 200 kN. • Dimensões dos elementos dos perfis em função do tipo da barreira (New Jersey ou F), conforme mostrado no Apêndice D. 	ABNT NBR 14885/2004 - Segurança no tráfego – Barreiras de concreto.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Por meio da presente pesquisa, buscou-se desenvolver um procedimento de análise de projetos de rodovia, situadas em área rural, sob a ótica da segurança viária. O procedimento está baseado nos principais elementos do projeto geométrico e na identificação das condições de rodovia que exigem o uso de dispositivos de proteção, utilizando o conceito de “Rodovias que perdoam”, conforme dispõe a NBR 15.486/2007. Também são consideradas no procedimento as condições de geometria que requerem a utilização de sinalização vertical, horizontal e dispositivos auxiliares.

Para apoiar o uso do procedimento foi elaborado o Apêndice D. Esse Apêndice detalha os critérios a serem considerados na avaliação de cada elemento e tem como objetivo facilitar o trabalho dos técnicos rodoviários, pois reúne em um único documento parâmetros de análise que estão distribuídos em vários manuais.

O objetivo específico de analisar as recomendações referentes às características de projetos elaborados dentro dos conceitos de “flexibilidade de projetos” e “rodovias que perdoam” foi alcançado, principalmente, por meio da revisão exposta no Capítulo 2. O objetivo específico de avaliar o alcance de sistemas atuais de Auditoria de Segurança Viária (ASV) para projetos foi atingido por intermédio da revisão bibliográfica realizada no Capítulo 3. Verificou-se que a ASV traz benefícios aos órgãos rodoviários se aplicada em todas as fases de projeto para implantação de uma rodovia, principalmente na fase de planejamento, desenvolvimento e desenho final, pois permite antecipar ajustes que só seriam identificados posteriormente, na fase de execução da obra.

As principais conclusões do presente trabalho, bem como suas limitações e recomendações para trabalhos futuros, constam das seções subsequentes.

6.1 CONCLUSÕES

Antes de desenvolver o procedimento verificou-se que os órgãos rodoviários consultados não desenvolvem os projetos viários. Os projetos podem ser realizados por empresas contratadas, como acontece nos órgãos executivos, ou por concessionárias, no caso do

órgão regulador. Os técnicos dos órgãos públicos têm a responsabilidade de realizar uma avaliação conceitual das soluções adotadas e verificar se todos os itens exigidos (geométrico em planta e perfil, terceiras faixas, interseções, sinalização e dispositivos de proteção) estão contidos nos projetos, e respeitam os manuais rodoviários.

Foi constatado que os órgãos não dispõem de instrumento institucionalizado que padronize a forma de avaliar e verificar, sistematicamente, os elementos necessários e as especificações adotadas nos projetos viários. A verificação de que os critérios utilizados estão em desacordo com os manuais rodoviários é que permite que os projetos sejam devolvidos para as empresas contratadas efetuarem as correções necessárias. Foi constatado, também, que dos órgãos consultados, a ANTT utiliza a NBR 15.486/2007 na avaliação dos dispositivos de contenção viária.

A realização de uma revisão de normas e manuais utilizados pelos órgãos públicos federais e estaduais rodoviários, bem como a revisão de trabalhos técnicos e acadêmicos permitiram alcançar o objetivo geral da presente pesquisa. O objetivo geral foi atingido com a identificação de 65 elementos de projeto, dentro de 09 categorias, que influenciam a promoção da segurança dos usuários de rodovias. Foram inicialmente reconhecidos 39 elementos do projeto geométrico com as respectivas situações e características em que o uso dos elementos é justificado. Dos 39 elementos selecionados, 20 são elementos do projeto geométrico em planta, em perfil, na terceira faixa e em seção transversal, e 19 do projeto de interseções. Posteriormente foram selecionados os elementos dos projetos de sinalização horizontal, vertical, dispositivos auxiliares e do projeto de dispositivos de proteção (defensas e barreiras), totalizando mais 26 elementos de projeto.

Assim, durante a revisão bibliográfica foi constatado que alguns elementos de projeto são especialmente importantes para aumentar a segurança e conforto dos condutores e passageiros, tais como: a adoção de superelevação e superlargura nos trechos em curva; a distância de visibilidade; a adoção de terceiras faixas em rampas; as linhas de proibição de ultrapassagem e os dispositivos de proteção sob o ponto de vista das “rodovias que perdoam”.

O procedimento elaborado e estabelecido no Capítulo 5, especialmente as Tabelas 5.6 a 5.14 e o Apêndice D (Determinação de Elementos para Análise do Projeto) foram

analisados por técnicos de três órgãos rodoviários (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT e o Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal – DER/DF), bem como por dois outros técnicos que atuam na fiscalização rodoviária em órgãos federais de controle interno e externo.

A avaliação realizada pelos técnicos revelou que o procedimento proposto será bastante útil, principalmente por reunir em um único documento parâmetros de análise que estão distribuídos em vários manuais, e que, em função disso, muitas vezes não são considerados nas análises. Porém, considerando que a maioria das unidades técnicas responsáveis pela análise dos projetos rodoviários não dispõem de pessoal capacitado suficiente para realizar a adequada análise de todos os projetos em desenvolvimento, o procedimento proposto, em princípio, poderia ser indicado para avaliações amostrais de elementos do projeto, funcionando como artifício de triagem inicial.

Quanto aos elementos constantes do procedimento, os técnicos informaram que são suficientes para analisar os projetos de rodovias visando à segurança viária. O material proporcionará aos técnicos uma visão mais apurada sobre o atendimento dos parâmetros relacionados à segurança viária, sobretudo quando comparado com a prática atual dos órgãos rodoviários federais e estaduais na análise dos quesitos relativos à geometria, sinalização e dispositivos de proteção de projetos rodoviários. Porém, alertaram que a aplicação do procedimento trará como consequência a realização de análises bem mais criteriosas que demandarão maior tempo, tanto nas avaliações quanto nas consequentes correções.

Após a análise, os técnicos sugeriram excluir o elemento de projeto destinado à implantação da terceira faixa em trecho em declive, e incluir três elementos: material a ser empregado na sinalização horizontal; tachas e tachões; e implantação de ciclovia. As sugestões foram avaliadas e, considerando o impacto dos elementos na segurança viária, foi firmado o seguinte entendimento sobre cada sugestão apresentada:

a) Implantação da terceira faixa em trecho em declive

O fato do elemento de projeto denominado de “implantação da terceira faixa em trecho em declive longo” não estar referenciado nos manuais do DNER e DNIT, já que apenas a

implantação das terceiras faixas em trechos em aclave é mencionada, não exclui a importância da análise e cálculo desse elemento. Os estudos realizados por Lucas (2004) advertem que os veículos pesados com mais de dez anos de uso estão dimensionados para os caminhões operarem em trechos de pequena declividade e comprimentos de rampa não muito longos. Já para os veículos pesados com menos de dez anos de uso e que atendem a Resolução nº 777/93, Lucas (2004) verificou que esses não oferecem limitações de velocidade para rampas com declividade até 5% e de comprimentos longos. Contudo, se os comprimentos de rampas forem superiores a 5.000 m e a declividade maior do que 5% poderá haver impacto dos veículos pesados (mesmo dos que atendem a Resolução nº 777/93) no fluxo total de veículo. Desse modo, considera-se importante manter tal elemento como crítico, e recomenda-se às equipes de projetistas e técnicos rodoviários federais e estaduais a análise desse elemento no projeto de rodovias a serem implantadas que envolvam rampas em declive muito longo.

b) Verificação do material empregado na sinalização horizontal

Quanto a indicar o tipo de material a ser empregado na sinalização horizontal, em função do volume de tráfego e da provável vida útil da sinalização, com o objetivo de atender o disposto na norma do DNIT 100/2009 ES (DNIT, 2009), verifica-se que o assunto da citada norma não foi objeto desta dissertação, por tratar de aspecto específico referente à execução do serviço de sinalização horizontal. Contudo, é importante especificar nos memoriais descritivos ou notas de serviço que acompanham os projetos quais materiais devem ser utilizados nas sinalizações de rodovias rurais. Assim, este item poderá ser abordado em futuros trabalhos.

c) Implantação de tachas e tachões

A sugestão para apresentar no procedimento previsão de implantação de tachas e tachões, bem como indicar os espaçamentos dos mesmos, conforme disposto no Manual de Sinalização do DNER (DNER, 1999), foi acatada, pois as tachas e tachões são elementos importantes voltados à segurança viária. Nesse sentido, o assunto foi incluído na Tabela 5.13 e a indicação dos espaçamentos necessários é apresentada no Apêndice D.

d) Análise de projeto de ciclovia

A última sugestão apresentada pelos técnicos trata da importância das ciclovias na mobilidade urbana e inclusão de item específico para o cálculo dos elementos de projeto

para implantação de ciclovias em rodovias que atravessam áreas urbanas. De fato, essas vias são muito importantes na promoção da mobilidade urbana, pois o modo ciclovitário respeita o meio ambiente e permite descongestionar as vias públicas. No entanto, dada a importância e especificidades do projeto de ciclovias, prevalece o entendimento de que ele deve ser objeto de um procedimento específico de análise. Ou seja, sua inserção no procedimento proposto nesta dissertação não é adequada.

6.2 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Durante o trabalho de pesquisa, várias limitações ocorreram. A primeira foi decorrente da grande dificuldade para relatar no Apêndice D todas as formas de sinalização dispostas nos manuais de sinalização de trânsito do CONTRAN. Assim, optou-se em apenas citar nas Tabelas 5.11 e 5.12 as linhas e placas de sinalização que se revelaram mais diretamente ligadas à promoção da segurança dos usuários da rodovia, indicando a página do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito que trata sobre cada uma delas, e sugerir a revisão completa do projeto de acordo com os referidos manuais.

Outra limitação refere-se à dificuldade de colaboração por parte de alguns técnicos na análise de todo o procedimento incluindo o Apêndice D. Essa dificuldade decorreu da falta de tempo dos técnicos para colaborar com a pesquisa, tendo em vista a quantidade de trabalho nos órgãos públicos aliada à falta de pessoal. Por fim, não houve tempo hábil para que os técnicos rodoviários de cada entidade pública consultada pudessem aplicar o procedimento em um projeto de implantação de rodovia rural, considerando o prazo para término desta dissertação. Ou seja, o teste do procedimento em uma ou mais aplicações práticas, como seria desejável, não pode ser realizado.

O procedimento apresentado, ainda que se mostre útil ao permitir que os técnicos dos órgãos rodoviários, empresas contratadas e concessionárias não deixem de considerar os itens importantes dos projetos viários sob a ótica da segurança viária e, ao mesmo tempo, eficiente ao permitir que as equipes técnicas tornem-se mais rápidas quando se acostumarem a utilizar tal procedimento, apresenta dificuldades para sua implementação. Essas decorrem, principalmente, da sobrecarga de trabalho dos técnicos responsáveis pela avaliação dos projetos. Em decorrência dessa situação, em geral, ao analisar um projeto, recomendando a sua aprovação, o técnico não necessariamente avalia pontualmente todos

os parâmetros dos projetos geométrico, de sinalização e de dispositivos de proteção, ao longo de toda a extensão do segmento projetado, conforme previsto no procedimento proposto.

6.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Seguem algumas sugestões para trabalhos a serem desenvolvidos no futuro que visem contribuir para o avanço da análise de projetos de rodovias rurais voltados para a segurança viária e também para o aperfeiçoamento do procedimento apresentado na presente dissertação. São elas:

- consultar, de forma similar a que foi feita na presente dissertação, outros órgãos rodoviários estaduais com relação aos elementos apresentados no procedimento proposto, de forma a permitir seu aperfeiçoamento e facilitar sua utilização;
- realizar oficinas de trabalho com equipes técnicas e gestores dos órgãos rodoviários federais e estaduais, de modo a colher sugestões para melhoria do procedimento e a definir situações práticas para seu teste;
- desenvolver pesquisas junto a técnicos em segurança viária, técnicos de projetos rodoviários e empresas que desenvolvem projetos rodoviários de modo a atribuir pontos e definir pesos que reflitam a importância relativa de cada elemento de projeto sobre a segurança viária;
- considerando que tramita no Congresso Nacional Projeto de Lei que, se aprovado, obrigará a inclusão de ciclovias em rodovias federais, concedidas ou não, sugere-se que o assunto seja abordado em futuros trabalhos, e que um procedimento específico para análise de projetos de ciclovias seja desenvolvido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (2004) - American Association Of State Highway and Transportation Officials. *A Guide for Achieving Flexibility in Highway Design*. Washington, DC.
- ABNT (1999) - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Defensas metálicas – Projeto e implantação – *NBR 6971*. Rio de Janeiro, RJ.
- ABNT (2004) - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Segurança no tráfego – Barreiras de concreto – NBR 14885*. Rio de Janeiro, RJ.
- ABNT (2007) - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Segurança no tráfego – Dispositivos de Contenção Viária – NBR 15486*. Rio de Janeiro, RJ.
- AUSTROADS (2009). Guide to Road Safety Part 6: Road Safety Audit. Austroads Publication No. AGRS06/09. Sydney, Australia.
- BRANCO, A. M. (1999) *Segurança Rodoviária*. Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil. Editora CL-A 1999.
- BRASIL (1993) – Resolução nº 777, de 17 de setembro de 1993. Dispõe sobre os procedimentos para avaliação do Sistema de Freios de Veículos. Diário Oficial da União. Poder Executivo. Brasília, DF, 23 dez. 1993.
- _____ (1997) - Lei nº 9.503, de 23 de Setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Nacional. *Diário Oficial da União*. Poder Executivo. Brasília, DF, 24.set.1997.
- _____ (2001) - Lei nº 10.233, de 05 de Junho de 2001. Dispõe sobre a reestruturação dos transportes aquaviário e terrestre, cria o Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte, a Agência Nacional de Transportes Terrestres, a Agência Nacional de Transportes Aquaviários e o Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. Poder Executivo. Brasília, DF, 06.jun.2001.
- _____ (2007) – Resolução nº 10, de 31 de Janeiro de 2007. Aprova o Regimento Interno do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Diário Oficial da União*. Poder Executivo. Brasília, DF, 26.fev.2007.
- _____ (2008) – Código de Trânsito Brasileiro e Legislação Complementar em vigor. 1ª edição. Denatran. 708p. Brasília, DF.
- CALDAS, Luiz Rodrigo R. e VIEIRA, Vaninha (2010). *Desenvolvimento de Uma Solução Sensível ao Contexto Como Suporte a um Sistema de Transporte Público Inteligente*. Disponível em: <<http://im.ufba.br/pub/MATA67/Turma17Vaninha/Artigo.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2011.

- COELHO, C. B. P (2010). Procedimento para análise das condições de segurança oferecidas por interseções não semaforizadas de rodovias de pista simples. 189f. Dissertação (Mestrado em Transportes). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília.
- CONTRAN (2007a) - Conselho Nacional de Trânsito. *Manual de Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Volume IV – Sinalização Horizontal*. Contran-Denatran. 1ª edição. 128 p. Brasília, DF.
- CONTRAN (2007b) – Conselho Nacional de Trânsito. *Manual de Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Volume I – Sinalização Vertical de Regulamentação*. Contran-Denatran. 2ª edição. 220 p. Brasília, DF.
- CONTRAN (2007c) – Conselho Nacional de Trânsito. *Manual de Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Volume II – Sinalização Vertical de Advertência*. Contran-Denatran. 1ª edição. 218 p. Brasília, DF.
- DA COSTA, P. S. e FIGUEIREDO, W. C. (2001). Estradas Estudos e Projetos. Editora da Universidade Federal da Bahia, Salvador. 408p.
- DAER (2006) – Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem. *Instruções para Sinalização Rodoviária*. 134f. 2ª ed. Porto Alegre.
- DER-SP (2005) - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. Instrução de Projeto. 09f. Secretaria de Transportes. IP-DE-L00/003.
- DNER (1979) - Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. Instruções para a Implantação de Terceiras Faixas. Diretoria de Planejamento. Rio de Janeiro, RJ.
- DNER (1997) – Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. *Glossário de Termos Técnicos Rodoviários*. Rio de Janeiro, RJ.
- _____ (1998) – Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. *Guia de Redução de Acidentes com base em Medidas de Engenharia de Baixo Custo*. 195p. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, RJ.
- _____ (1999) – Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. *Manual de Projetos Geométrico de Rodovias Rurais*. Rio de Janeiro, RJ.
- _____ (1999a) - Departamento Nacional de Estradas e Rodagens. *Manual de Sinalização Rodoviária*. Rio de Janeiro, RJ.
- DNIT (2005) – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Manual de Projetos de Interseções*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 528f. 2ª ed. IPR-718. Rio de Janeiro, RJ.
- DNIT (2009) - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Obras Complementares – Segurança no Tráfego – Sinalização Horizontal – Especificações de Serviço. Norma DNIT 100/2009-ES. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ.

- DNIT (2010a) – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias*. Publicação. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 280f. IPR-741. Rio de Janeiro, RJ.
- DNIT (2010b) – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2010). *Manual de Implantação Básica de Rodovias*. IPR. Rio de Janeiro, RJ.
- DNIT (2010c) – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Sinalização Rodoviária. 3ª edição. Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR. IPR 743. Rio de Janeiro.
- DNIT (2010d) – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Instrução de Serviço nº 04, de 23 de março de 2010. Estabelece critérios e procedimentos para o Programa de Defensas Metálicas nas Rodovias Federais sob a jurisdição do DNIT – PRODEFENSAS*. Publicado no Boletim Administrativo nº 012, de 22 a 26/03/2010.
- DNIT/UFSC/NEA (2008) - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Universidade Federal de Santa Catarina. Núcleo de Estudos sobre Acidentes de Tráfego em Rodovias Federais . *Relatório de Avaliação das Condições de Segurança Viária*.
- EC – European Commission (2007). *Melhores Práticas de Segurança Rodoviária – Manual de Medidas Nacionais*. Disponível em: <www.ec.europa.eu/transport/roadsafety_library/.../supreme_c_pt.pdf>. Acesso em: 14 abr.2011.
- FHWA (2000) - Federal Highway Administration. *Alternative Design Consistency Rating Methods for Two-Lane Rural Highways*. 154f. US Department of Transportation.
- _____ (2004) - Federal Highway Administration. *Flexibility in Highway Design*. Disponível em: <<http://www.fhwa.dot.gov/environment/flex/adminmsg.htm>>. Acesso em: 25 out.2010.
- _____ (2006) - Federal Highway Administration. *FHWA Road Safety Audit Guidelines*. 87f. Publication nº FHWA SA.06.06. US. Department of Transportation.
- FHWA (2011) – IHSDM Overview – Disponível em<<http://www.fhwa.dot.gov/research/tfhrc/projects/safety/comprehensive/ihsdm/>>. Acesso em: 15 set 2011.
- FHWA (2007). *Estratégias de mitigação para exceções Design*. Disponível em:<<http://apps.trb.org/cmsfeed/TRBNetProjectDisplay.asp?ProjectID=2977>>,. Acesso em: 01 nov.2011.
- FILHO, G. P. (1998). *Estradas de Rodagem Projeto Geométrico*. Instituto Panamericano de Carreteras Brasil, São Carlos, SP.
- GARCIA, D. S. P. (2008). Método para análise da consistência geométrica de rodovias brasileiras de pista simples. 353f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção).

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

- HASSAN, Y. e AWATTA, M. (2002) - *Towards Establishing an Overall Safety-Based Geometric Design Consistency Measure*. Carleton University. Department of Civil and Environmental Engineering. In: 4e Conférence spécialisée en génie des transports de la Société canadienne de génie civil. Ottawa. Canada.
- HASSAN, Y. (2004) *Highway Design Consistency: Refining the State of Knowledge and Practice*. Transportation Research Boarding – TRB.
- HERRSTEDT, L. (2006). *Self-Explaining and Forgiving Roads – Speed Management in Rural Areas*. Disponível em: <<http://www.trafitec.dk/pub/arrb2006.pdf>> Acesso em: 21 nov. 2010.
- IAB (2011) - Instituto de Arqueologia Brasileira. *Arco Metropolitano do RJ: Programa de Educação Patrimonial estréia em grande estilo no Município de Duque de Caxias*. Disponível em: <<http://www.arqueologia-iab.com.br/2009/view.php?show=61&pag=5>> Acesso em: 10 ago. 2011.
- IDOT (2003) – Illinois Department of Transportation – Context Sensitive Solutions – Detailed Guidelines For Practice. 30p. Illinois.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2006). *Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Rodovias Brasileiras – Relatório Executivo*. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/sites/000/2/estudospesq/acidentesdetransito/Apresentacao02.pdf>> Acesso em: 05 jan. 2011
- JÚNIOR, S. S. Porto, TOCHETTO, D. Goya, SOUZA, Tanara, Correa, Esmeralda e STAMPE, Marianne (2010). *Impacto econômico dos acidentes de trânsito relacionados ao uso de substâncias psicoativas*. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/ppge/divulgacao/cap4-livro-nepta.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2010.
- LEE, S. L. (2005) – *Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias*. UFSC. Florianópolis, SC.
- _____ (2008) – *Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias*. UFSC. Florianópolis, SC.
- LOPES, D.L. e MARTINEZ FILHO, A. (2010). *Auditoria de Segurança Viária. NT 213*. Companhia de engenharia de tráfego. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/20800/nt213.pdf>. Acesso em: 22 ago 2011.
- LUCAS, M. J (2004) - *Faixas adicionais para trechos de rodovias com declives longos considerando os aspectos técnicos da frenagem de veículos de carga*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- MARQUES, E. C. S. (2012). *Fatores a Serem Considerados para a Definição de Velocidade Limite em Rodovias Brasileiras*. Dissertação de Mestrado em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 140 p.
- MARQUES, M. F. (2009) – *Análise da Consistência de Projeto Geométrico em Rodovias Rurais de Pista Simples com o Uso do Software IHSDM*. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 189 p.
- MELO, R. A. e SETTI, J.R (2007). Fluxos mínimos de veículos para implantação de faixas adicionais em aclives de rodovias de pista simples. Disponível em: <<http://www.revistatransportes.org.br/index.php/anpet/article/view/43>> Acesso em: 04 jun. 2011.
- MISSATO, M. M. (2010) *Segurança no Entorno Viário: Critérios de Projeto e sua Relação com a Ocorrência de Acidentes com Saída de Pista*. Disponível em: <<http://webcache.googleusercontent.com/search> > Acesso em: 21 nov.2010
- NODARI, C. T. (2003). *Metódo de Avaliação da Segurança Potencial de Segmentos Rodoviários Rurais de Pista Simples*. 2003. 221f. Tese. (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do rio Grande do Sul.
- NRA (2004) – National Roads Authority. *Road Safety Audit Guidelines*. Volume 5, HD 19/04.
- _____ (2009) - *Road Safety Audit. NRA Design Manual for Roads and Bridges*. 24f. DMRB, Volume 05 – HD19/09.
- OHL Brasil – Obrascon Huarte Lain Brasil (2011). *Projeto Escola*. Disponível em: <www.projetoescolaohlbrasil.com.br>. Acesso em: 04 jul. 2011.
- PEDROSO, F. F.F; Yamashita, Y.; Taco, P. W. G.; Sant’Anna, J. A. (2005). *Utilização de ferramenta para gestão rodoviária para prevenção de acidentes através da previsão de severidade*. Fundação Universidade de Brasília – FUB. Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes – CEFTRU/UnB. 15º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. Disponível em: <http://www.cbtu.gov.br/estudos/pesquisa/antp_15congr/pdf/TU-097.pdf> Acesso em: 01 Ago. 2011.
- PELLEGRINI, P.T. (2006). *Contribuição para o estudo das distâncias de visibilidade de ultrapassagem para rodovias bidirecionais com duas faixas de tráfego*. 275f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- PEREIRA, D. M.; Ratton, D.; Blasi, G.; Pereira. M. A.; Filho, W.K. (2010) - *Projeto geométrico de rodovias*. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Departamento de Transportes.

- PEREIRA NETO, W. A. (2007). *Análise de fatores intervenientes nas características dimensionais de segmentos rodoviários sob a óptica da compatibilidade veículo-via*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo –USP.
- PIMENTA, C. R. T. e OLIVEIRA, M. P. (2004). *Introdução ao Projeto Geométrico de Interseções Rodoviárias. Notas de Aula*. EESC/USP.
- RODRIGUES, J. L. F. (2010). *Aplicações da técnica de auditoria de segurança viária em segmentos viários no estado de São Paulo – avaliação crítica de reflexões*. 2005. 119f. Dissertação (Mestrado em Transportes). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas.
- SCHOPF, A. R., LINDAU, L. A. e PAHIM, J. T. C.D (2004). *Aspectos legais referentes à Auditoria de Segurança Viária*. In: XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes.
- SDDOT - South Dakota Department of Transportation (2007). *Road Design Manual* . Disponível em < <http://www.sddot.com/pe/roaddesign/docs/rdmanual/rdmch10.pdf> > Acessado em: 27 abr. 2011.
- TRB - Transportation Research Board (2004). *Flexibility in Highway Design*.. Disponível em: < <http://www.fhwa.dot.gov/environment/flex/>>. Acesso em: 25 out. 2010.
- TRENTIN, L.C. (2007). *Análise crítica de modelos de verificação de consistência de traçado*. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- WALLTERS, P. e O`MAHONY (2007). *The Relationship between Geometric Design Consistency and Safety on Rural Single Carriageways in Ireland*. The University of Dubin, Trinity College
- WHO - World Health Organization (2004). *Road Safety: a public health issue*. Disponível em: <http://www.who.int/features/2004/road_safety>. Acesso em: 20 dez. 2010.
- ZANOLI, P. R. e SETTI, J.R (2004). *Desaceleração de Caminhões sem freios em caixas de retenção preenchidas com agregado artificial*. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. In: XVIII ANPET, Santa Catarina.

APÊNDICES

A - TÉCNICA DA AUSTROADS DE AUDITORIA (2009)

CHECKLISTS – Fase de detalhamento do Projeto

<p>1.1 Tópicos Gerais</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Drenagem 2. Condições climáticas 3. Paisagismo 4. Serviços 5. Acesso à propriedade 6. Desenvolvimentos adjacentes 7. Veículos de emergência e acessos 8. Futuro alargamento e / ou realinhamentos 9. Estabilidade de corte e aterro 10. Resistência à derrapagem 	<p>1.3 Detalhes do Alinhamento</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Alinhamento horizontal e vertical 2. Distância de Visibilidade 3. Interface com novas rodovias/existentes 4. Percepção do alinhamento pelos condutores 5. Detalhe do projeto geométrico; 6. Tratamento em pontes e bueiros 	<p>1.5 Especial atenção aos usuários da estrada</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Terreno adjacente 2. Pedestres 3. Ciclistas 4. Motociclista 5. Manutenção de veículos rodoviários 	<p>1.7 Objetos fixos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Barreiras 2. Postes e outros obstáculos 3. Pontes e bueiros
<p>1.2 Questões Gerais do Projeto</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Geometria horizontal e vertical 2. Seções transversais 3. O efeito da variação da seção transversal 4. <i>Layout</i> da pista 5. Acostamento e bordas 6. Distância de visibilidade 7- Tratamentos ambientais 	<p>1.4 Interseções</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Visibilidade nos cruzamentos 2. <i>Layout</i>, incluindo a adequação do tipo 3. Percepção do alinhamento pelos condutores 4. Sinais de trânsito 5. Rotatórias 6. Outros Cruzamentos 	<p>1.6 Sinalização, iluminação e delineamento</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Iluminação 2. Sinais 3. Marcação e delineamento 	<p>1.8 Questões adicionais a serem consideradas - apresentação de propostas de desenvolvimento</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. alinhamento horizontal 2. alinhamento vertical 3. Estacionamentos 4. Instalações de serviço 5. Sinais e marcas 6. Outros

B - TÉCNICA AMERICANA DE AUDITORIA – FHWA (2006)

1 - CHECKLISTS – Fase de detalhamento do Projeto

1.1 Questões do Projeto 1. Geometria do Alinhamento Horizontal e Vertical 2. Seções transversais e zonas de recuperação 3. Efeito da variação da seção transversal 4. Layout da Rodovia 5. Tratamento do acostamento e bordas	1.3 Interseções 1. Visibilidade nos cruzamentos 2. <i>Layout</i> e Percepção do alinhamento pelos condutores 3. Projeto Geométrico detalhado 4. Sinais de trânsito 5. Rotatórias 6. Outras Interseções 7. Pedestres e ciclistas 8. Iluminação	1.5 Especial atenção aos usuários da estrada 1. Terreno adjacente 2. Pedestres 3. Ciclistas 4. Motociclista 5. Manutenção de veículos rodoviários
1.2 Detalhes do Alinhamento 1. Distância de Visibilidade 2. Interface com novas rodovias/existentes 3. Percepção do alinhamento pelos condutores 4. Detalhe do projeto geométrico; 5. Trasição para pontes e bueiros	1.4 Sinalização, iluminação e delineamento 1. Iluminação 2. Sinais 3. Marcação e delineamento	1.6 Rodovia 1. Barreiras 2. Postes e outros obstáculos 3. Pontes e bueiros

2 - CHECKLISTS – Plano de Auditoria – Zona de trabalho

<p>1.1 Função, Classificação, ambiente</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Documentação de escritório 2. Alinhamento 3. Rios de giro e tapers 4. Segurança de tráfego 5. Segurança à noite 6. Acesso à propriedade 7. Barreiras de Segurança 8. Fatores Humanos 9. Zonas de trabalho para inspecção 	<p>1.2 Gestão do Tráfego</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Controle do tráfego 2. Velocidade 3. Acesso ao site de trabalho 	<p>1.3 Alinhamento</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sinais 2. Requisitos para sinalização de dia/noite 3. Controle de Tráfego 4. Delimitação e marcadores reflexivos 5. Marcas no pavimento
<p>1.4 Sinais</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Em geral 2. Para Idosos 3. Para Ciclistas 	<p>1.5 Estacionamento e serviços</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sinalização e paisagismo 2. Delimitação 3. Aspectos de segurança 	<p>1.6 Paisagismo</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Defeitos no pavimento 2. Resistência ao escorregamento 4. acúmulo de neve
<p>1.7 Assuntos de segurança ainda não mencionados</p>		

C - TÉCNICA IRLANDESA DE AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA – NRA (2009)

CHECKLISTS – As mais importantes características viárias a serem auditadas

Estágio F – Viabilidade

Geral

1. Consistência do projeto com a rede rodoviária adjacente.
2. Efeitos secundários ao redor da rede viária.
3. Efeitos da localização prevista para a instalação do projeto, relativamente às opções de desempenho da segurança.

Via

1. Impacto do projeto, relativamente ao fluxo de tráfego e velocidades na segurança.
2. Geração de oportunidades.
3. Consistências dos entroncamentos, controle de acesso.
4. Frequência dos entroncamentos (públicos e privados), relacionados à segurança dos acessos.
5. Alinhamentos horizontais e verticais consistentes, com visibilidade necessária ao longo da rodovia e entroncamentos.
6. Dispositivos para pedestres, ciclistas e animais.
7. Previsão para aspectos incomuns da composição do tráfego e ambiente.

Planejamento

1. Designação funcional para os diferentes elementos da hierarquia rodoviária.
2. Planejamento consistente com todos os planos de segurança.

Estágio 1 – Projeto Básico

Geral

1. Revisão de auditoria de segurança viária anteriores, a fim de permitir conhecer as possíveis mudanças de projeto.

2. Em projetos maiores, determinação da necessidade de previsão de áreas adicionais requeridas por questões de segurança.

Alinhamento e visibilidade das faixas

1. Elementos do alinhamento horizontal e vertical oferecendo restrições à visibilidade especialmente quando combinados.
2. Visibilidade obstruída por pontes, guarda-corpos, vegetação e demais elementos geométrico da via.

Interseções/Entrocamentos

1. Redução dos pontos de conflitos na interseção, incluindo número de acessos privados.
2. Visibilidade da interseção nas aproximações, visibilidade das faixas nas aproximações da rodovia secundária e acessos particulares.
3. Controle da velocidade e *layout* das aproximações.
4. Previsão dos tráfegos de conversão.
5. Localização e acessos às áreas de emergência.

Outros

1. Impacto da vegetação na visibilidade e percepção do usuário.
2. Sinalização horizontal e a percepção do usuário.
3. Previsão de dispositivos de segurança em taludes íngremes.
4. Dispositivos para pedestres, ciclistas e animais.
5. Potencialidade de alagamentos em virtude de drenagens deficientes.
6. Compatibilidade com a rede viária adjacente.
7. Existência de serviços de acesso e manutenção.

Estágio 2 – Projeto Executivo

Geral

1. Revisão de auditoria de segurança viária anteriores, a fim de permitir conhecer as possíveis mudanças de projeto.

Interseções/Entroncamentos

1. Raios de curvas apropriados, relativamente à velocidade de aproximação.
2. Layout viário e a percepção do usuário.

Sinalização

1. Localização das placas e faixas para ajudar, informar e reduzir os riscos, sem obstruir a visibilidade ou confundir os usuários.
2. Consistência da sinalização e informações oferecidas.

Iluminação e Semáforos

1. Consistência da iluminação do projeto e rede viária.
2. Localização segura dos postes, semáforos e demais equipamentos operacionais.
3. Confusão ou conflitos entre a iluminação e semáforos.
4. Localização dos focos semaforicos, tanto veiculares, quando pedestres, permitindo clara percepção por parte dos usuários e evitando confusões entre eles.
5. Segurança de acessos.

Facilidades para usuários vulneráveis

1. Localização, tipos e visibilidades de calçadas e faixas de pedestres.
2. Dispositivos exclusivos para ciclistas ou pedestres.
3. Previsão de dispositivos para pessoas com mobilidade reduzida.

Vegetação

1. Potencialidade de obstrução da visibilidade.
2. Potencialidade de colisões em árvores: escolher a espécie adequada.
3. Capacidade de manter a área plantada com segurança.

Dispositivos de proteção

1. Posicionamento seguro de defensas metálicas e de barreiras de concreto para proteger de conflitos entre veículos ou colisões com dispositivos de beira de estrada (postes, colunas etc.) sem obscurecer a visibilidade.
2. Uso de pára-raios.

Características da Superfície

1. Superfície apropriada para rodovias de elevadas velocidades ou localizações que são potencialmente perigosas quando molhadas.
2. Superfície apropriada para as aproximações rodoviárias e existência de vilarejos e áreas residenciais, de forma a encorajar a prática de velocidades reduzidas.

Estágio 3 – Pré-operação

Geral

1. Revisão de auditoria de segurança viária anteriores, a fim de permitir conhecer as possíveis mudanças de projeto.

D - DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS PARA ANÁLISE DO PROJETO

D.1 - NO ÂMBITO DO PROJETO GEOMÉTRICO – EM PLANTA

Os elementos desta seção foram obtidos de manuais do órgão executivo rodoviário da união (DNER, 1999; DNIT, 2005; DNIT,2010b).

D.1.1 - Raio de Curva Circular

O raio mínimo das curvas circulares são os apresentados na Tabela D.1

Tabela D.1– Raio mínimo das curvas circulares

Classe	0			I			II		
	P	O	M	P	O	M	P	O	M
Raio Mínimo (m)	540	345	210	345	210	115 ⁽¹⁾	375	170	80
Superelevação máxima (%)	10	10	10	10	10	10 ⁽²⁾	8	8	8
Classe	III			IV A			IV B		
	P	O	M	P	O	M	P	O	M
Raio Mínimo (m)	230	125	50	125	50	25	125	50	25
Superelevação máxima (%)	8	8	8	8	8	8	8	8	8

(1) Somente para a Classe IA; para Classe IB, considerar 125m.

(2) Somente para a Classe IA; para a Classe IB, considerar 8%.

Fonte: Adaptada de DNER (1999)

D.1.2 - Raios de curvas sucessivas

A análise dos raios de projeto de curvas sucessivas deve ser feita mediante a utilização da Figura D.1.

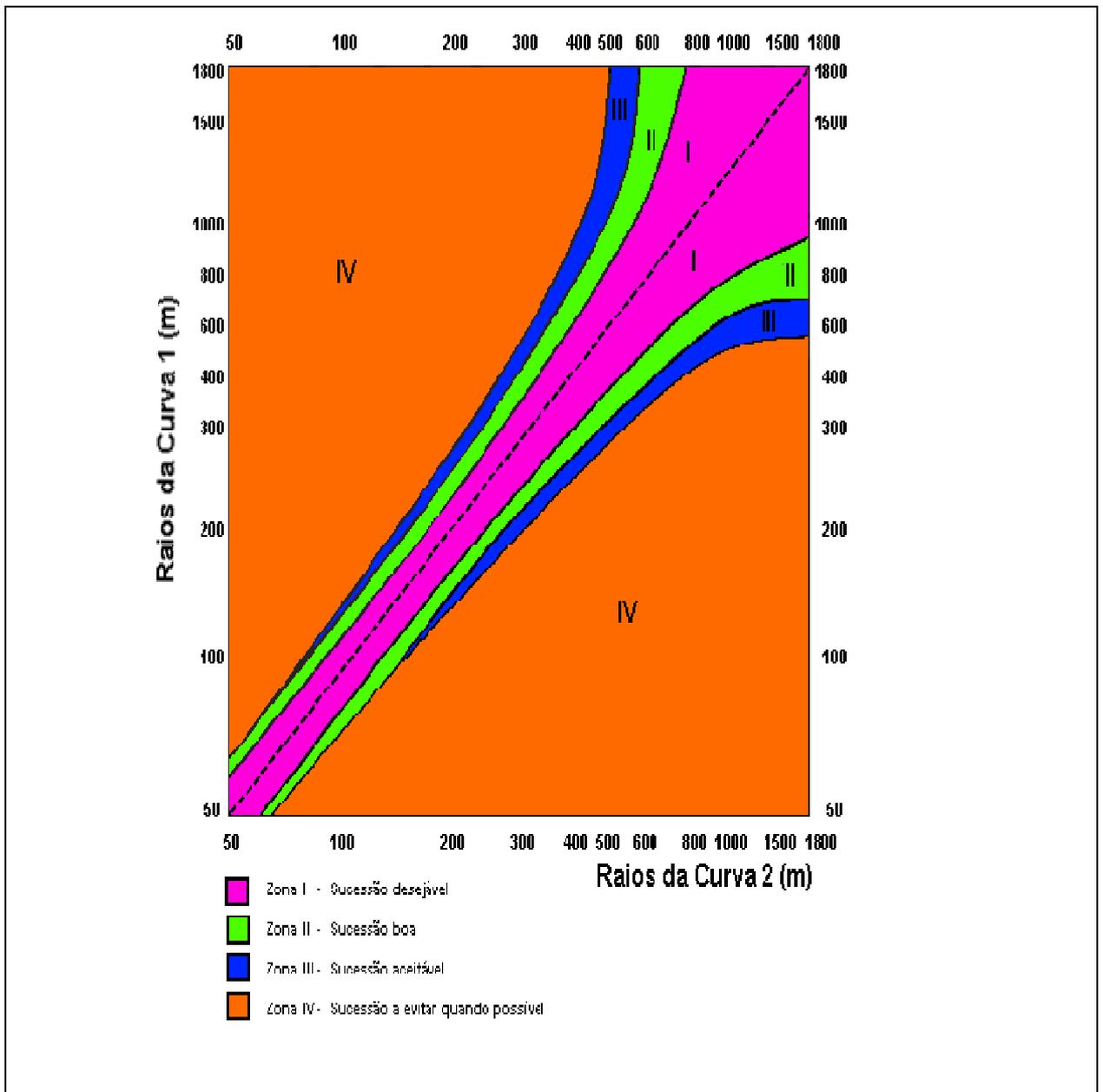


Figura D.1- Critérios para definição dos raios de curvas sucessivas

Fonte: DNER (1999)

D.1.3 - Comprimento das Curvas Circulares

Em termos do desenvolvimento (D) das curvas circulares, a Norma do DNER (1999) recomenda:

- no caso de ângulos centrais (AC) iguais ou inferiores a 5°: $D \geq 30 (10-AC)$, sendo D em metros e AC em graus;
- para $AC < 0^\circ 15'$ – não é necessária a utilização de curvas circulares. No entanto, DNER (1999) recomenda não utilizar curvas com ângulos centrais muito pequenos.
- por razões de aparência geral, em curvas circulares dotadas de curvas de transição: $D \geq 0,5V$, sendo D em metros e V(velocidade diretriz) em Km/h.

D.1.4 - Comprimento da Curva de Transição

Curva de transição é dispensável quando o raio é superior aos valores da Tabela D.2.

Tabela D.2– Raios de curva que dispensam a transição

Velocidade (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Raio (m)	170	300	500	700	950	1200	1550	1900	2300	2800

Fonte: DNER (1999)

Para a determinação do comprimento de transição (L_c), DNER (1999) estabelece critérios mínimos, máximos e complementares para determinar os limites mínimos e máximos. Todos esses critérios citados devem ser atendidos para determinar o comprimento mínimo de transição. A seguir cada critério e as expressões de $L_{c_{min}}$ e $L_{c_{max}}$.

a) Pelo critério da taxa máxima de aceleração centrífuga (critério do conforto), $L_{c_{min}}$ é expresso pela Equação D.1 e a taxa de variação da aceleração centrífuga (C), que mede o grau de desconforto sentido pelo motorista no percurso da curva de transição, pela Equação D.2.

$$L_{c_{min}} = 0,0214 V^3 / (R.C) \quad (\text{Equação D.1})$$

$$C = -0,009V + 1,5 \quad (\text{Equação D.2})$$

Onde:

$L_{c_{min}}$ = comprimento mínimo de transição (m)

V = Velocidade de projeto (Km/h)

C = taxa de variação da aceleração centrífuga (m/s^3)

e = superelevação da curva circular (m/m)

R = raio da curva circular (m)

b) Pelo critério do comprimento mínimo absoluto, o comprimento de transição é aquele percorrido pelo veículo utilizando a velocidade de projeto num tempo de dois segundos.

Assim, o $L_{c_{min}}$ é expresso pela Equação D.3.

$$L_{c_{min}} = 0,56 \times V \quad (\text{Equação D.3})$$

Segundo DNER (1999), o comprimento mínimo de transição admissível é de 30m, assim $L_{c_{min}} \geq 30m$.

c) Pelo critério da fluência ótica, $L_{c_{min}}$ é calculado pela Equação D.4 e aplicável nos casos de curvas com raios grandes, na ordem de 800 e 1000m.

$$L_{c_{min}} > R/9 \quad (\text{Equação D.4})$$

d) Pelo critério da máxima rampa de superelevação admissível, o DNER (1999) determina que, pistas com duas faixas e eixo de rotação no centro, as rampas máximas de superelevação admissíveis são as apresentadas na Tabela D.3. No entanto, quando a distância entre o bordo da pista e o eixo de rotação for superior à largura de uma faixa (LF), as rampas máximas de superelevação admissíveis são majoradas, conforme Equação D.5.

Tabela D.3 – Rampas de Superelevação admissíveis

V (km/h)	40	50	60	70	80	90	≥ 100
$r_{m\acute{a}x}$ (%)	0,73	0,65	0,59	0,54	0,50	0,47	0,43

Fonte: DNER (1999)

$$L_{C_{\min}} = \frac{(d + L_F)}{2 r_{\max}} e_R \quad \text{Equação D.5}$$

Onde:

d – distância do eixo de rotação ao bordo mais afastado da pista de rolamento (m);

L_F – largura de uma faixa de rolamento (m);

e_R – taxa de superelevação na curva circular;

r_{\max} – rampa de superelevação admissível para o caso básico (%)

e) Pelo critério do máximo ângulo central da clotóide ($L_{C_{\max}}$) o comprimento máximo da clotóide deve ser igual ao valor do raio da curva circular, conforme Equação D.6.

$$L_{C_{\max}} = R \quad \text{(Equação D.6)}$$

Onde:

$L_{C_{\max}}$ – comprimento máximo de transição (m);

R – raio da curva circular (m)

f) Pelo critério denominado de tempo de percurso, o comprimento máximo é calculado por meio da distância percorrida por um veículo na velocidade de projeto num tempo igual a oito segundos. No entanto, DNER (1999) sugere que para rodovias de alto padrão este critério pode ser desconsiderado. A Equação D.7 apresenta o cálculo do comprimento máximo da superelevação.

$$L_{C_{\max}} = 2,2 \times V \quad \text{(Equação D.7)}$$

Onde:

$L_{C_{\max}}$ - comprimento máximo de transição (m);

V - Velocidade de projeto (Km/h)

D.1.5 - Superlevação

A superelevação é calculada pela expressão

$$e = e_{m\acute{a}x} \times \left(\frac{2R_{min}}{R} - \frac{R_{min}^2}{R^2} \right) \quad (\text{Equa\c{c}\~{a}o D.8})$$

Onde:

e – taxa de supereleva\c{c}\~{a}o a adotar (m/m);

$e_{m\acute{a}x}$ – taxa m\acute{a}xima de supereleva\c{c}\~{a}o adotada (m/m)

R – raio da curva (m);

R_{min} – raio m\acute{i}nimo para a taxa m\acute{a}xima de supereleva\c{c}\~{a}o adotada para a velocidade diretriz em quest\~{a}o (m), conforme Tabela D.2.

A Tabela D.4 apresenta os valores dos raios (R) acima dos quais a supereleva\c{c}\~{a}o \c{e} dispens\acute{a}vel.

Tabela D.4- Raios que dispensam a supereleva\c{c}\~{a}o

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	≥100
Raio (m)	450	800	1250	1800	2450	3200	4050	5000

Fonte: DNER (1999)

Ent\~{a}o, para raios (R) menores dos que os indicados na Tabela acima, \c{e} necess\acute{a}rio a utiliza\c{c}\~{a}o da supereleva\c{c}\~{a}o nos trechos em curva. O valor m\acute{i}nimo de superleva\c{c}\~{a}o admiss\acute{i}vel, conforme DNER (1999), \c{e} de 2%, e o valor m\acute{a}ximo admiss\acute{i}vel para projetos de rodovias \c{e} de 12%. Desta forma, a Tabela D.5 apresenta os valores m\acute{a}ximos da supereleva\c{c}\~{a}o admiss\acute{i}veis com os correspondentes tipos de situa\c{c}\~{a}o em que se aplicam.

Tabela D.5– Valores m\acute{a}ximos da supereleva\c{c}\~{a}o admiss\acute{i}veis

Superleva\c{c}\~{a}o m\acute{a}xima ($e_{m\acute{a}x}$)	Tipos de situa\c{c}\~{a}o aplic\acute{a}vel
12%	Casos de melhorias e corre\c{c}\~{a}o de situa\c{c}\~{a}o perigosas existentes (taxa m\acute{a}xima pr\acute{a}tica admiss\acute{i}vel)
10%	Rodovias Classe 0 (em geral) e Classe I (regi\~{o}es planas e onduladas)
8%	Classe I (regi\~{a}o montanhosa) e demais classes
6%	Projetos em \c{a}reas urbanas com frequentes interse\c{c}\~{a}oes
4%	Projetos em \c{a}reas com intensa ocupa\c{c}\~{a}o do solo e com poucas condi\c{c}\~{a}oes para variar as inclina\c{c}\~{a}oes transversais da pista

Fonte: DNER (1999)

D.1.6 - Superlargura

Valores de G_L (gabarito lateral do veículo em movimento) tabelados em função da largura da pista de rolamento em tangente (L_B), conforme apresentado na Tabela D.6.

Tabela D.6– Valores de G_L e L_B (metros)

L_B	6,00/6,40	6,60/6,80	7,00/7,20
G_L	0,60	0,75	0,90

Fonte: DNER (1999)

Os valores a serem adotados para a superlargura para pistas com duas faixas de tráfego são os apresentados na Tabela D.7, que variam em função da velocidade diretriz e do raio da curva. E para pista com duas ou mais faixas de tráfego tem-se os valores da Tabela D.8, conforme disposto no Manual de Implantação Básica de Rodovia (DNIT, 2010).

Tabela D.7 – Valores para a superlargura para pistas com duas faixas de tráfego

Velocidade de 30 km/h														
R (m)	30	40	50	60	70	80	100	150	200	300	500			
Δ	1,8	1,4	1,2	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30			
Velocidade de 40 km/h														
R (m)	30	40	50	60	70	80	100	150	200	300	500			
Δ			1,80	1,40	1,20	1,00	0,90	0,70	0,50	0,40	0,30			
Velocidade de 60 km/h														
R (m)	30	40	50	60	70	80	110	150	200	300	500	800		
Δ							1,00	0,80	0,7	0,50	0,40	0,30		
Velocidade de 80 km/h														
R (m)	30	40	50	60	70	80	110	150	200	300	400	600	1000	
Δ									0,80	0,60	0,50	0,40	0,30	
Velocidade de 100 km/h														
R (m)	30	40	50	60	70	80	110	150	200	340	400	600	1000	1300
Δ										0,70	0,60	0,50	0,40	0,30

Fonte: Adaptada de DNIT (2010b)

Os valores da superlargura, também, podem ser adotados aqueles dispostos nas tabelas apresentadas nas págs. 77 a 81 do Manual de Projeto Geométrico (DNER, 1999), de acordo com as larguras de pista de 6,60m e 7,20m e considerando os veículos de projeto CO e SR.

Tabela D.8– Valores para a superlargura para pistas com três e quatro faixas de tráfego

2 faixas	3,00	2,80	2,60	2,40	2,20	2,00	1,80	1,60	1,40	1,20	1,00	0,80	0,60	0,40
3 faixas	3,80	6,30	3,20	3,00	2,80	2,60	2,20	2,00	1,80	1,60	1,20	1,00	0,80	0,60
4 faixas	4,60	4,20	4,00	3,60	3,40	3,00	2,80	2,40	2,20	1,80	1,60	1,20	1,00	0,60

Fonte: DNER (1999)

D.1.7 - Distância de Visibilidade de Parada

As distâncias de visibilidade de parada mínimas (D_{min}) e desejáveis ($D_{desejável}$) são apresentadas, respectivamente, na Tabela D.9 e D.10.

Tabela D.9 - Distâncias de Visibilidade de parada mínimas (m)

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Velocidade média (km/h)	30	38	46	54	62	70	78	86	92	98
Coef. de atrito f	0,40	0,39	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,30	0,30	0,29
6%	30	40	55	65	85	100	120	140	160	180
5%	30	40	55	70	85	105	125	140	160	180
4%	30	40	55	70	85	105	125	145	165	185
3%	30	40	55	70	85	105	130	145	165	190
2%	30	40	55	70	90	110	130	150	170	195
1%	30	40	55	70	90	110	130	155	175	200
0%	30	45	60	75	90	110	130	155	180	205
-1%	30	45	60	75	95	115	140	160	180	205
-2%	30	45	60	75	95	115	140	165	185	215
-3%	30	45	60	75	95	120	145	165	190	220
-4%	30	45	60	75	100	120	150	170	195	225
-5%	30	45	60	80	100	125	150	175	200	230
-6%	30	45	60	80	105	125	155	180	210	240

Fonte: DNER (1999)

Tabela D.10 – Distâncias de Visibilidade de parada desejáveis (m)

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Coef. de atrito f	0,40	0,38	0,35	0,33	0,31	0,30	0,30	0,29	0,28	0,27
6%	30	45	60	80	100	125	155	185	225	265
5%	30	45	60	80	100	130	155	190	230	270
4%	30	45	60	80	105	130	160	195	235	280
3%	30	45	60	80	105	130	160	200	240	285
2%	30	45	60	80	105	135	165	200	245	295
1%	30	44	60	85	110	135	170	205	250	300
0%	30	45	65	85	110	140	175	210	255	310
-1%	30	45	65	85	115	145	175	215	265	320
-2%	30	45	65	90	115	145	180	220	270	330
-3%	30	45	65	90	120	150	185	225	280	340
-4%	35	45	65	90	120	155	190	235	290	355
-5%	35	50	70	90	125	155	195	240	300	365
-6%	35	50	70	95	125	160	200	250	310	380

Fonte: DNER (1999)

D.1.8 - Distância de Visibilidade de Ultrapassagem

Tabela D.11 – Distâncias de visibilidade de ultrapassagem

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
D_{VD} (m)	180	270	350	420	490	560	620	680	730	800

Fonte: DNER (1999)

D.2 - NO ÂMBITO DO PROJETO GEOMÉTRICO – EM PERFIL

D.2.1 - Inclinação das Tangentes Verticais (i)

DNER (1999) define os valores máximos para as rampas de diferentes classes e relevo da rodovia. Esses valores são apresentados na Tabela D.12.

Tabela D.12 – Valores máximos para rampas

Classe do projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3%	4%	5%
Classe I	3%	4,5%	6%
Classe II	3%	5%	7%
Classe III	4%	6%	8%
Classe IV-A	4%	6%	10%
Classe IV-B	6%	8%	

Fonte: DNER (1999)

D.2.2 - Comprimento da Curvas Vertical Côncava e Convexa

O comprimento das curvas verticais é determinado pela Equação D.9.

$$L = K \times |A| \quad (\text{Equação D.9})$$

Onde:

L – comprimento da curva (m);

K – parâmetro da parábola (m/%);

|A| – módulo da diferença algébrica entre as declividades dos greides que se cruzam no ponto de interseção vertical

Os Critérios para o cálculo das curvas estão apresentados na Tabela D.13.

Tabela D.13 – Critérios para cálculo das curvas

Critérios	Fórmula	
Critério do mínimo valor absoluto	$L_{\min} = 0,6 \times V \quad L_{\min} \geq 20\text{m}$ Onde: L_{\min} – comprimento mínimo da curva vertical (m); V – velocidade de projeto (Km/h).	
Critério da máxima aceleração centrífuga admissível	$K_{\min} = \frac{v^2}{1296 \times a_{\max}}$ K_{\min} – parâmetro de curvatura para os valores de a_{\max} (m/%); a_{\max} – pela norma do DNER (1999) tem-se: para rodovias de elevado padrão, $a_{\max} = 1,5\%$ da aceleração da gravidade; e para rodovias de padrão reduzido, $a_{\max} = 5,0\%$ da aceleração da gravidade.	
Critério da distância de visibilidade necessária		
Curvas	$L \geq D$	$L < D$
Convexas	$L_{\min} = \frac{ A \cdot D^2}{412}$ L_{\min} – comprimento da concordância vertical (m); A – diferença algébrica dos greides (%); D – distância de visibilidade de parada (m);	$L_{\min} = 2 \cdot D - \frac{412}{ A }$
Côncavas	$L_{\min} = \frac{AD^2}{122 + 3,5 D}$	$L_{\min} = 2D - \frac{122 + 3,5 D}{A}$

Fonte: DNER (1999)

Na Tabela D.14 são apresentados os valores tabelados pelo DNER (1999), utilizando o critério da máxima aceleração centrífuga.

Tabela D.14 - Valores de K_{\min} – critério da máxima aceleração centrífuga

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$a = 1,5 \% g$	4,72	8,39	13,11	18,88	25,69	33,56	42,47	52,44	63,45	75,51
$a = 5,0\% g$	1,42	2,52	3,93	5,66	7,71	10,07	12,74	15,73	19,03	22,65

Fonte: DNER (1999)

Em função das velocidades diretrizes e das distâncias de visibilidade de parada mínima e desejáveis (K_{\min} e $K_{\text{desejáveis}}$) e observando que $L \geq D$, a Tabela D.15 apresenta os comprimentos das curvas vertical côncava e convexa (K).

Tabela D.15 – Valores de K

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Curvas verticais convexas										
K - mínimo	2	5	9	14	20	29	41	58	79	102
K - desejável	2	5	10	18	29	48	74	107	164	233
Curvas verticais côncavas										
K - mínimo	4	7	11	15	19	24	29	36	43	50
K - desejável	4	7	12	17	24	32	42	52	66	80

Fonte: DNER (1999)

D.3 - NO ÂMBITO DO PROJETO GEOMÉTRICO – TERCEIRA FAIXA

D.3.1 - Implantação da Terceira Faixa em Trecho em Active

Tabela D.16 – Comprimento do *taper* nas terceiras faixas

Velocidade diretriz da rodovia (km/h)	60	80	100	120
Comprimento desejado (m)	55	70	85	100
Comprimento mínimo (m)	45	55	65	75

Fonte: DNER (1999)

DNER (1979) define os valores do início das terceiras faixas e os respectivos comprimentos mínimos de acordo com o greide da rampa, conforme apresentado na Tabela D.17.

Tabela D.17 – Determinação do início da 3ª faixa e comprimentos mínimos

Greide (%)	a (m)	b (m)
	Distância entre o início da rampa e o início da 3ª faixa	Comprimento mínimo a ser considerado para a 3ª faixa
3,00	830	670
3,5	650	550
4,0	530	450
4,50	440	360
5,0	380	300
5,5	330	260
6,0	290	230
6,5	260	200

Obs: a = comprimento crítico da rampa para uma velocidade de entrada e de 80km/h

Fonte: DNER (1979)

Para determinação do final da 3ª faixa para diferentes greides, DNER (1979) define os seguintes valores conforme apresentados na Tabela D.18.

Tabela D.18 – Determinação do final da 3ª faixa para diferentes greides

Greide (%)	Velocidade de sustentação dos caminhões (km/h)	Distância (m) à partir do topo da curva vertical até o final da 3ª faixa (excluindo taper), quando a rampa seguinte for:								
		-6%	-5%	-4%	-3%	-2%	-1%	0%	+1%	+2%
3,0	33	50	50	50	55	60	75	100	190	420
3,5	29	50	50	55	65	80	100	145	260	530
4,0	26	50	55	65	75	95	125	180	300	610
4,5	23	55	60	70	85	105	140	205	330	660
5,0	21	55	65	75	90	115	155	220	350	710
5,5	19	60	65	80	95	120	165	245	360	730
6,0	18	60	70	85	100	130	170	250	365	740
6,5	17	60	70	90	110	140	175	250	370	750

Obs: as distâncias foram calculadas de modo a permitir que os caminhões acelerados atinjam 40km/h; o taper recomendado para o final da 3ª faixa é de 60m.

Fonte: DNER (1979)

Nas rampas os níveis de serviço devem ser E ou F, e esses níveis correspondem a (DNER, 1999):

Nível E – Também conhecido como o nível de capacidade da rodovia. Nesse nível a rodovia trabalha em plena carga, o fluxo de veículos apresenta velocidades médias entre 56km/h a 72km/h e há formação de pelotões (75% do tempo de viagem) o que dificulta a realização de ultrapassagens.

Nível F – Rodovias com colapso do fluxo de veículos, ou seja, rodovias que em situações extremas a velocidade pode reduzir a zero. Há formação de pelotões em quase 100% do tempo de viagem.

D.3.2 - Implantação da Terceira Faixa em Trecho em Declive

Lucas (2004) recomenda que para a implantação de terceiras faixas em declives longos devem ser observados três aspectos:

- a) A curva de desempenho de caminhões em declive – sugere-se utilizar a ferramenta computacional desenvolvida por Lucas (2004), visando verificar o tamanho crítico da rampa e a velocidade com a qual o veículo conseguirá percorre-lá;
- b) A redução máxima admissível de velocidade para caminhões carregados comparando-se com a velocidade de veículos leves – utilizar critérios técnicos/políticos para verificar qual a diferença de velocidade entre os veículos de carga e os leves e a porcentagem aceitável de veículos pesados no trecho. Acima dessa porcentagem o fluxo de veículos fica prejudicado, sendo recomendada a implantação da terceira faixa;
- c) Os volumes mínimos de tráfego – contagem dos veículos na hora de pico (VHP), observando a quantidade de veículos de carga e de passeio.

Exemplo dos resultados computacionais encontrados por Lucas (2004):

- a) Utilizando veículos com mais de dez anos de uso (anterior a 1995) - verificou-se que esses veículos estão dimensionados para operar em trechos de pequena declividade e comprimentos de rampa não muito longos. Na Tabela D.19 é apresentado o resultado da

pesquisa, utilizando um veículo similar ao MB 1313 toco e potência de frenagem de 20 cv. Observa-se que à medida que o comprimento de rampa e a declividade aumentam, menor é a velocidade operacional desempenhada pelo veículo. Verificou-se ainda que esses veículos sejam capazes tecnicamente de proceder à descida não comprometendo as condições de segurança quanto à frenagem. No entanto, há possibilidade da ocorrência de acidentes por colisões e abalroamentos, entre os veículos lentos e os demais veículos de passeio.

b) Utilizando veículos que atendem a Resolução nº 777/93 – verificou-se que esses veículos não oferecem obstáculos ou limitações de velocidade para rampas com declividade de até 5% e de comprimentos muito longos. Lucas (2004), contudo adverte que ao projetar rampas com declividades acima de 6% e comprimentos acima 5.000m, os projetista devem se preocupar com o impacto dos veículos pesados no fluxo total de veículo. Na Tabela D.20 é apresentado o resultado dos estudos, considerando um veículo do tipo MB 1313 toco e potência de frenagem de 106,7 cv.

Tabela D.19- Velocidades permitidas (km/h) – veículo similar ao MB 1313 toco - 20 cv

i(%)	Comprimento de rampa (L (m))											
	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000
1%	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV
2%	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV
3%	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	31	27	25	24
4%	QV	QV	QV	30	21	17	16	15	14	14	13	13
5%	QV	QV	19	14	12	11	10	9	9	9	9	9
6%	QV	23	12	9	9	8	8	7	7	7	7	7
7%	QV	13	8	7	7	6	6	6	6	6	6	6
8%	QV	9	7	6	5	5	5	5	5	5	5	5
9%	QV	7	5	5	4	NCD	NCD	NCD	NCD	NCD	NCD	NCD
10%	16	6	4	4	NCD	NCD	NCD	NCD	NCD	NCD	NCD	NCD
11%	11	5	4	4	NCD	NCD	NCD	NCD	NCD	NCD	NCD	NCD
12%	8	4	NCD	NCD	NCD							

Legenda: QV = Qualquer velocidade escolhida pelo motorista - NCD = Não consegue descer

Fonte: Lucas (2004)

Tabela D.20 - Velocidades permitidas (km/h) - veículo do tipo MB 1313 toco – 106,7cv

i(%)	Comprimento de rampa (L (m))											
	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000
1%	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV
2%	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV
3%	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV
4%	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV
5%	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV	QV
6%	QV	QV	QV	QV	QV	60	54	50	49	47	46	45
7%	QV	QV	QV	48	43	40	38	37	36	35	35	34
8%	QV	QV	42	36	33	31	30	30	29	29	28	28
9%	QV	44	33	29	27	26	25	25	25	24	24	24
10%	QV	34	27	25	23	23	22	22	21	21	21	21
11%	QV	28	23	21	21	20	19	19	19	19	19	19
12%	55	24	20	19	18	18	17	17	17	17	17	17

Legenda: QV = Qualquer velocidade escolhida pelo motorista

Fonte: Lucas (2004)

D.3.3 - Implantação de Faixas de Ultrapassagem

São essenciais em rodovias rurais de pista simples onde trechos com distâncias de visibilidade de ultrapassagem distam entre si mais de 3km. O comprimento de faixa considerado bom está em torno de 0,8km a 3,2km.

D.3.4 - Largura da 3ª Faixa

Segundo DNER (1999), a largura da terceira faixa de subida deve ser, no mínimo, de 3,00m. Para casos em que os custos de implantação da terceira faixa forem baixos e o volume de veículos comerciais na faixa de rolamento for elevado, a largura da terceira faixa deve ser de 3,20m. No caso de rodovias de alto padrão e em pista dupla, a largura da terceira faixa poderá ser de 3,50m.

D.3.5 - Largura do Acostamento na 3ª Faixa

Para DNER (1999), um acostamento na 3ª faixa de 1,20m a 1,80m é suficiente.

D.4 - NO ÂMBITO DO PROJETO GEOMÉTRICO – SEÇÃO TRANSVERSAL

D.4.1 - Largura das Faixas de Trânsito

Tabela D.21 – Larguras da faixa de trânsito (metros)

Classe do Projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3,60	3,60	3,60
Classe I	3,60	3,60	3,50
Classe II	3,60	3,50	3,30*
Classe III	3,50	3,30*	3,30
Classe IV-A**	3,00	3,00	3,00
Classe IV-B**	2,50	2,50	2,50

* preferencialmente 3,50m, quando esperada alta percentagem de veículos comerciais

**os valores referente à Classe IV são baseados na publicação “Manual de Rodovias Vicinais” – BIRD/BNDE/DNER – 1976

Fonte: DNER (1999)

D.4.2 - Largura dos Acostamentos

Tabela D.22 – Larguras dos acostamentos externos (metros)

Classe do Projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3,50	3,00*	3,00*
Classe I	3,00*	2,50	2,50
Classe II	2,50	2,50	2,00
Classe III	2,50	2,00	1,50
Classe IV-A**	1,30	1,30	0,80
Classe IV-B**	1,00	1,30	0,50

* preferencialmente 3,50m onde for previsto um volume horário unidirecional de caminhões superior a 250 veículos;

**valores baseados na publicação “Manual de Rodovias Vicinais” – BIRD/BNDE/DNER - 1976

Fonte: DNER (1999)

Tabela D.23 – Larguras dos acostamentos internos (metros)

Número de faixas de rolamento da pista	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
2	1,20 – 0,60	1,00 – 0,60	0,60 – 0,50
3	3,00 – 2,50	2,50 – 2,00	2,50 – 2,00
≥ 4	3,00	3,00 – 2,50	3,00 – 2,50

Fonte: DNER (1999)

D.4.3 - Declividade Transversal da Pista e do Acostamento

Tabela D.24 – Declividade transversal da pista e do acostamento nos trechos em tangente e em curva

Trecho em Tangente	
Pista	Declividade (%)
Pavimento betuminoso	2
Pavimento de concreto cimento	1,5
Mais porosa ou com previsão de recalques diferenciais da plataforma	$2,5 \leq e \leq 3$
Com caimento simples e mais de 2 faixas	≥ 2
Acostamento	5
Trecho em curva	
Acostamento	2

Fonte: DNER (1999)

D.4.4 - Largura dos Canteiros Centrais

Tabela D.25 – Largura do Canteiro Central

Classe da Rodovia	Largura do Canteiro Central
Classe 0	
Seção transversal restrita*	3 a 7 metros
Valor normal	6 a 7 metros
Desejável***	10 a 18 metros
Classe I	
Seção transversal restrita*	3 a 7 metros
Valor necessário nas áreas de retornos e interseções em nível **	≥ 6 metros
Desejável***	10 a 12 metros

* conforme largura das faixas de segurança e conversão ou acostamentos internos.

** conforme o veículo de projeto adotado para o local.

*** observar ainda se há necessidade de prever o futuro acréscimo de uma faixa de rolamento ou o aproveitamento do canteiro por outros meios de transportes.

Fonte: DNER (1999)

D.5 - NO ÂMBITO DO PROJETO DE INTERSEÇÕES

D.5.1 - Velocidade de Projeto nas Rotatórias

Tabela D.26 – Velocidade de projeto nas rotatórias

Velocidade de projeto da rodovia (km/h)	Velocidade média de operação da rodovia (km/h)	Velocidade de projeto da pista rotatória (km/h)	
		Mínima	Desejável
50	45	30	50
65	55	50	55
≥80	65 a 80	55	65

Fonte: DNIT (2005)

D.5.2 - Comprimento dos trechos de entrecruzamento das rotatórias (L)

Tabela D.27 – Comprimento mínimo dos trechos de entrecruzamento das rotatórias (L)

Velocidade de projeto da pista rotatória (km/h)	Comprimento mínimo do trecho de entrecruzamento (m)
30	35
40	45
50	55
60	65
65	75

Fonte: DNIT (2005)

D.5.3 - Distância de Visibilidade em Interseções

Tabela D.28 – Tipos de Controles de Tráfego nas Interseções

Caso	Descrição
A	Interseções sem controle.
B	Interseções controladas pela sinalização “Parada Obrigatória” na rodovia secundária.
B1.	Giro à esquerda a partir da rodovia secundária.
B2.	Giro à direita a partir da rodovia secundária.
B3.	Travessia a partir da rodovia secundária.
B4.	Quando há canteiro central na rodovia principal.
C	Interseções controladas pela sinalização “Dê a Preferência” na rodovia secundária.
C1.	Travessia a partir da rodovia secundária.
C2	Giro à esquerda ou à direita a partir da rodovia secundária.
D	Interseções controladas pela sinalização “Parada Obrigatória” em todas as correntes de tráfego.
E	Giros à esquerda a partir da rodovia principal.

Fonte: DNIT (2005)

DNIT (2005) apresenta os valores da distância de visibilidade livre ao longo da rodovia principal, indicada por “b”, cabendo destacar as distâncias para os casos B1, C2 e E, conforme Tabelas D.29, D.30 e D.31.

Tabela D.29 – Distância de visibilidade ao longo da rodovia principal em interseções controladas pela sinalização “Parada Obrigatória” na rodovia secundária – Caso B1

	Distâncias de visibilidade necessárias para um veículo parado girar à esquerda em uma rodovia de duas faixas e dois sentidos de tráfego, com
[Conteúdo da tabela oculto]	

LEGENDA:

VP – Veículos Leves;

CO – Veículos comerciais rígidos, não articulados, abrangendo caminhões e ônibus convencionais;

O – Veículos comerciais rígidos de maiores dimensões, abrangendo caminhões e ônibus longos;

SR – Veículos comerciais articulados;

RE – Veículos comerciais com reboque.

Fonte: DNIT (2005)

Tabela D.30 – Distância de visibilidade ao longo da rodovia principal em interseções controladas pela sinalização “Dê a Preferência” na rodovia secundária – Caso C2

Veículo de projeto	Distâncias de visibilidade ao longo da rodovia principal para um veículo girar à esquerda ou à direita a partir da rodovia secundária (m)										
	Velocidade diretriz da rodovia principal (km/h)										
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
VP	45	65	90	110	135	155	180	200	220	245	265
CO/O	55	85	110	140	165	195	220	250	280	305	335
SR/RE	65	100	135	165	200	235	265	300	335	365	400

Obs: Valores para rodovia principal, com duas faixas e dois sentidos, sem canteiro central

Fonte: DNIT (2005)

Tabela D.31 – Distância de visibilidade ao longo da rodovia principal em interseções controladas pela sinalização “Parada Obrigatória” - Caso E

Veículo de projeto	Distâncias de visibilidade necessárias para os veículos que giram à esquerda da rodovia principal (m)										
	Velocidade diretriz da rodovia principal (km/h)										
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
VP	30	45	60	75	90	105	120	140	155	170	185
CO/O	35	55	70	90	110	125	145	165	180	200	215
SR/RE	40	65	85	105	125	145	165	190	210	230	250

Obs: Valores para rodovia principal, com duas faixas e dois sentidos, sem canteiro central

Fonte: DNIT (2005)

D.5.4 - Distância de Visibilidade de Parada

Essas distâncias são as apresentadas nas Tabelas D.9 e D.10.

D.5.5 - Raios para Bordos de Pista de Conversão

Tabela D.32- Raios mínimos para bordos de pista de conversão (m)

Ângulo de	Veículo de	Curva circular	Curva composta de três centros		Curva circular simples com taper	

Obs: *Taper's* são faixas de mudanças de velocidade, caracterizadas por possuir largura variável.

Fonte: DNIT (2005)

D.5.6 - Condições para Pistas de Conversão

Tabela D.33 – Condições mínimas de projeto para pistas de conversão

Ângulo de conversão	Classificação de projeto	Curva composta de três centros		Largura da pista (m)	Área aprox. da ilha (m ²)
		Raio (m)	Deslocam. (m)		

Fonte: DNIT (2005)

D.5.7 - Raios das Curvas em Interseções.

Tabela D.34 - Raios mínimos para curvas em interseções

Velocidade de projeto (km/h)	25	30	40	50	60	70
Coefficiente de atrito transversal – f	0,32	0,28	0,23	0,19	0,17	0,15
Superelevação (%)	0	2	4	6	8	9
Raio mínimo calculado (m)	15	24	47	79	113	161
Raio mínimo arredondado (m)	15	25	50	80	115	160

Obs: a) os raios acima são adotados de preferência no bordo interno da pista; b) para velocidades superiores a 70 km/h devem ser usados os valores correspondentes às vias em geral; iii) para fluxo contínuo os raios de curva deverão ser maiores que 30m.

Fonte: DNIT (2005)

D.5.8 - Comprimento de Curvas Espirais

Tabela D.35 – Comprimento mínimo das espirais nas curvas de conversão

Velocidade de projeto da curva de conversão (km/h)	30	40	50	60	70
Raio mínimo (m)	25	50	80	115	160
Comprimento mínimo da espiral (m)	20	25	35	45	60

Fonte: DNIT (2005)

D.5.9 - Comprimento de Curvas Compostas

Tabela D.36 - Comprimento mínimo dos arcos circulares para curvas compostas

Raio da Curva Central (m)		30	50	60	75	100	125	>150
Comprimento do primeiro arco (m)	Mínimo	12	15	20	25	30	35	45
	Desejável	20	20	30	35	45	55	60

Fonte: DNIT (2005)

D.5.10 - Largura das Pistas de Conversão

Tabela D.37 – Largura das pistas de conversão (m)

	Caso I	Caso II Uma faixa de trânsito	Caso III

Fonte: DNIT (2005)

D.5.11 - Largura do Acostamento em Interseções

Tabela D.38 – Largura do acostamento ou espaço lateral equivalente

Condição do ramo	Projeto	Largura do acostamento ou espaço livre equivalente (m)	
		À esquerda	À direita
Trechos curtos, geralmente dentro de interseção canalizada	Mínimo	0,60	0,60
	Desejável	1,20	1,20
Trechos médios a longos, em corte ou em aterro	Mínimo	1,20	1,80
	Desejável	3,00	3,60

Obs: *quando tiver barreira rígida lateral, a largura do acostamento deve ser acrescida de 0,60m; quando os volumes de tráfego forem altos, os acostamentos à direita devem ser pavimentados ou estabilizados em uma largura pelo menos de 1,20m.*

Fonte: DNIT (2005)

D.5.12 - Faixas de mudança de velocidade

As faixas de mudança de velocidade são necessárias nas interseções de rodovia com velocidade e volumes de tráfego elevados (DNIT, 2005). Essas faixas proporcionam espaço adequado para que as manobras de aceleração e desaceleração possam ser realizadas pelos motoristas. Para que as manobras possam ser realizadas com segurança as faixas devem ter largura e comprimento suficientes.

D.5.13 - Comprimento do *taper*

Tabela D.39 – Comprimento do *taper* nas faixas de mudanças de velocidade

Velocidade diretriz da rodovia (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Velocidade média (km/h)	38	46	54	62	71	79	86	92	98
Comprimento mínimo (m)	39	45	53	60	69	77	84	89	95
Comprimento arredondado (m)	40	45	55	60	70	80	85	90	100

Fonte: DNIT (2005)

D.5.14 - Comprimento das Faixas de Mudança de Velocidade

Tabela D.40 – Comprimentos das faixas de desaceleração

Velocidade	Comprimento da faixa de desaceleração, inclusive taper (m)

Obs: (i) para greides de até 2%; (ii) o comprimento mínimo da faixa de desaceleração será sempre o do taper

Fonte: DNIT (2005)

Tabela D.41 - Comprimentos das faixas de aceleração

Velocidade	Comprimento da faixa de aceleração, inclusive taper (m)

Obs: (i) para greides de até 2%; (ii) o comprimento mínimo da faixa de desaceleração será sempre o do taper.

Fonte: DNIT (2005)

Quando os greides forem maiores do que 2%, DNIT (2005) recomenda que as Tabelas D.42 e D.43 sejam corrigidas por fatores de ajustamento, conforme apresentado na Tabela D.41 a seguir.

Tabela D.42 – Fatores de ajustamento para faixas de mudança de velocidade em virtude do greide adotado.

Faixas de Desaceleração		
Velocidade diretriz da rodovia (km/h)	Fator de multiplicação	
Todas	Rampa ascendente de 3% a 4% 0,90	Rampa descendente de 3% a 4% 1,20
Todas	Rampa ascendente de 5% a 6% 0,80	Rampa descendente de 5% a 6% 1,35
Faixas de Aceleração		

Fonte: DNIT (2005)

D.5.15 - Adoção de faixas de giro à esquerda

Tabela D.43 – Adoção de faixas de giro à esquerda para rodovias de pista simples

Volume oposto (veic/h)	Volume avançando (veic/h)			
	Percentagens de giro à esquerda			
	5%	10%	20%	30%
<i>Velocidade de operação = 60 km/h</i>				

Fonte: DNIT (2005)

D.5.16 - Dimensões das faixas de giro à esquerda

Tabela D.44 - Comprimentos mínimos de desaceleração para faixas de giro à esquerda

Velocidade de projeto (km/h)	Comprimento da desaceleração (m)
50	70
60	100
70	130
80	165
90	205

Fonte: DNIT (2005)

Tabela D.45 – Comprimentos das faixas de armazenamento

Nº de veículos que giram/hora	≤60	100	200	300
Extensão da faixa (m)	15	30	50	75

Fonte: DNIT (2005)

D.5.17 - Superlevação para Curvas em Interseções

Tabela D.46 - Superlevação para curvas em interseções

Raio (m)	Velocidade de projeto da curva (km/h)					
	20	30	40	50	60	70
15	2 - 10					
25	2 - 7	2 - 10				
50	2 - 5	2 - 8	4 - 10			
70	2 - 4	2 - 6	3 - 8	6 - 10		
100	2 - 3	2 - 4	3 - 6	5 - 9	8 - 10	
150	2 - 3	2 - 3	3 - 5	4 - 7	6 - 9	9 - 10
200	2	2 - 3	2 - 4	3 - 5	5 - 7	7 - 9
300	2	2 - 3	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6
500	2	2	2	2 - 3	3 - 4	4 - 5
700	2	2	2	2	2 - 3	3 - 4
1000	2	2	2	2	2	2 - 3

Obs: (i) Utilizar valores situados no terço superior do intervalo dado; (ii) velocidades superior a 70km/h adotar valores correspondentes às vias em geral.

Fonte: DNIT (2005)

D.5.18 - Retorno em “U”

A Tabela D.47 apresenta as dimensões mínimas para retornos em “U”, utilizando faixas auxiliares com comprimento de 3,60 m.

Tabela D.47 – Dimensões mínimas para retornos em “U”

Tipo de retorno	Tipo de manobra	Largura mínima do canteiro (W) para os veículos de projeto (m)			
		VP	CO	O	SR
		Tamanho dos veículos (m)			
		5,8	9,1	12,2	16,8
A	Faixa auxiliar para faixa auxiliar junto ao canteiro central	16	26	28	29
B	Faixa auxiliar junto ao canteiro central para faixa externa	10	19	21	22
C	Faixa auxiliar junto ao canteiro central para acostamento	7	16	18	19

Fonte: DNIT (2005)

D.6 - SINALIZAÇÃO VERTICAL

D.6.1 - Placas nas Curvas Horizontais

A sinalização vertical de advertência aplicada nas curvas horizontais destaca-se as curvas isoladas (sinais A-1a, A-1b, A-2a e A-2b) e a seqüências de curvas (A-3a e A-3b, A-4a, A-4b, A-5a e A-5b).

Segundo CONTRAN (2007c), esses tipos de sinalização devem ser utilizados sempre que existir curva horizontal em rodovias em que as velocidades de aproximação acarretem manobras que comprometam a segurança dos usuários da via, conforme indicado na Tabela D.48.

Tabela D.48 – Sinalização de curvas – Fatores geométricos

Sinal	Tipo de curva	Raio da curva (R)	Ângulo central (α)	Velocidade (V)
A-1a e A-1b	Curva acentuada	$R \leq 60$	$\alpha > 30^\circ$	$V \leq 45$
		$60 < R \leq 120$	$\alpha \geq 45^\circ$	$45 \leq V \leq 60$
A-2a e A-2b	Curva	$60 \leq R < 120$	$30^\circ \leq \alpha < 45^\circ$	-
		$120 \leq R < 450$	$\alpha \leq 45^\circ$	
A-4a e A-4b	Curva acentuada "S"	$R \leq 60$	$\alpha > 30^\circ$	$V \leq 45$
		$60 < R \leq 120$	$\alpha \geq 45^\circ$	$45 \leq V \leq 60$
A-5a e A-5b	Curva em "S"	$60 \leq R < 120$	$30^\circ \leq \alpha < 45^\circ$	-
		$120 \leq R < 450$	$\alpha \leq 45^\circ$	

Obs: Os sinais A-3a e A-3b são utilizados quando existir a seqüência de 3 ou mais curvas horizontais sucessivas. Estas curvas devem estar separadas por tangentes menores que 120m.

Fonte: Adaptada de CONTRAN (2007c)

D.6.2 - Placas em Rampas Acentuadas

As rampas acentuadas em descida que justificam a implantação de sinalização vertical (A-20a) são as aquelas que se enquadram nos fatores geométricos da via, indicados na Tabela D.49.

Tabela D.49 - Declive acentuado - condições de rampa

Greide (%)	Extensão (m)
5	1000
6	600
7	300
8	230
9	150

Fonte: DER-SP (2006 *apud* DNIT, 2010c)

D.6.3 - Limites de Velocidade

Os valores para a velocidade máxima permitida em vias rurais são apresentados na Tabela D.50.

Tabela D.50 – Velocidade Máxima Permitida em vias rurais

Classificação viária – art. 60 do CTB	Indicadores físicos	Nº de faixas de trânsito por sentido	Velocidade máxima permitida	
			Autos/motos /camionetes	Caminhões/ônibus/ demais veículos
Rodovia	Pista dupla em área rural	2 ou mais	90 a 120	80 ou 90
	Pista dupla em área urbana	2 ou mais	Nota 1	Nota 1
	Pista simples com sentido de circulação único em área rural	2 ou mais	100 a 120	80 ou 90
	Pista simples com sentido de circulação único em área urbana	2 ou mais	Nota 1	Nota 1
	Pista simples com sentido de circulação duplo em área rural	1 ou mais	80 a 110	70 ou 80
	Pista simples com sentido de circulação duplo em área urbana	1 ou mais	Nota 1	80 ou 90
Estrada	Pista simples em área rural	1 ou mais	50 a 70	40 a 70
	Pista simples em área urbana	1 ou mais	Nota 1	Nota 1

Nota 1: trechos de vias rurais inseridos em área urbanas, cujas características operacionais sejam similares às de vias urbanas. Neste caso a velocidade máxima permitida deve ser a de vias urbanas – Tabela 01, pág. 46 do Manual de Sinalização Vertical de Regumentação.

Fonte: CONTRAN (2007b)

Na Tabela D.51 são apresentadas as distâncias máximas entre as placas de velocidade máxima permitida (R-19).

Tabela D.51 – Distâncias máximas entre placas de velocidade máxima permitida (R-19)

Velocidade Regulamentada	Distâncias Máximas	
	Vias Urbanas (km)	Vias Rurais (km)
Velocidade inferior ou igual a 80 km/h	1,0	10,0
Velocidade superior a 80 km/h	2,0	15,0

Fonte: CONTRAN (2007b)

D.7 - DISPOSITIVOS AUXILIARES

Os valores das distâncias entre os delineadores em trechos com mudança de alinhamento em tangente (trechos em teipêr) são apresentados na Tabela D.52 e calculados de acordo com a equação D.10.

$$d = 0,5 \times t \quad (\text{Equação D.10})$$

Onde: t – comprimento correspondente à variação de largura de 1 metro.

Tabela D.52– Distância entre delineadores – trechos em tangente

Têiper	D (metros)
7:1	3,5
10:1	5
15:1	7,5
20:1	10

Obs: em qualquer situação devem ser implantados pelos menos 3 delineadores.

Fonte: DNIT (2010c)

Para os trechos em curva, a distância entre dois delineadores consecutivos é calculada pela Equação D.11 e apresentada na Tabela D.53.

$$d = \sqrt{R} \quad (\text{Equação D.11})$$

Onde: R – raio da curva.

Tabela D.53– Distância entre delineadores - trechos em curva

Raio - R (metro)	Distância - d (metro)
50	7
80	9
100	10
120	11
150	12
180	13
200	14
250	16
300	17

Fonte: DNIT (2010c)

Exemplo da utilização dos delineadores em trechos em tangente (Figura D.2) em curva (Figura D.3).

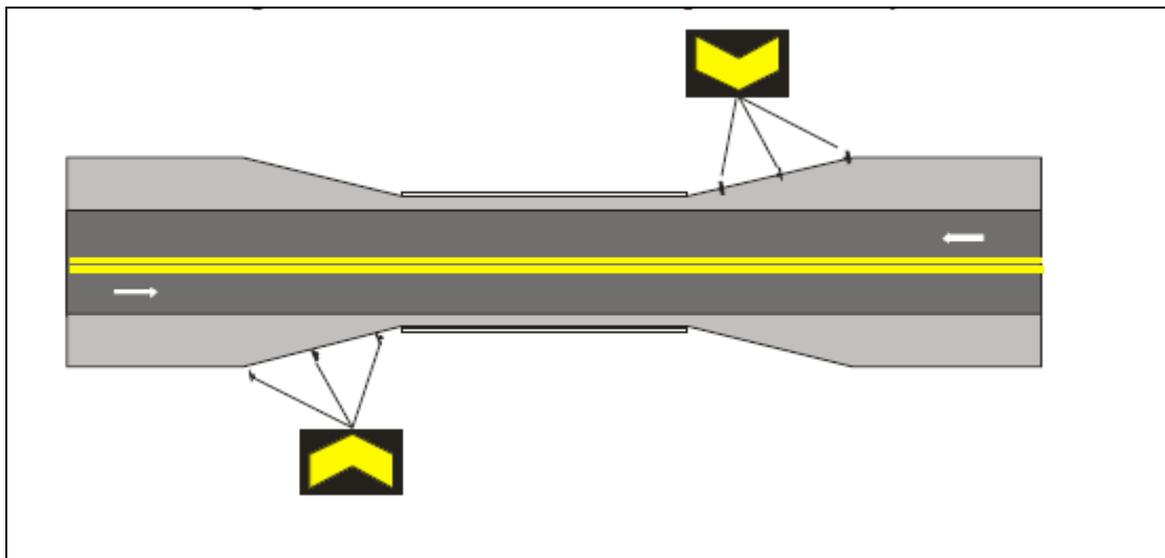


Figura D.2 – Delineadores em trechos em tangente

Fonte: DNIT (2010c)

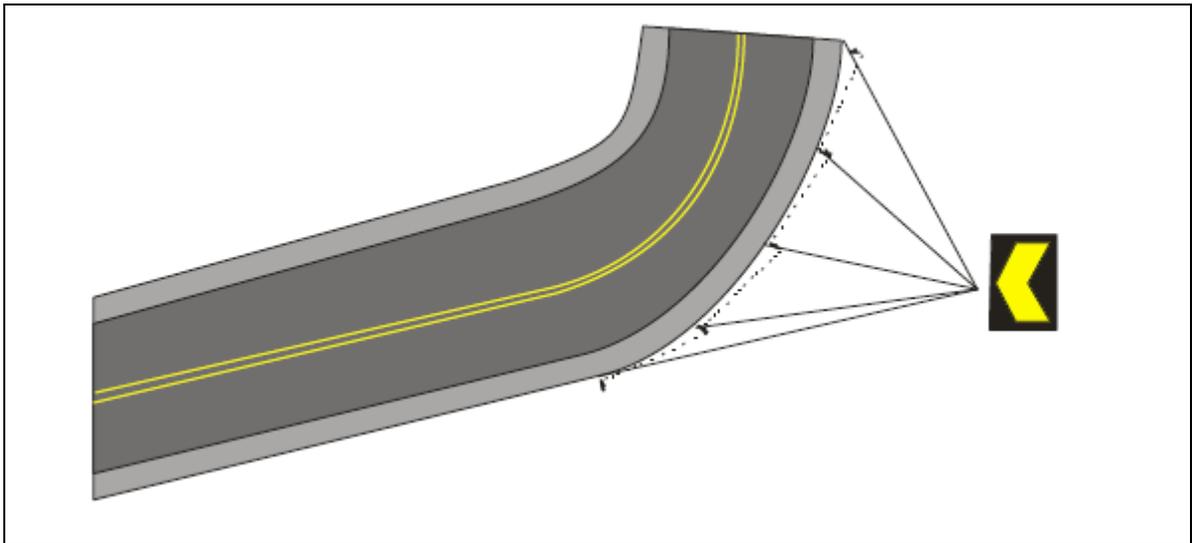


Figura D.3 - Delineadores em trecho em curva

Fonte: DNIT (2010c)

A previsão de implantação de tachas reflexivas deve seguir os espaçamentos, de acordo com as regras da Tabela D.54, definidas no Manual de Sinalização do DNER (1999):

Tabela D.54 – Espaçamentos das tachas refletivas.

Tipo de Via	Tipo e Cor	ESPAÇAMENTO		
		Trecho em Tangente	Trecho Sinuoso ou com alta pluviosidade ou sujeito a neblina	Trecho que antecede obstáculo ou obra de arte (150m para cada lado)
Pista Simples				
Linha de bordo	Bidirecionais Brancas	A cada 16,0 m	A Cada 8,0 m	A cada 4,00 m
Linha de eixo para divisão de fluxo de sentidos opostos	Bidirecionais amarelas	A cada 16,0 m	A Cada 8,0 m	A cada 4,00 m
Linha de divisão de fluxo de mesmo sentido – terceira faixa	Monodirecionais brancas	A cada 16,0 m	A Cada 8,0 m	A cada 4,00 m
Pistas Múltiplas				
Linha de bordo	Monodirecionais brancas	A cada 16,0 m	A Cada 8,0 m	A cada 4,00 m
Linha de eixo para divisão de fluxo de sentidos opostos	Bidirecionais amarelas	A cada 16,0 m	A Cada 8,0 m	A cada 4,00 m
Linha de eixo para divisão de fluxo de mesmo sentido	Monodirecionais brancas	A cada 16,0 m	A Cada 8,0 m	A cada 4,00 m
Linha de eixo contínuo de fluxo de mesmo sentido (proibição mudança de faixa)	Monodirecionais brancas	A cada 16,0 m	A Cada 8,0 m	A cada 4,00 m

Fonte: Adpatada de DNER (1999)

Quanto à previsão de implantação de tachões deve-se seguir os espaçamentos, de acordo com as regras da Tabela D.55, definidas no Manual de Sinalização do DNER (1999):

Tabela D.55– Espaços dos Tachões

Situação a vencer	Tipo/Cor	Espaçamento
Normal	Seguem a cor das linhas de canalização, sendo bidirecionais caso amarelas ou monodirecionais brancas.	2,0 m
Extensão de colocação pequena e ângulo de convergência das linhas de canalização acentuado ou aumentado	Seguem a cor das linhas de canalização, sendo bidirecionais caso amarelas ou monodirecionais brancas.	1,0 m
Linhas de canalização com ângulo de convergência ou divergência pequeno	Seguem a cor das linhas de canalização, sendo bidirecionais caso amarelas ou monodirecionais brancas.	≤ 3,0 m
Trechos de proibição de ultrapassagem com histórico de desobediência por parte dos usuários, e segmentos caracterizados como críticos em termos de acidentes.	Bidirecionais amarelas	4,0 m
Utilizados para separar uma faixa exclusiva de tráfego em segmentos de Via Expressa	Monodirecionais brancas	4,0 m

Fonte: Adpatada de DNER (1999)

D.8 - NO ÂMBITO DO PROJETO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO (SEGUNDO O CONCEITO DE “RODOVIAS QUE PERDOAM”)

Os elementos apresentados nesta seção foram obtidos da NBR 15486 (ABNT, 2007).

D.8.1 - Largura da zona livre em curvas

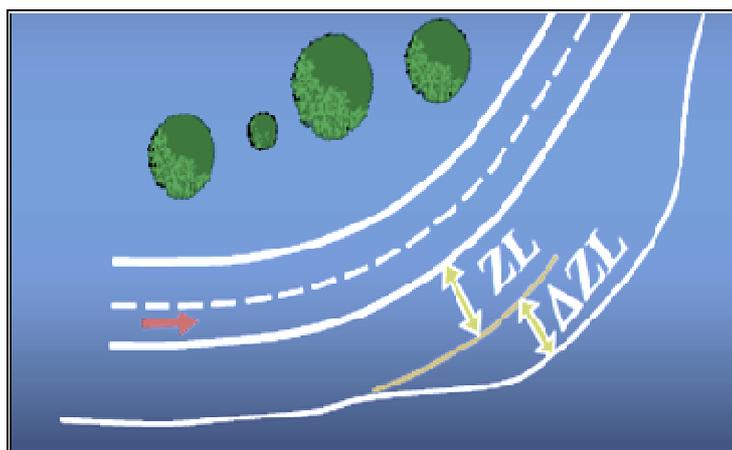


Figura D.4 - Zona Livre – Trecho em curva

Nos trechos em curva, a zona livre é calculada de acordo com a Equação D.12.

$$ZL_c = L_c \times K_{cz} \quad (\text{Equação D.12})$$

Onde:

ZL_c - zona livre na parte externa das curvas;

L_c - largura da zona livre calculada por meio do ábaco da Figura D.5, em função da velocidade de projeto, da declividade lateral e do VDM (veículo diário médio);

K_{cz} - fator de correção da curva, de acordo com a Tabela D.56.

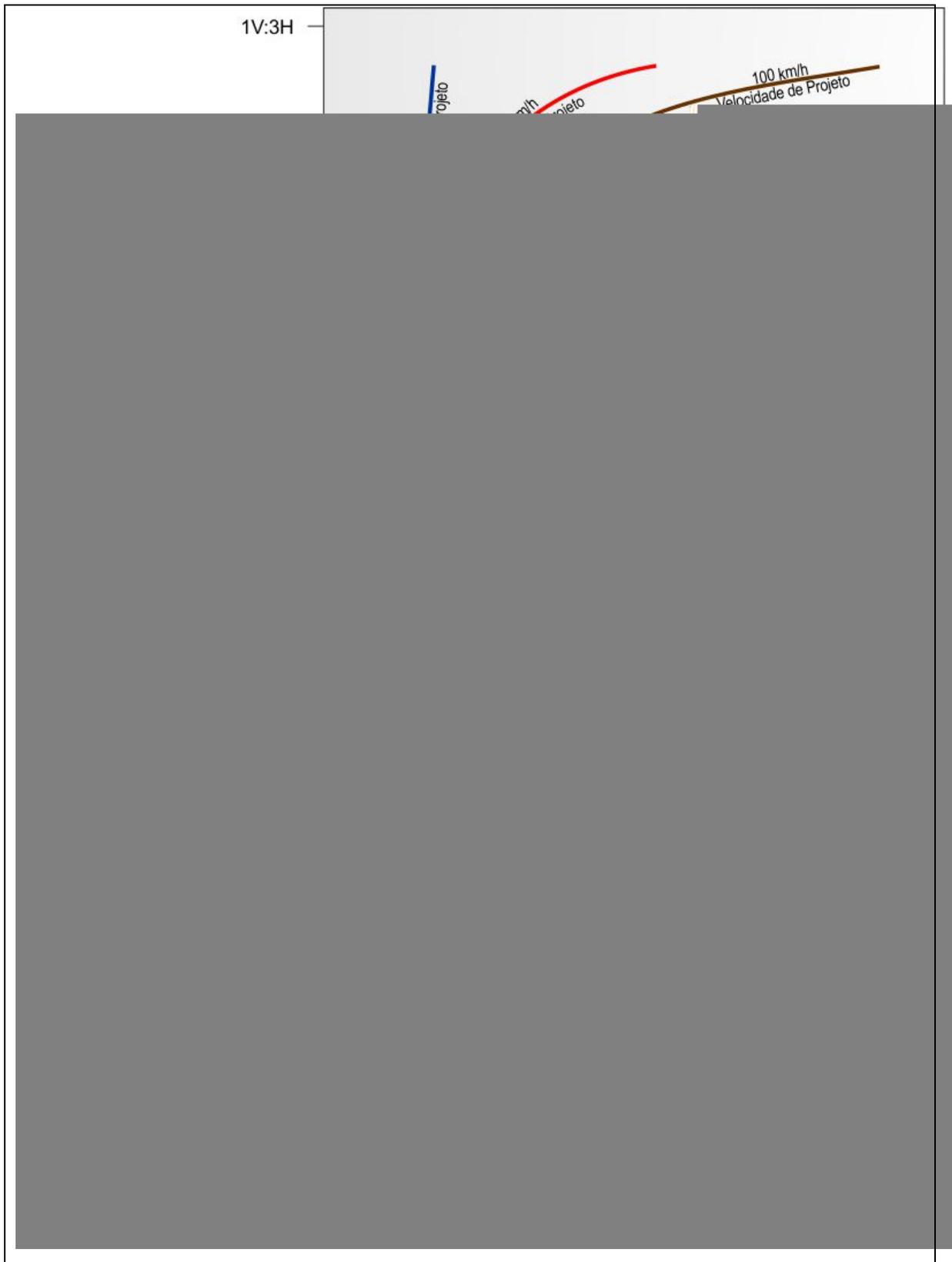


Figura D.5 - Ábaco para cálculo da zona livre

Fonte: ABNT (2007)

A Tabela D.56 apresenta os fatores de ajustes (K_{vz}) das curvas horizontais em função da velocidade de projeto e do raio da curva.

Tabela D.56– Fator de ajuste - K_{vz}

Raio (m)	Velocidade de Projeto (Km/h)					
	60	70	80	90	100	110
900	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2
700	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3
600	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,4
500	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4
450	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5
400	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	-
350	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	-
300	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	-
250	1,3	1,3	1,4	1,5	-	-
200	1,3	1,4	1,5	-	-	-
150	1,4	1,5	-	-	-	-
100	1,5	-	-	-	-	-

Fonte: ABNT (2007)

D.8.2 - Drenagem lateral

Verificar com base na inclinação dos taludes frontal (V1/H1) e posterior (V2/H2), se a seção de drenagem projetada é adequada. Esta situação ocorre quando o uso do ábaco da Figura D.6 (seção preferencial para canais com mudança abrupta de declividade) ou da Figura D.7 (seção preferencial para canais com mudança gradual de declividade) mostrar que a seção pertence a área hachurada. Caso isto não ocorra, a sarjeta deve ser: resenhada; convertida em sistema fechado; ou “escudada” por sistema de proteção.

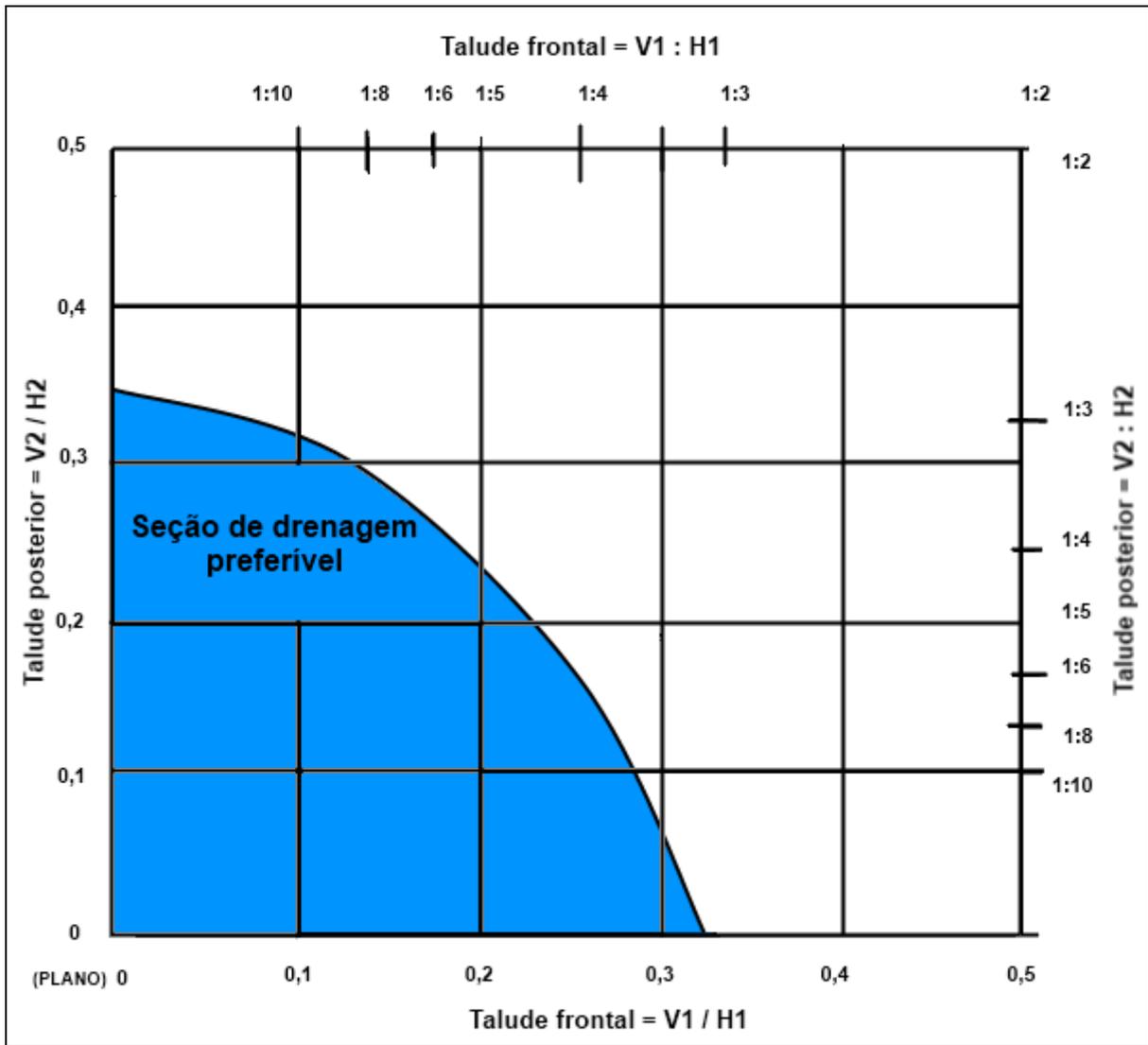


Figura D.6 - Ábaco para canais triangulares

Fonte: ABNT (2007)

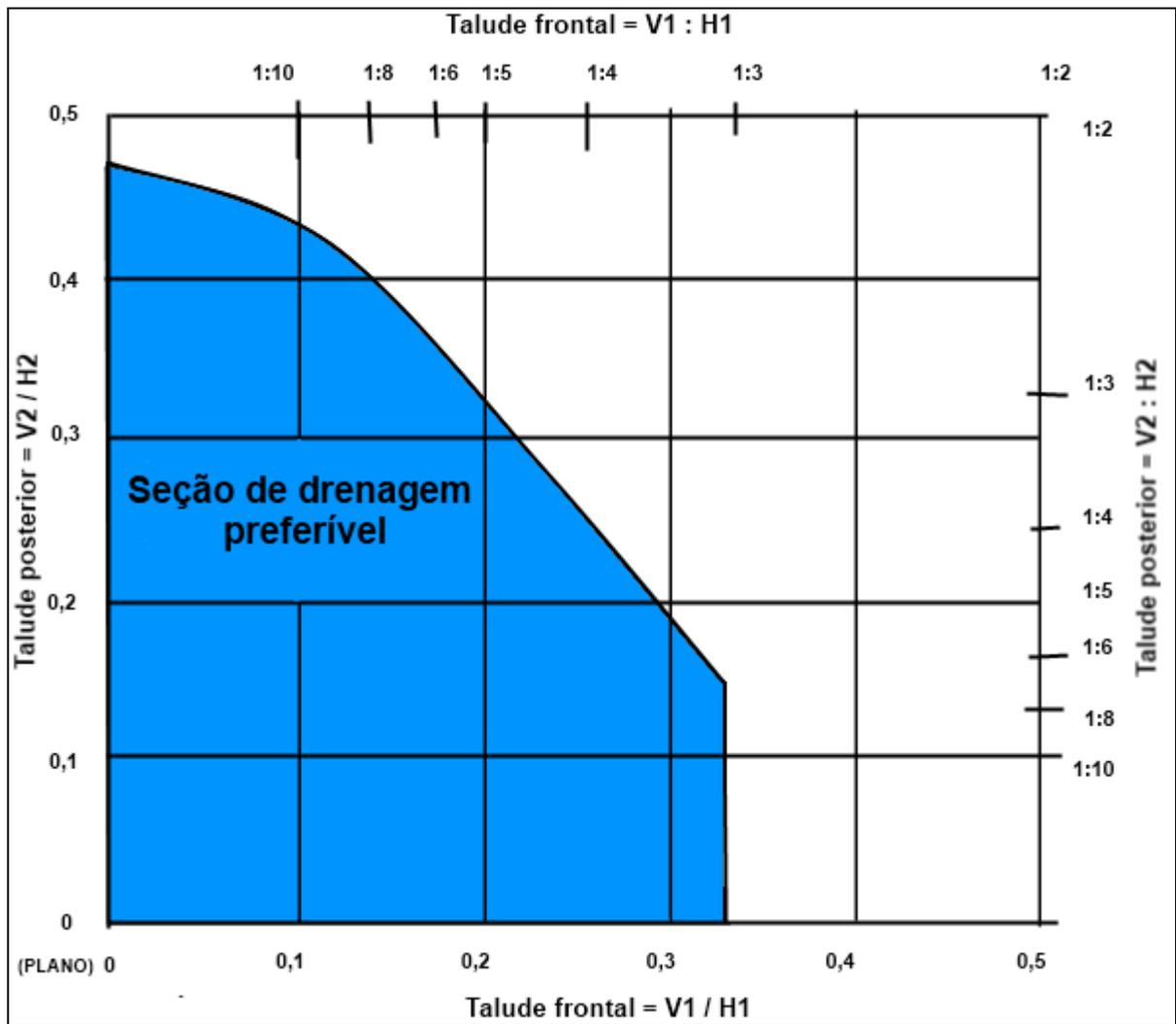


Figura D.7 - Ábaco para canais trapezoidais

Fonte: ABNT (2007)

D.8.3 - Proteção lateral em taludes

A necessidade de proteção lateral em taludes é verificada mediante o uso do ábaco da Figura D.8, que leva em conta a altura e a declividade do aterro.

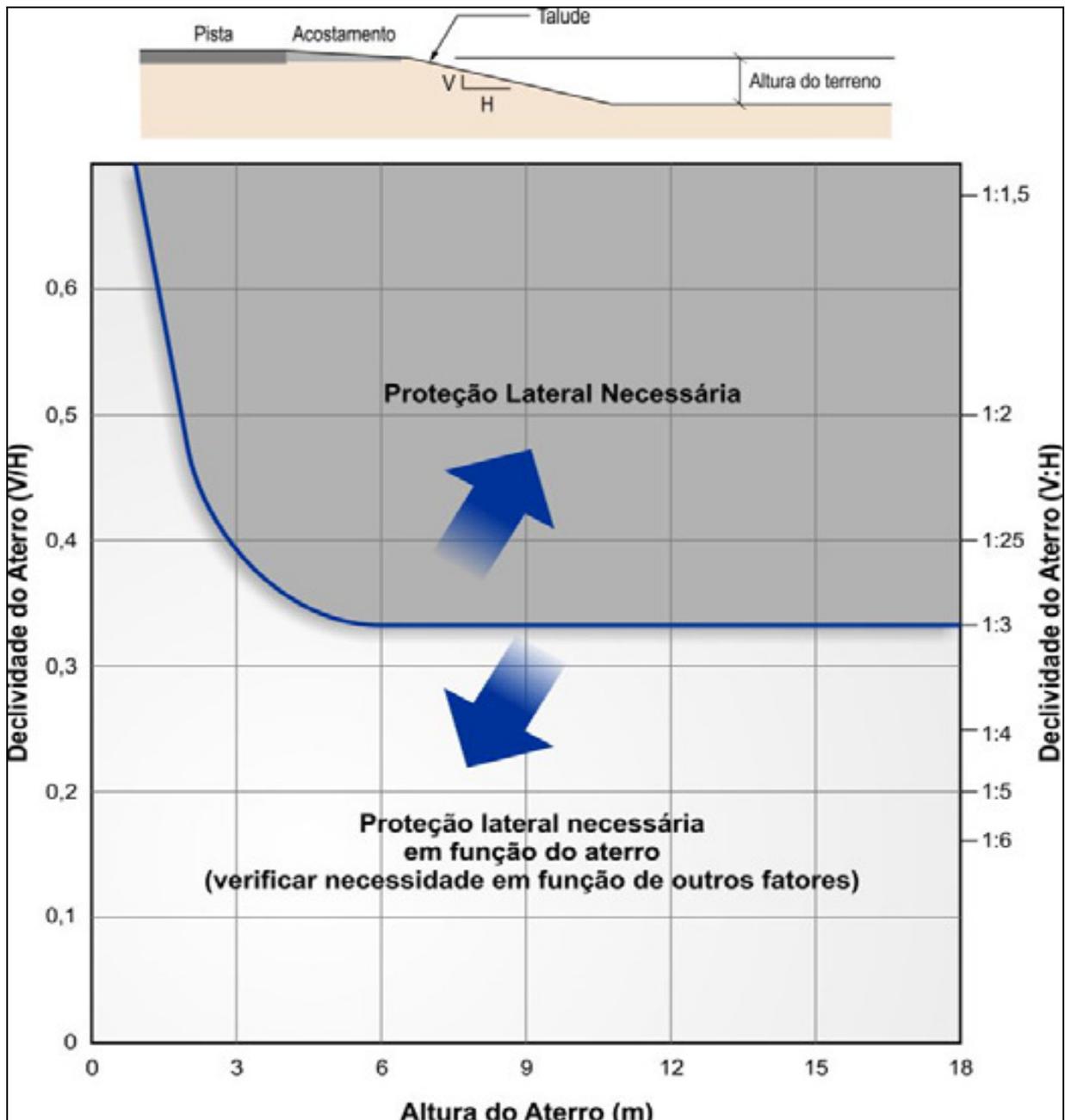


Figura D.8 – Ábaco para verificar a necessidade de proteção lateral nos taludes

Fonte: ABNT (2007)

D.8.4 - Proteção em Canteiro Central

No ábaco da Figura D.9, é possível verificar que na área opcional a implantação do dispositivo é recomendada somente se houver um histórico de acidentes no local. Contudo, em canteiro central com diferença de nível, o critério da altura e declividade do talude de aterro deve ser aplicado mediante o uso do ábaco mostrado na Figura D.8.

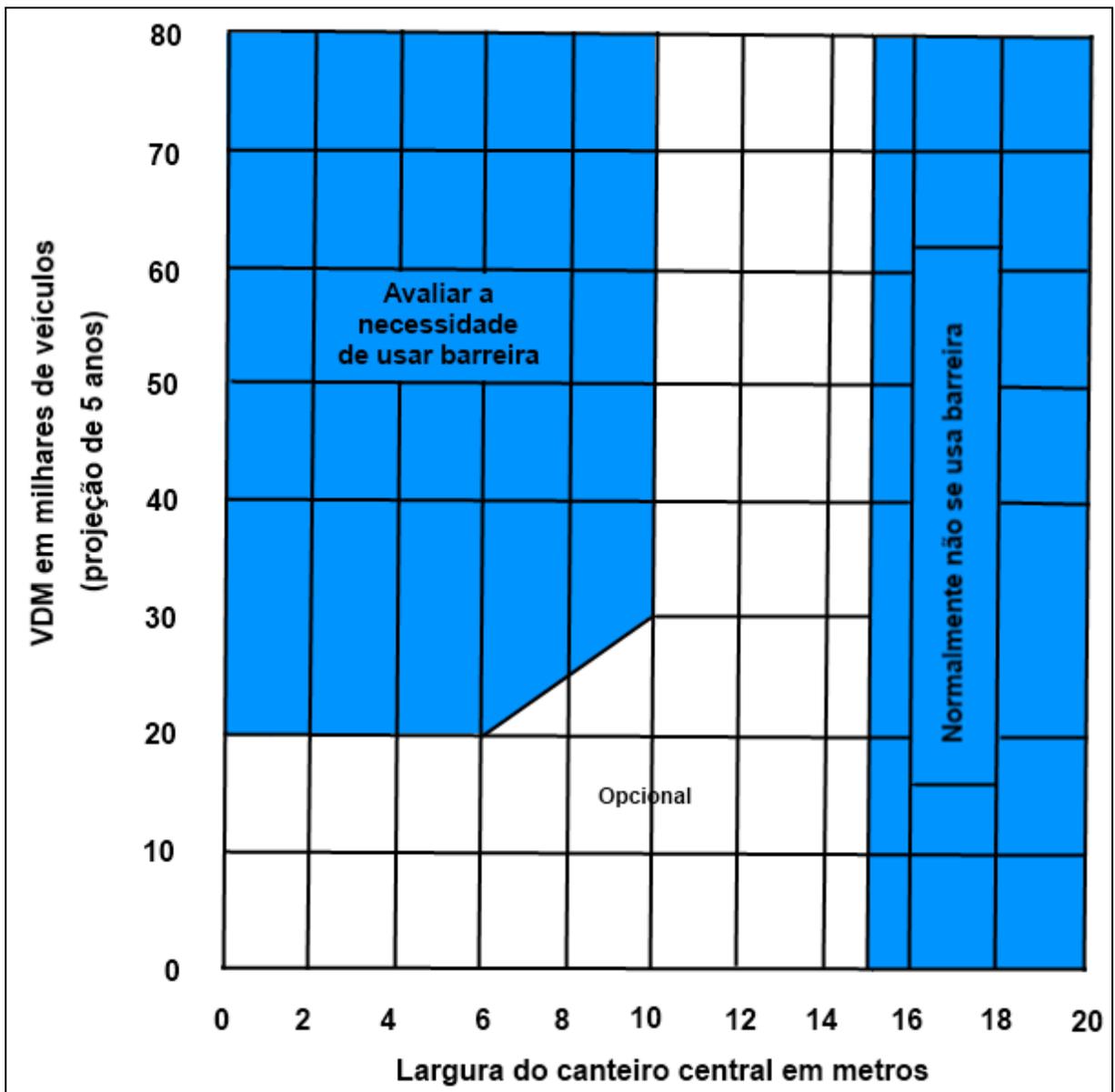


Figura D.9 – Ábaco para verificar a necessidade de proteção em canteiro central

Fonte: ABNT (2007)

D.8.5 - Comprimento de barreira de proteção

Deve ser calculado de acordo com o esquema mostrado na Figura D.10 (no caso de via de mão única) e Figura D.11 (para vias com duplo sentido de circulação).

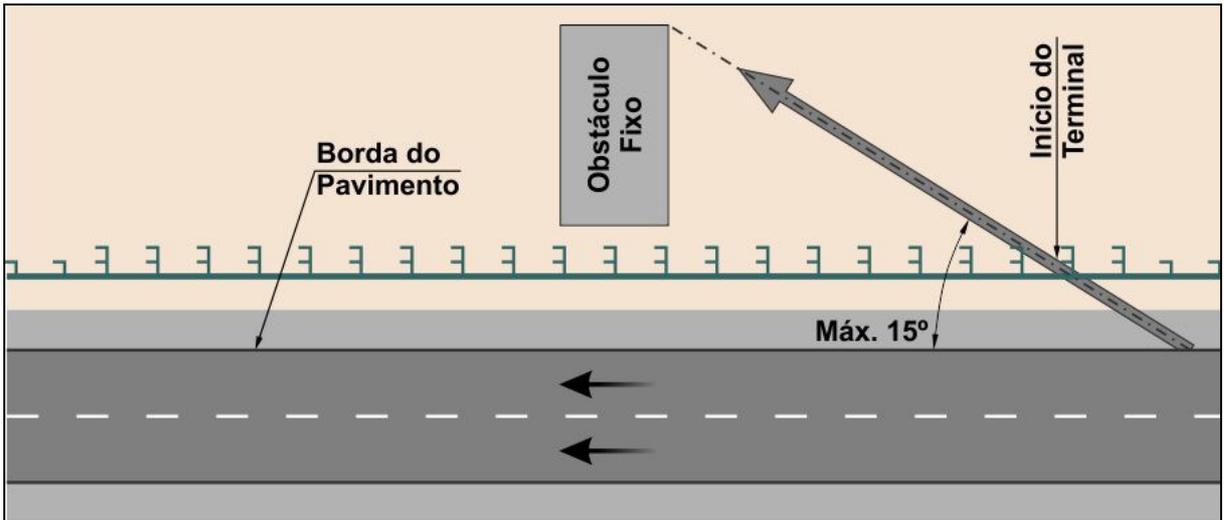


Figura D.10 – Comprimento de barreira em tráfego unidirecional

Fonte: ABNT (2007)

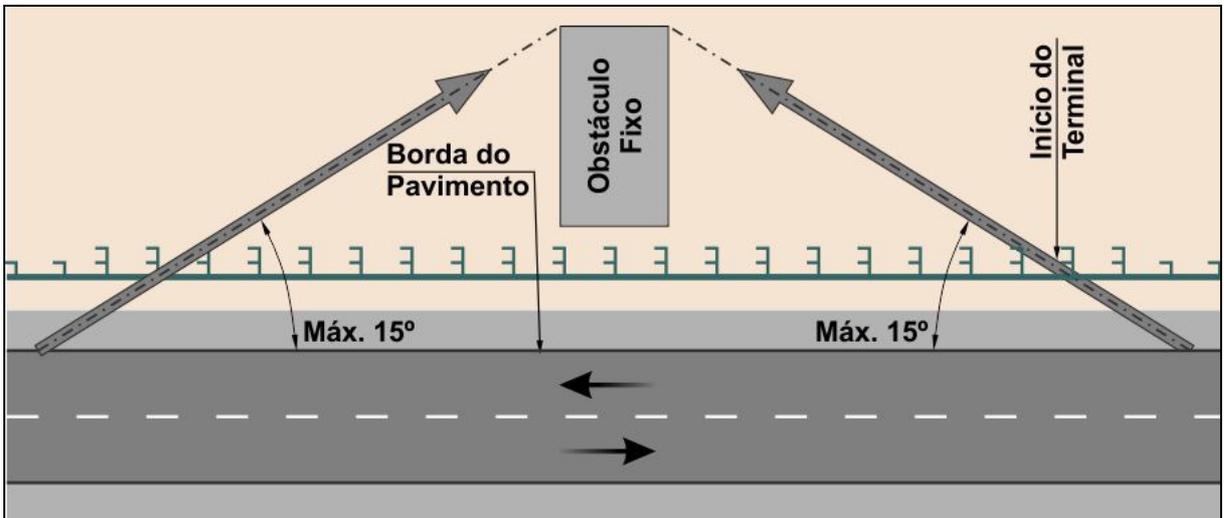


Figura D.11 – Comprimento de barreira em tráfego bidirecional

Fonte: ABNT (2007)

D.8.6 - Proteção Lateral utilizando Sistemas Rígidos

Os perfis adotados são do tipo New Jersey e do tipo F com pelo menos 3m de comprimento, conforme as Figuras D.12 e D.13.

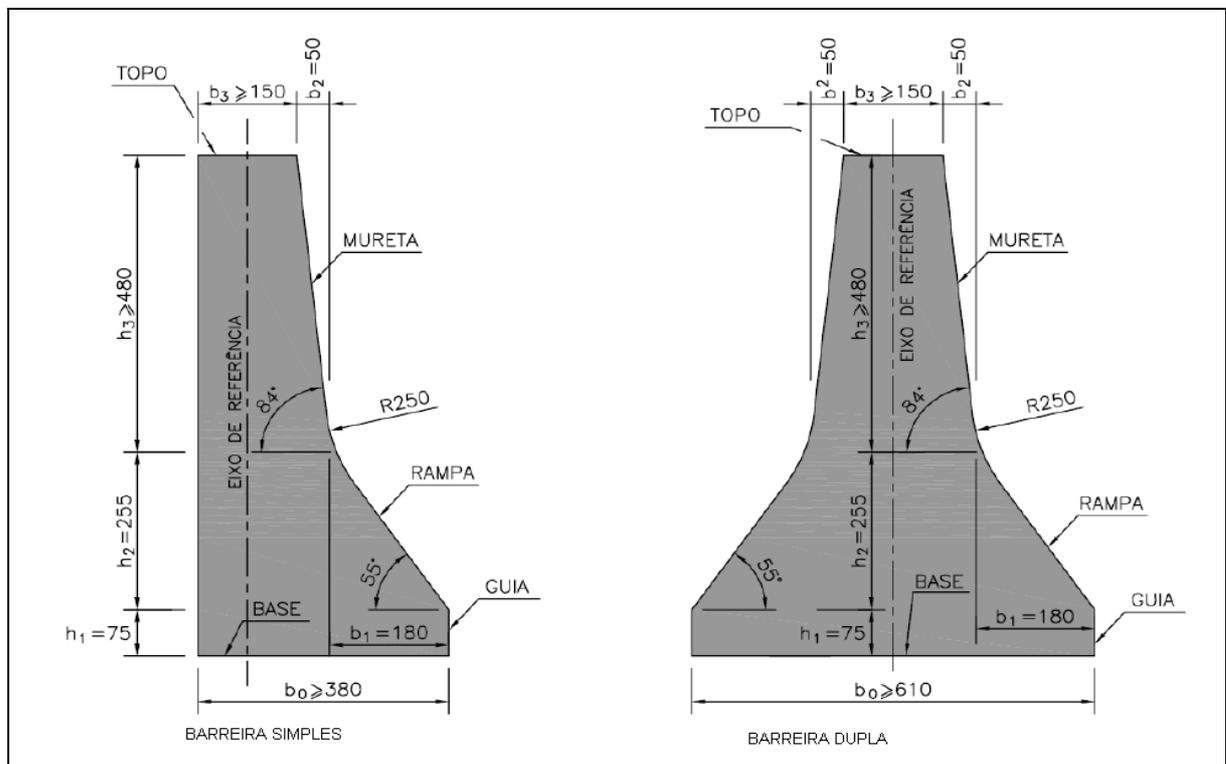


Figura D.12– Barreiras do tipo New Jersey

Fonte: ABNT (2004)

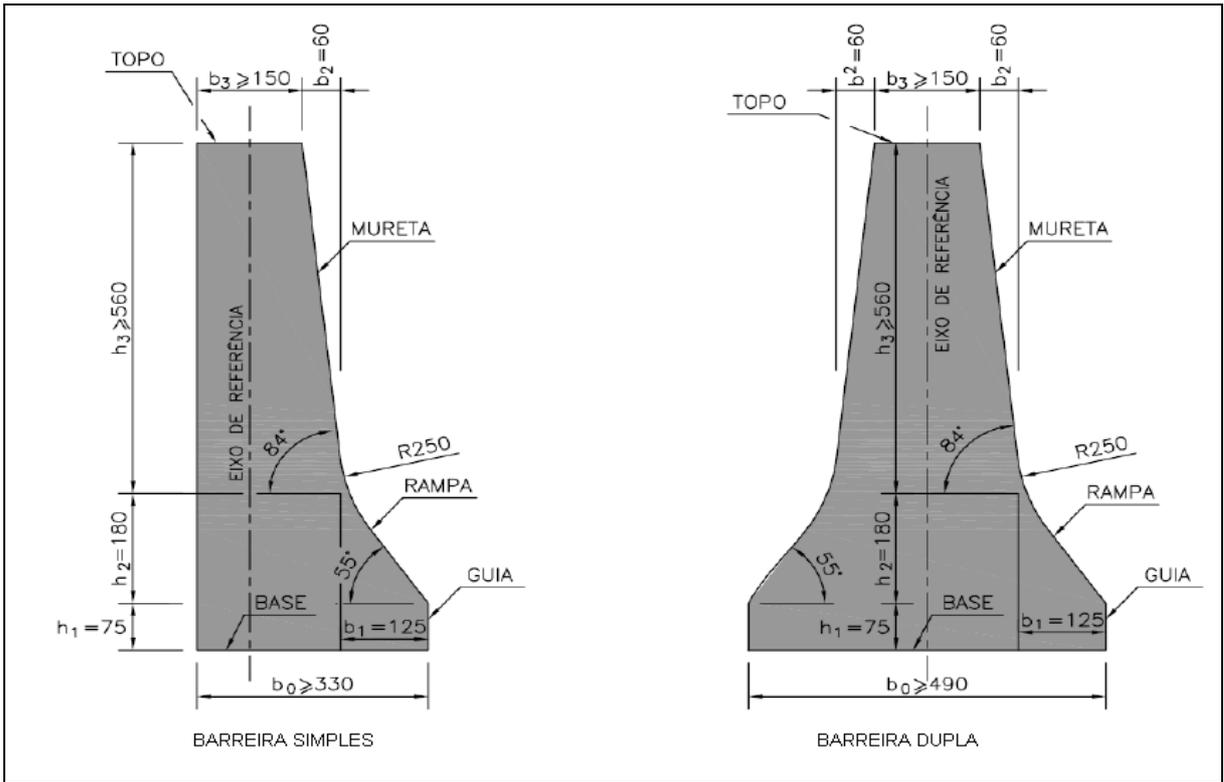


Figura D.13 – Barreiras do tipo F

Fonte: ABNT (2004)